

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

Школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 27.03.01 Стандартизация и метрология
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Компьютерное моделирование шумовых характеристик генератора сигналов прецизионного «ГС-50» |

УДК 004.94: 621.373.1: 534.83

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 8Г41 | Орехова Анастасия Сергеевна | | |

| Должность | ФИО | Ученая степень/звание | Подпись | Дата |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------|------|
| Руководитель ВКР | Рыбин Юрий Константинович | д.т.н., профессор | | |
| Руководитель ООП | Казаков Вениамин Юрьевич | к.ф.-м.н., доцент | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| Должность | ФИО | Ученая степень/звание | Подпись | Дата |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------|------|
| Доцент отд. СГН | Старикова Екатерина Васильевна | к.ф.н., доцент | | |

По разделу «Социальная ответственность»:

| Должность | ФИО | Ученая степень/звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------|------|
| Ассистент отд. ОКД | Авдеева Ирина Ивановна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Должность | ФИО | Ученая степень/звание | Подпись | Дата |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|---------|------|
| Руководитель ОАР | Леонов Сергей Владимирович | к.т.н., доцент | | |

Томск – 2018 г.

Планируемые результаты обучения по направлению 27.03.01

«Стандартизация и метрология»

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон |
|-------------------------------------|--|---|
| <i>Профессиональные компетенции</i> | | |
| P1 | Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения. | Требования ФГОС (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P2 | Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа. | Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P3 | Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий. | Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК- 1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P4 | Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества. | Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P5 | Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводить анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений. | Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| <i>Универсальные компетенции</i> | | |
| P6 | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон |
|----------------|---|---|
| P7 | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы. | Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P8 | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P9 | Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду. | Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК- 26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P10 | Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> . |

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

Школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – 27.03.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Казаков В.Ю.
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---|
| Бакалаврской работы (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации) |
|---|

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------------|
| 8Г41 | Ореховой Анастасии Сергеевне |

Тема работы:

| |
|--|
| Компьютерное моделирование шумовых характеристик генератора сигналов прецизионного «ГС-50» |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом готовой работы: | 21.06.2018 |
|--------------------------------------|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|--|--|
| <p>Исходные данные к работе <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> | <p>Объектами исследования являются шумовые характеристики генератора сигналов прецизионного «ГС-50»: шумы резисторов, шумы операционных усилителей. Исследования проводятся с помощью программного обеспечения для инженерных вычислений – <i>NI Multisim</i>.</p> |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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> | <ul style="list-style-type: none"> - генераторы электрических сигналов; - компьютерное моделирование; - шумовые характеристики компонентов генератора ГС-50; - финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - социальная ответственность. |
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> - электрическая блок - схема генератора ГС-50; - обобщенная схема RC – генератора на ОУ; - электрическая схема колебательной системы задающего генератора; |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - эквивалентная схема резисторов; - исследование шумов резисторов; - схема экспериментального исследования шумов резисторов; - типичная схема входной цепи интегрального ОУ; - схемы для анализа шумовых характеристик ОУ типа СА3130; - осциллограммы шума ОУ типа СА3130; - гистограммы распределения шума ОУ типа СА3130; - спектральная плотность шумов ОУ типа СА3130.. |
|--|---|

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

| Раздел | Консультант |
|---|--------------------------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Старикова Екатерина Васильевна |
| Социальная ответственность | Авдеева Ирина Ивановна |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 22.01.2018 |
|---|------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень/звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Профессор отд. ОАР | Рыбин Юрий Константинович | д.т.н., профессор | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| 8Г41 | Орехова Анастасия Сергеевна | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8Г41 | Ореховой Анастасии Сергеевне |

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|---|
| Школа | Инженерная школа информационных технологий и робототехники | Отделение | ОАР |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 27.03.01 Стандартизация и метрология |

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

| | |
|--|--|
| <i>1 Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | - Стоимость материальных затрат определялась по средней стоимости по г. Томску; - Тарифная ставка соответствует ставке работника 1-го разряда |
| <i>2 Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | Величина накладных расходов 16 % |
| <i>3 Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | Отчисления во внебюджетные фонды 27,1 % |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| <i>1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | - определение потенциальных потребителей результатов НИ; - анализ конкурентных технических решений; - SWOT-анализ |
| <i>2 Планирование НИ</i> | - определение структура работ в рамках НИ; - определение трудоемкости выполнения работ; - Разработка графика проведения НИ; |
| <i>3 Формирование бюджета НИ</i> | - определение материальных затрат НИ; - определение основной заработной платы исполнителей темы; - определение дополнительной заработной платы исполнителей темы; - определение отчислений во внебюджетные фонды; - определение накладных расходов |
| <i>4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности НИ</i> | - определение показателей эффективности НИ; - сравнительный анализ эффективности вариантов исполнения. |

Перечень графического материала (с точным указанием чертежей)

| |
|--|
| - оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений; - матрица SWOT-анализа; - график проведения НИ; - бюджет НИ; - оценка показателей эффективности НИ |
|--|

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.03.2018 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Ассистент, | Старикова Екатерина Васильевна | к.ф.н., доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 8Г41 | Орехова Анастасия Сергеевна | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|---------------|------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8Г41 | Ореховой Анастасии Сергеевне |

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|---|
| Школа | Инженерная школа информационных технологий и робототехники | Отделение | ОАР |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 27.03.01 Стандартизация и метрология |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|--|
| 1 Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения. | Теоретические исследования и определение шумовых характеристик генератора на основе компьютерного моделирования проводились с помощью программного обеспечения для инженерных вычислений Multisim. Также был проведен эксперимент, для которого потребовалось собрать схему исследования. Поэтому объектами исследования являются рабочее место, оборудованное персональным компьютером и паяльным инструментом. |
|--|--|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1 Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения | Анализ вредных производственных факторов: - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - статические физические перегрузки; - нервно-психические перегрузки: умственное перенапряжение, монотонность труда. Анализ опасных производственных факторов: - поражение электрическим током; - короткое замыкание; - термическая опасность. |
| 2 Экологическая безопасность | Анализ факторов, влияющих на экологическую безопасность: - производственные отходы; - люминесцентные лампы; - вредные вещества, выделяемые при пайке. |
| 3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | Анализ чрезвычайных ситуаций: - пожар. |
| 4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | Анализ правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности: - специальные правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя. - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; - ГОСТ 12.1. 030 – 81. Система стандартов |

| | |
|--|--|
| | безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление; - СанПиН 2.2.4.1294-03 Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений; - ГОСТ 12.1.003-76. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности; - СНиП 21-01-97. «Пожарная безопасность зданий и сооружений». |
|--|--|

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.03.2018 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------|------------------------|---------|-----------|
| Ассистент | Авдеева Ирина Ивановна | | | 1.03.2018 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|-----------|
| 8Г41 | Орехова Анастасия Сергеевна | | 1.03.2018 |

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

Школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – 27.03.01 Стандартизация и метрология
 Уровень образования – Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения (осенний/весенний семестр 2017/2018 учебного года)
 Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
Выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|---|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы | 21.06.2018 |
|---|------------|

| Дата контроля | Наименование раздела (модуля)/вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|--|------------------------------------|
| 31.02.2018 | Глава 1. Генераторы электрических сигналов | |
| 8.03.2018 | Глава 2. Компьютерное моделирование | |
| 21.04.2018 | Глава 3. Шумовые характеристики компонентов генератора ГС-50 | |
| 18.05.2018 | Глава 4. Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность | |
| 15.05.2018 | Глава 5. Социальная ответственность | |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень/звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------|------|
| Профессор отд. ОАР | Рыбин Юрий Константинович | д.т.н., профессор | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень/звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------|---------|------|
| Руководитель отд. ОАР | Леонов Сергей Владимирович | к.т.н., доцент | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа на 92 страницах, 14 рисунках, 18 таблицах, с 29 источниками, 6 приложениями.

Ключевые слова: генератор сигналов, шумовые характеристики, операционные усилители, закон распределения шума, амплитуда шума, спектральная плотность, моделирование.

Объектами исследования являются шумовые характеристики генератора сигналов прецизионного «ГС-50»: шумы резисторов, шумы операционных усилителей.

Целью данной работы является исследование шумовых характеристик генератора сигналов прецизионного «ГС-50» на основе компьютерного моделирования.

В ходе работы был выбран и изучен программный пакет *NI Multisim* для проведения дальнейшего моделирования, собраны простейшие схемы операционных усилителей, проведено моделирование и исследование шумовых характеристик резисторов и ОУ.

Степень внедрения: проведенные исследования будут использованы при проектировании модернизированного генератора сигналов ГС-50М.

Область применения: проведенные исследования могут применяться не только при исследовании характеристик данного генератора, но также могут быть применены при разработке других низкочастотных генераторов сигналов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе *Microsoft Word 2013* и представлена на листах формата А4.

В будущем планируется исследование шумовых характеристик всего генератора сигналов прецизионного «ГС-50» со схемой стабилизации, отладка генератора с целью уменьшения шумов выходного напряжения генератора.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

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

ГОСТ 12.1. 030 – 81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ 12.1.003-76. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения.

ГОСТ 12.1.005 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

Обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

ЧИЦ – частотно – избирательная цепь;

ЦОС – цепь обратной связи;

НЭ – нелинейный элемент;

ООС – отрицательная обратная связь;

ЗГ – задающий генератор;

ФПИ – формирователь прямоугольных импульсов;

ИОН – источник опорного напряжения;

ПСЗ – преобразователь средневых выпрямленного значения выходного напряжения;

ПО – программное обеспечение;

ПТ – полевой транзистор;

ПК – персональный компьютер;

ВКР – выпускная квалификационная работа;

НР – научный руководитель;

С – студент;

НТИ – научно-техническое исследование;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

ЭМП – электромагнитное поле.

Оглавление

| | С. |
|--|----|
| Введение | 16 |
| 1 Генераторы электрических сигналов..... | 18 |
| 1.1 Аналоговые генераторы синусоидальных сигналов..... | 18 |
| 1.2 RC – генераторы низких частот | 19 |
| 1.3 RC – генератор сигналов низкочастотный ГС-50 | 20 |
| 1.3.1 Описание электрической блок-схемы генератора ГС-50 | 21 |
| 1.3.2 Метрологические характеристики генератора ГС-50 | 22 |
| 1.3.3 Электрическая схема колебательной системы задающего генератора ГС-50..... | 23 |
| 2 Компьютерное моделирование | 25 |
| 2.1 Метод компьютерного моделирования..... | 25 |
| 2.2 Компьютерное моделирование генератора ГС-50..... | 26 |
| 3 Шумовые характеристики компонентов генератора ГС-50..... | 28 |
| 3.1 Общие понятия и свойства шумов..... | 28 |
| 3.2 Моделирование шумовых характеристик компонентов генератора ГС-50..... | 30 |
| 3.2.1 Шумы в резисторах..... | 30 |
| 3.2.2 Шумы биполярных и полевых транзисторов..... | 34 |
| 3.2.3 Шумы в интегральных операционных усилителях | 35 |
| 3.2.3.1 Анализ операционного усилителя без учета шумов резисторов..... | 37 |
| 3.2.3.2 Анализ операционного усилителя с учетом шумов резисторов..... | 40 |
| 3.2.3.3 Спектральная плотность шумов операционного усилителя | 43 |
| 3.2.3.4 Сравнение напряжений шумов на выходе схемы с операционными усилителями разного типа..... | 44 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 47 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.1 | Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 48 |
| 4.1.1 | Потенциальные потребители результатов исследования | 48 |
| 4.1.2 | Анализ конкурентных технических решений..... | 48 |
| 4.1.3 | SWOT – анализ..... | 50 |
| 4.2 | Планирование научно-исследовательских работ | 51 |
| 4.2.1 | Структура работ в рамках научного исследования | 51 |
| 4.2.2 | Определение трудоемкости выполнения работ..... | 52 |
| 4.2.3 | Разработка графика научного исследования..... | 53 |
| 4.2.4 | Определение бюджета научно-технического исследования ... | 55 |
| 4.2.4.1 | Расчет материальных затрат научно-технического исследования | 55 |
| 4.2.4.2 | Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 56 |
| 4.2.4.3 | Основная заработная плата исполнителей темы | 57 |
| 4.2.4.4 | Дополнительная заработная плата исполнителей темы | 59 |
| 4.2.4.5 | Отчисление во внебюджетные фонды..... | 59 |
| 4.2.4.6 | Расчет затрат на научные и производственные командировки | 60 |
| 4.2.4.7 | Накладные расходы | 60 |
| 4.2.4.8 | Формирование бюджета затрат научно-технического исследования | 61 |
| 4.3 | Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..... | 61 |
| 5 | Социальная ответственность | 64 |
| 5.1 | Производственная безопасность | 65 |
| 5.1.1 | Анализ вредных факторов рабочего помещения..... | 66 |
| 5.1.2 | Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны..... | 67 |
| 5.1.3 | Недостаточная освещенность рабочей зоны..... | 68 |
| 5.1.4 | Повышенный уровень шума на рабочем месте | 68 |
| 5.1.5 | Повышенный уровень электромагнитных излучений | 69 |
| 5.2 | Анализ выявленных опасных факторов рабочего помещения..... | 70 |

| | |
|---|----|
| 5.2.1 Поражение электрическим током | 70 |
| 5.2.2 Короткое замыкание | 72 |
| 5.3 Анализ факторов влияющих на экологическую безопасность | 72 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 75 |
| 5.4.1 Пожарная безопасность..... | 75 |
| 5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности..... | 76 |
| 5.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства . | 76 |
| 5.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя | 77 |
| 5.6 Вывод по разделу «Социальная ответственность» | 78 |
| Заключение | 79 |
| Приложение А. Электрическая блок-схема генератора сигналов прецизионного ГС–50..... | 83 |
| Приложение Б. Описание условий возникновения колебаний в колебательной системе задающего генератора | 84 |
| Приложение В. Сравнение данных, полученных посредством исследований..... | 86 |
| Приложение Г. Результаты моделирования операционного усилителя типа СА3130 | 88 |
| Приложение Д. Определение закона распределения шума ОУ (без учета шума резисторов)..... | 89 |
| Приложение Е. Определение закона распределения шума ОУ (с учетом шума резисторов)..... | 92 |

Введение

Сейчас остро стоит проблема подавления шумов и защиты от них в электронных устройствах. При проектировании какого-либо электронного оборудования следует своевременно рассматривать задачу минимизации значения шумов, которые генерируют входящие в него устройства, так как они могут оказывать влияние на метрологические характеристики устройства и на работу других устройств.

В настоящее время генераторы электрических сигналов применяются повсеместно в различных областях науки и техники. Особое место среди существующих видов генераторов сигналов занимают генераторы сигналов синусоидальной формы.

Генератор сигналов способен создавать сигналы с заданными параметрами и характеристиками. Эта способность является одной из главных достоинств таких генераторов. Так, чем меньше искажения у генератора в измерительной системе, тем достовернее будет сигнал на ее выходе. Для этого рекомендуется применять генераторы с малыми нелинейными искажениями и с малым уровнем шума.

До настоящего времени исследований шумов генераторов с малыми нелинейными искажениями практически не проводилось. Это же относится и к генератору сигналов прецизионному «ГС-50» (далее – генератор ГС-50).

К шумовым характеристикам выходного напряжения генератора относятся:

- погрешность уровня;
- погрешность начальной фазы сигнала;
- THD + Noise (общий коэффициент гармоник + шум).

Данная работа ставит целью компьютерное моделирование шумовых характеристик модели генератора ГС-50 для исследования влияния собственных шумов элементов схемы генератора на его выходные параметры.

Процесс компьютерного моделирования позволяет ускорить процесс исследований, повысить их точность, существенно снизить затраты на их проведение по сравнению с экспериментальными исследованиями.

Для достижения поставленной цели был сформулирован ряд задач:

- сравнительный обзор программного обеспечения, предназначенного для компьютерного моделирования;

- выбор программного обеспечения для дальнейшего моделирования;

- компьютерное моделирование схем в программном продукте *NI Multisim*;

- проведение экспериментального исследования шумов компонентов генератора ГС-50.

1 Генераторы электрических сигналов

1.1 Аналоговые генераторы синусоидальных сигналов

В общем случае, генератор сигналов – это устройство, посредством которого энергия источника питания преобразуется в электрические колебания определенной формы (синусоидальной, прямоугольной, треугольной и пилообразной) с заданной амплитудой и частотой [1]. Эти сигналы имеют широкое применение при тестировании радиоэлектронных устройств различных видов.

В измерительной технике различают несколько основных разновидностей генераторов: Г2 – генераторы шумовых сигналов; Г3 – низкочастотные RC – генераторы; Г4 – высокочастотные LC – генераторы; Г5 – импульсные генераторы; Г6 – генераторы сигналов сложной формы [1].

В идеальном случае на выходе генератора имеется монохроматический сигнал синусоидальной формы с постоянными амплитудой и частотой. Но на практике его невозможно добиться из-за того, что выходной сигнал сопровождается искажениями и шумовыми сигналами от радиоэлементов, включенных в цепь [2].

В основе построения генераторов синусоидальных сигналов лежит частотно-избирательная цепь (ЧИЦ) и усилитель ($У$), охваченные обратной связью ($ОС$) через цепь обратной связи ($ЦОС$). В качестве ЧИЦ могут применяться RC -цепи, колебательные RL -контур и др. [3]. Здесь, следует отметить, что усилитель получает питание от источника электрической энергии, чаще всего от источника постоянного напряжения.

Также необходимо заметить, что колебания в данной системе возникают только в том случае, если одновременно выполняются следующие условия:

– *баланс фаз* – общий фазовый сдвиг на частоте колебаний должен равняться 0 или быть кратным 2π , что значит, что OC в данной системе на частоте генерации должна оставаться положительной;

– *баланс амплитуд* – петлевой коэффициент передачи на частоте колебаний должен быть или равен единице, или незначительно превышать ее [3]. Так, когда петлевой коэффициент равен единице, наступает генерация стационарных колебаний с неизменяющейся амплитудой.

Отметим, что выполнение этих условий является необходимым, но не достаточным для генерации в стационарном режиме устойчивых автоколебаний синусоидальной формы [1].

1.2 RC – генераторы низких частот

RC – генераторы применяют, когда необходимо генерировать сигналы с низкими частотами, а также сигналы радиочастотного диапазона до 10 МГц. На рисунке 1 представлена обобщенная схема RC – генератора с мостом Вина. Здесь, цепочки из последовательно соединенных резистора R и конденсатора C и параллельно соединенных резистора R и конденсатора C совместно с резисторами $R1$ и $R2$ образуют плечи моста, в диагонали которого (a , b и c , d) включен ОУ (активный нелинейный элемент) [1].

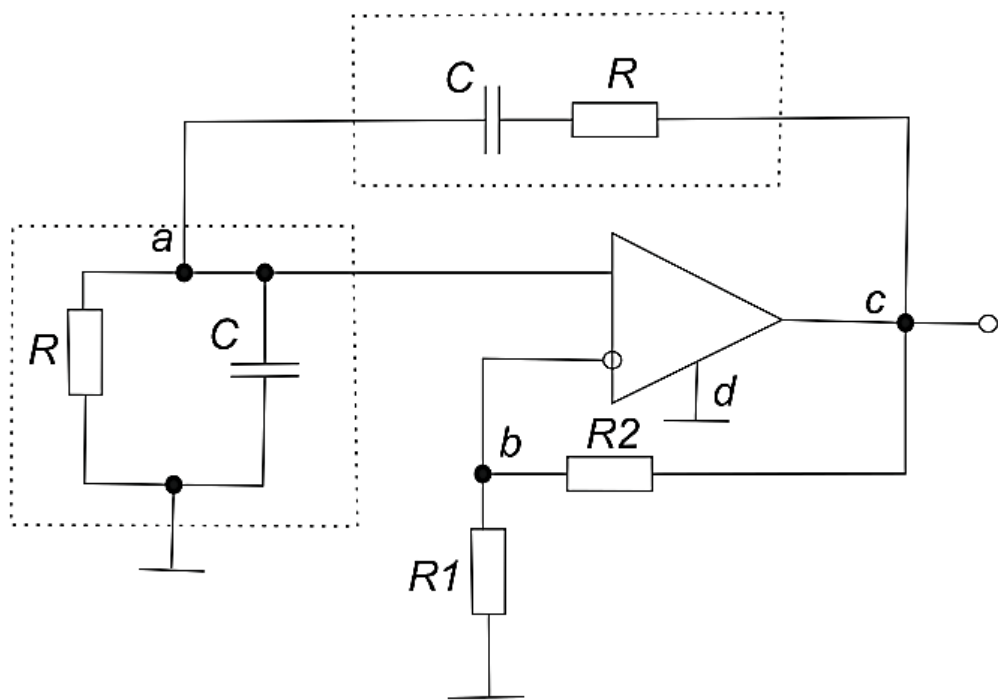


Рисунок 1 – Обобщенная схема RC – генератора с мостом Вина

Для получения синусоидальных колебаний необходимо ввести цепь отрицательной обратной связи ($ООС$), такую, чтобы обеспечивалось усиление усилителя на уровне чуть большем, чем значение усиления (условие баланса амплитуд).

При этом стабилизация амплитуды сигнала на входе может быть достигнута посредством нелинейности усилителя. Так, с ростом величины амплитуды сигнала, на выходе $ОУ$ его коэффициент усиления падает, за счет чего, при некоторой амплитуде достигается баланс амплитуд. Тогда и наступает режим генерации практически синусоидальных сигналов.

1.3 RC – генератор сигналов низкочастотный ГС-50

Генератор ГС-50 является источником синусоидального сигнала с прецизионной формой волны. Данный RC – генератор предназначен для исследования, настройки и испытания систем и приборов, которые могут быть использованы в радиоэлектронике, связи, вычислительной и измерительной технике, а также в приборостроении. В генераторе ГС-50

реализован RC – генератор с дискретной установкой частоты и системой стабилизации уровня выходного напряжения. Стабилизация амплитуды в нем осуществляется посредством системы автоматического регулирования.

1.3.1 Описание электрической блок-схемы генератора ГС-50

Электрическая блок-схема генератора ГС-50 представлена в приложении А.

Генератор ГС-50 основан на задающем генераторе ($ЗГ$), выполненным по схеме колебательного звена с активной фазирующей цепью, основанной интегратором и двухконтурной системой стабилизации напряжения на выходе $ЗГ$. Так, напряжение переменного тока в данном генераторе с выхода сразу поступает на внутренний контур стабилизации амплитуды, включающий в себя: усилитель-ограничитель ($УО$); электронные ключи на полевых транзисторах ($Кл1$ и $Кл2$); повторитель напряжения ($П1$); запоминающие конденсаторы ($С1$ и $С2$); согласующий усилитель ($СУ$); формирователь прямоугольных импульсов ($ФПИ$).

Импульсы, которые образуются на выходе усилителя-ограничителя, преобразуются цепью, состоящей из $Кл1$, $Кл2$, $П1$, $ФПИ$, конденсаторов $С1$ и $С2$ в напряжение постоянного тока с уровнем пропорциональным амплитуде импульсов $УО$. Полученное усиленное согласующим напряжение постоянного тока осуществляет управление сопротивлением канала одного из дифференциально включенных полевых транзисторов регулирующего элемента ($РЭ$). Сопротивление второго транзистора, который подключен к источнику опорного напряжения $ИОН1$, остается постоянным. На основной вход поступает напряжение переменного тока с выхода первого интегратора активной фазирующей цепи, сдвинутое на 90° относительно выходного напряжения $ЗГ$.

Напряжение с выхода задающего генератора поступает также на внешний контур стабилизации амплитуды, который включает в себя:

преобразователь средневых значений (*ПСЗ*); интегратор (*ИНТ*); источник опорного напряжения (*ИОН2*).

Выпрямленный сигнал отрицательной полярности с выхода *ПСЗ* через резистор *R9* поступает на вход интегратора *ИНТ* и сравнивается с положительным напряжением источника *ИОН2*. В случае, когда появляется рассогласование, сигнал с выхода интегратора производит изменение уровня ограничения усилителя-ограничителя в направлении уменьшения рассогласования.

Аттенюатор *Ат* предназначен для ступенчатого ослабления выходного напряжения прибора от 0 до 60 дБ ступенями через 10 дБ. Для предотвращения срыва колебаний при переключениях частоты предусмотрено быстродействующее устройство запуска, включающее в себя компаратор *КОМПАР* и автоколебательный мультивибратор *АМВ*.

1.3.2 Метрологические характеристики генератора ГС-50

Для генераторов сигналов перечень нормируемых метрологических характеристик средств измерений, согласно ГОСТ 8.009 [4], включает в себя: погрешность установки частоты по шкале частот; погрешность установки частот по шкале интерполяции; нестабильность частоты; погрешность установки выходного напряжения; погрешность выходного регулятора (делителя, ослабителя) напряжения; коэффициент гармоник выходного напряжения.

По РМГ 29 [5]: метрологическая характеристика – это характеристика одного из свойств средств измерений, влияющая на результат измерения и погрешность.

Согласно [6], генератор ГС-50 обеспечивает установку частоты выходного сигнала в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц.

На четырех диапазонах дискретно осуществляется установка частоты:
– I поддиапазон: (10 – 100) Гц (через 1 Гц);

- II поддиапазон: (100 – 1000) Гц (через 10 Гц);
- III поддиапазон: (1000 – 10000) Гц (через 100 Гц);
- IV поддиапазон: (10000 – 100000) Гц (через 1000 Гц).

Основная погрешность дискретной установки частоты не должна превышать:

- I, II, III поддиапазоны: $\pm 1 \%$ в диапазоне от 10 Гц до 10 кГц;
- IV поддиапазон: $\pm 1,5 \%$ в диапазоне от 10 до 100 кГц.

Неравномерность уровня выходного напряжения на выходе «0⁰» в диапазоне частот относительно уровня выходного напряжения на частоте 1 кГц не должна превышать:

- $\pm 1 \%$ (от 10 до 20 Гц);
- $\pm 1,5 \%$ (от 20 Гц до 100 кГц).

Коэффициент гармоник выходного сигнала не более:

- I поддиапазон: 0,0003 % ((10 – 20) Гц);
- I, II, III поддиапазоны: 0,0002 % ((20 – 10) кГц);
- IV поддиапазон: 0,0003 % ((10 – 20) кГц);
- IV поддиапазон: 0,003 % ((20 – 100) кГц) [5].

Известно, что искажение сигнала зависит от следующей суммы: $THD + Noise$, где THD – общий коэффициент гармоник (малое значение); $Noise$ – шум. В данной работе изучаются шумы компонентов и выходного напряжения генератора ГС-50.

1.3.3 Электрическая схема колебательной системы задающего генератора ГС-50

На рисунке 2 представлена электрическая схема колебательной системы задающего генератора, состоящего из одного инвертора ($OY1$, $R1$, $R2$) и двух интеграторов ($OY2$, $R3$, $C1$ и $OY3$, $R4$, $C2$). На схеме также обозначены входные и выходные напряжения.

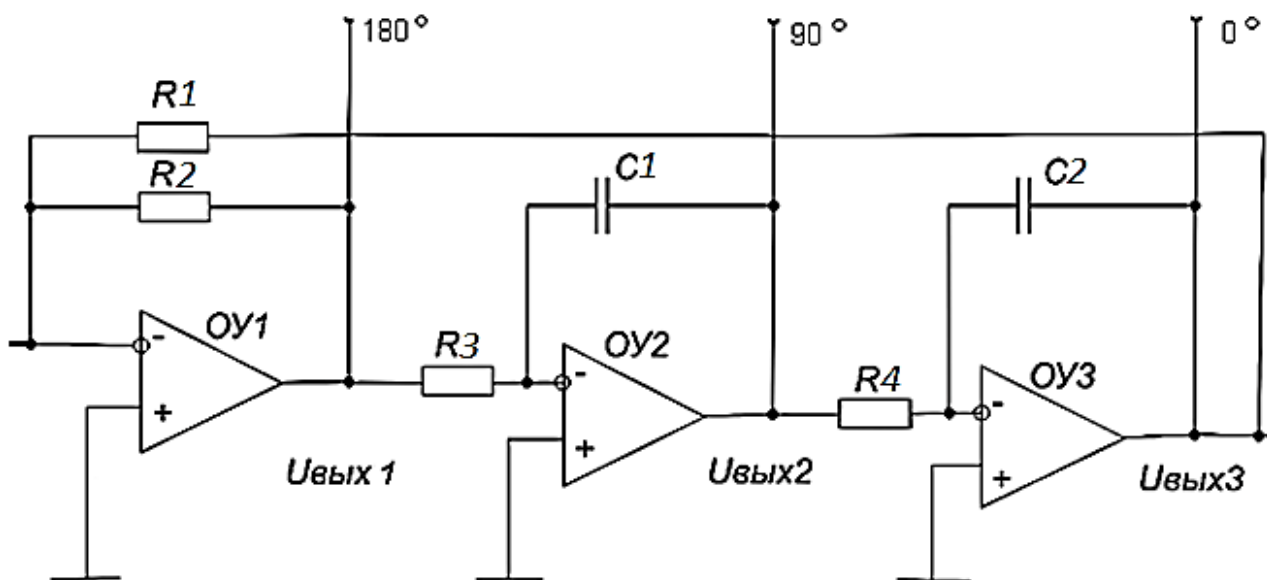


Рисунок 2 – Электрическая схема колебательной системы задающего генератора

В приложении Б приведено описание условий возникновения колебаний в колебательной системе задающего генератора.

2 Компьютерное моделирование

2.1 Метод компьютерного моделирования

Методы компьютерного моделирования (далее – моделирование) уже давно прочно закрепились практически во всех областях науки и техники. В последние годы все чаще заходит речь о компьютерных экспериментах, а также о необходимых для их реализации компьютерных инструментах.

Моделирование следует рассматривать, как метод исследования реальных или гипотетических систем, процессов, которые характеризуют эволюцию данных систем [7]. При этом во время решения задач анализа и синтеза используются компьютерные модели (далее – модели) этих систем, а не они сами.

В общем случае, модель объекта представляет собой какой-либо другой объект, у которого отдельные свойства частично или полностью совпадают со свойствами исходного объекта. Так, модель заменяет собой исходный объект. При этом, сохраняя только некоторые, наиболее существенные его свойства, которые определяются целями моделирования [8].

Моделирование, в общем случае, представляет собой ряд последовательности следующих этапов:

- выбор объекта и конкретизация целей моделирования;
- разработка необходимых критериев соответствия объекта и модели.
- создание модели;
- проверка, соответствует ли модель объекту;
- использование модели для решения поставленных задач.

Очевидно, что любая модель представляет собой лишь приближение к моделируемому объекту, т. к. обладает только специально отобранными свойствами. Теоретически можно поставить задачу создать модель, максимально приближенную к исходному объекту.

Моделирование стало в последнее время неотъемлемым этапом при проведении исследований и анализа в современной науке [9]. Это связано с тем, что зачастую невозможно провести или повторить эксперимент без значительных затрат на него. Под моделированием будем принимать метод исследования, при котором изучаемый объект, в нашем случае – генератор сигналов, заменяется моделью достаточно точно описывающей его и уже с ней проводятся эксперименты, цель которых заключается в получении информации об объекте.

Почему для работы выбрано моделирование, а не аналитическое решение? Дело в том, что точное аналитическое решение можно получить только тогда, когда модель достаточно проста и можно легко вычислить ее соотношения и параметры. Ведь на практике, зачастую аналитические решения представляют собой чрезвычайно сложные алгоритмы, требующие огромных компьютерных ресурсов. Сложные системы и объекты, как, например, генератор ГС-50, исключают возможность какого-либо аналитического решения. Тогда и приходит на помощь моделирование. Оно позволяет многократно испытывать объект, меняя нужные входные данные, чтобы обеспечивать определение их влияния на выходные критерии оценки объекта [9].

2.2 Компьютерное моделирование генератора ГС-50

Моделирование способно обеспечивать промежуточный уровень контроля разрабатываемого объекта, генератора ГС-50, между программным обеспечением моделирования и тестированием самого объекта.

Посредством моделирования разрабатывается модель генератора, а затем запускается ее симуляция, которая описывает его программные и аппаратные составляющие. При этом компоненты, из которых состоит генератор сигналов моделируются в соответствующей программной среде.

Такая методика делает возможным с помощью программного обеспечения ускорить выполнение исследования генератора ГС-50.

Для исследования генератора в работе был использован такой программный продукт, как: *National Instruments Multisim* (Далее – *Multisim*). Рассмотрим его далее.

Multisim является единственным в мире эмулятором схем, позволяющим создавать наилучшие продукты и, при этом, затрачивая наименьшее количество времени. *Multisim* представляет собой универсальное средство для построения и дальнейшего тестирования электрических схем. *Multisim* позволяет создавать интерактивные принципиальные электрические схемы, а затем осуществлять моделирование режимов их работы.

На данный момент база данных компонентов *Multisim* уже насчитывает более 1200 *SPICE* - моделей элементов от ведущих производителей, среди которых числятся *Analog Devices*, *Linear Technology* и *Texas Instruments* [10].

Основными достоинствами *Multisim* являются:

- простой интерфейс;
- ориентация на компьютерное моделирование электронных схем и систем;
- достаточно высокая точность моделирования;
- быстрота моделирования;
- широкий спектр различных возможностей.

На основании приведенных достоинств *Multisim*, дальнейшее моделирование шумовых характеристик генератора ГС-50 будет проводиться именно в нем.

3 Шумовые характеристики компонентов генератора ГС-50

3.1 Общие понятия и свойства шумов

Шум можно рассматривать, как различные электрические сигналы в схеме, отличные от полезных. Исключением из этого определения можно считать искажения, которые возникают в схеме в результате действия нелинейностей. Несмотря на то, что появление таких искажений крайне нежелательно, их можно не рассматривать как шумы, до тех пор, пока они, появившись в одной части схемы, не начнут воздействовать на другие ее части.

Источники шумов можно разделить на три основных группы. Первая будет включать в себя внутренние источники шумов, которые возникают в результате случайных изменений внутри физических систем. Примерами внутренних шумов можно считать тепловые, дробовые и контактные шумы. Вторая группа представляет собой источники шумов чье происхождение является искусственным, такие, как двигатели, переключатели, передатчики. К третьей группе можно отнести источники шумов, являющиеся следствием возмущений природного происхождения, например молниями и всплесками солнечной активности [11].

Чувствительность определяет реакцию схем или приборов на нежелательную электрическую энергию (шум). Порог чувствительности схем и приборов – это максимальная величина шумов, при которой аппаратура будет работать удовлетворительно.

В данной работе рассматривались такие параметры шумов, как: амплитуды шумов, среднеквадратическое значение шума, спектральная плотность шума.

Практически во всех электронных компонентах присутствуют собственные шумы. Наиболее важные типы этих шумов: тепловой, дробовой и контактный шумы. Но, так как в рассматриваемом генераторе ГС-50,

подавляющее влияние оказывают тепловые шумы, то в данном разделе будут рассмотрены только они. Дробовыми и контактными шумами в данном случае можно пренебречь.

Возникновение тепловых шумов происходит по причине теплового движения электронов в веществе, из которого состоит сопротивление, они задают нижний предельный уровень шумов, который возможно достигнуть в шуме. Тепловые шумы также носят название шумов сопротивления или также могут называться джонсоновскими шумами (по имени открывшего их Дж. Б. Джонсона).

Джонсоном [12] в 1928 году было сделано открытие, что непериодическое напряжение имеется во всех проводниках и его величина зависит от изменения температуры. В том же году Найквист [13] определил, что действующее значение напряжения шумов, возникающих в разомкнутой цепи, обусловлено наличием у нее сопротивления и равно:

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{4kT\Delta fR}, \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

T – абсолютная температура, К;

Δf – полоса частот шумов, Гц;

R – сопротивление, Ом.

Из уравнения (3) видно, что напряжение тепловых шумов пропорционально квадратному корню взятому из произведения полосы пропускания, сопротивления, абсолютной температуры и постоянной Больцмана. Исходя из этого, может оказаться полезным для уменьшения напряжения порождённого тепловым шумом минимизировать сопротивление и полосу пропускания системы [14].

3.2 Моделирование шумовых характеристик компонентов генератора ГС-50

Существуют следующие источники возникновения шумов: внешние и внутренние. От помех и наводок, которые вызываются причинами внешними, можно успешно избавиться с помощью оптимального расположения элементов, экранирования корпуса устройства, фильтрами и т.д. От внутренних шумов, которые возникают в процессе усиления сигнала, избавиться не так просто. На них влияет схемотехника генератора (совместимость транзисторов и целых каскадов), и возникают они при прохождении тока через пассивные и активные элементы схемы. Данная глава описывает те характеристики пассивных и активных радиоэлементов, которые существенно влияют на их шумовые параметры или на использовании их в схемотехнике шумоподавления. Это резисторы, транзисторы и интегральные схемы операционных усилителей. Так как, если рассматривать конденсаторы и катушки индуктивности по отдельности, их шумы незначительны, то их шумами можно пренебречь.

3.2.1 Шумы в резисторах

Так как реальные пассивные элементы не являются «идеальными», их характеристики имеют свойство отличаться от «теоритических» элементов. Использование этих отклонений крайне важно при определении правильного применения компонентов разного рода.

Существует три основных класса постоянных резисторов: проволочные, пленочные и композиционные. Эквивалентная схема резистора напрямую зависит от его типа и каким образом он был изготовлен. Однако схема, которая представлена на рисунке 3, подходит для большинства случаев.

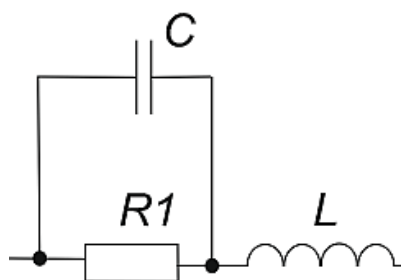


Рисунок 3 – Эквивалентная схема резистора

Для типичного композиционного резистора, шунтирующая емкость, изображенная здесь, имеет значение порядка (0,1 – 0,5) пФ. Значение индуктивности в основном зависит от выводов, исключением являются проволочные резисторы, в которых сам резистор вносит основной вклад в индуктивность. Пленочные резисторы из-за их конструкции в виде спирали и меандра имеют большую индуктивность, чем композиционные. При анализе схемы обычно можно пренебречь индуктивностью, исключение составляют проволочные резисторы и резисторы других типов, имеющие малое сопротивление.

Все резисторы, несмотря на их конструкцию, осуществляют генерацию напряжения шумов. При этом тепловой шум нельзя принципиально устранить, однако другие источники шумов возможно скомпенсировать и минимизировать. Таким образом, можно говорить о том, что суммарное напряжение шумов резисторов равно или превышает напряжение тепловых шумов.

Из выделенных трех основных видов резисторов меньшие шумовые характеристики имеют проволочные резисторы. В проволочных резисторах хорошего качества шумы не должны превышать тепловых шумов. И напротив, композиционные резисторы имеют наибольший уровень шумов.

Шумы, которые создают тонкопленочные резисторы, намного меньше шумов создаваемых композиционными резисторами, но они превышают шумы, генерируемые резисторами проволочными [14]. Но по частотным свойствам последние проигрывают тонкопленочным резисторам.

Исследование шумовых характеристик резисторов

Для того, чтобы исследовать шумовые характеристики резисторов в *Multisim* была собрана схема, представленная на рисунке 4. В схеме присутствуют: исследуемый резистор $R1$ (тип и сопротивление резистора $R1$ в ходе исследования изменялись в диапазоне от 10 Ом до 106 кОм), источник шума, так как сами по себе резисторы в используемом ПО не шумят, и мультиметр.

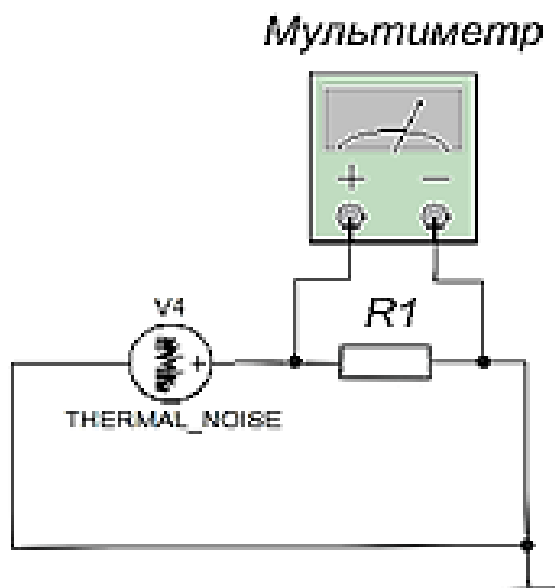


Рисунок 3 – Моделирование шумов резисторов

В ходе моделирования температура резисторов изменялась (плюс 23, плюс 40, 0, минус 50 °С). Полученные данные приведены в таблице Б.1 (приложение Б).

Затем, для сравнения результатов, по формуле (3), были получены расчетные значения шумов резисторов. А также, проведен натуральный эксперимент, для которого была собрана схема, представленная на рисунке 5.

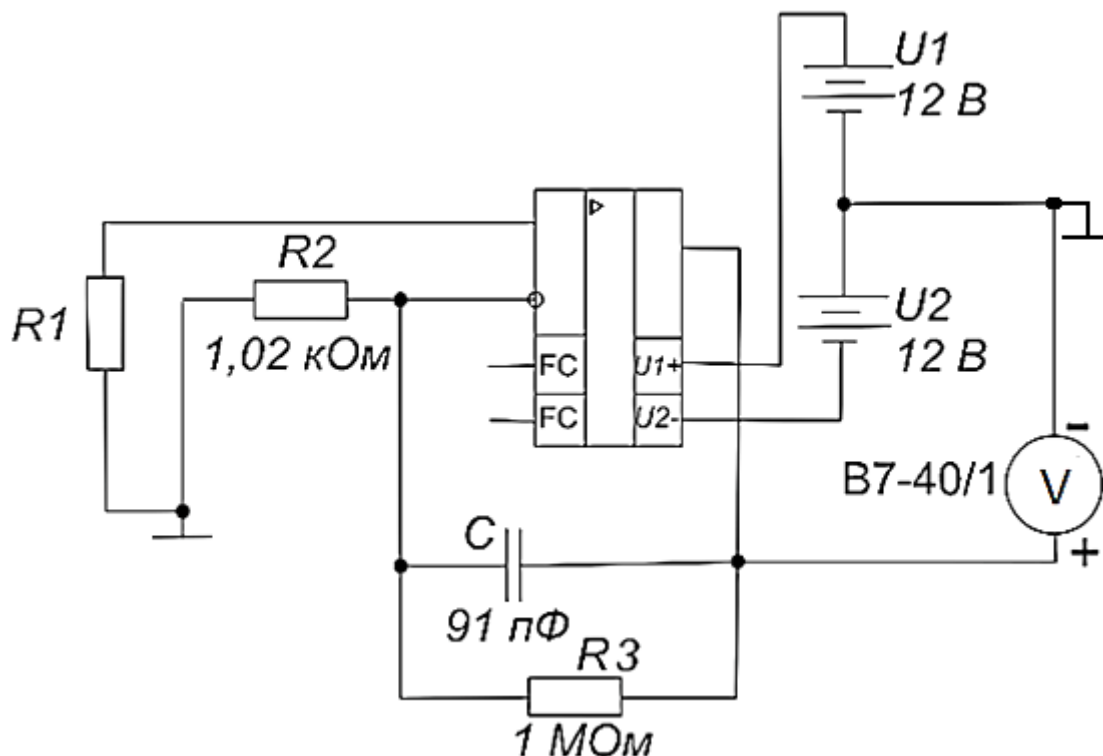


Рисунок 5 – Схема экспериментального исследования шумов резисторов

Здесь, так как имеющиеся на кафедре мультиметры не в состоянии измерять малые составляющие шума, шум исследуемого резистора $R1$ был усилен с помощью ОУ типа $UA741CD$, уровень шума которого не превышает $20 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. В качестве мультиметра использовался вольтметр универсальный В7-40/1.

В свою очередь, шумы усиливались согласно коэффициенту усиления ОУ:

$$k = 1 + \frac{R_3}{R_2}. \quad (4)$$

$$k \approx 1000.$$

Таким образом, измеренные мультиметром напряжения были поделены на данный коэффициент усиления для того, чтобы узнать напряжение шумов в схеме без их усиления.

Сравнение полученных тремя разными способами результатов при температуре окружающей среды плюс $23 \text{ }^\circ\text{C}$ представлены в таблице В.1 (приложение В). Как можно заметить, все данные не противоречат друг другу. Сравнение результатов при остальных температурах возможно только

для данных, полученных посредством моделирования и расчетных данных, так как на кафедре нет возможности изменять температуру окружающей среды в заданном диапазоне.

3.2.2 Шумы биполярных и полевых транзисторов

Во время работы транзисторов в них возникают шумы. Эти шумы могут состоять из: высокочастотных дробовых шумов, тепловых шумов и низкочастотных шумов. Так как исследуемый генератор ГС-50 является низкочастотным, то высокочастотные дробовые шумы в нем отсутствуют, а основное влияние оказывают тепловые шумы.

Величина шумов транзисторов количественно оценивается коэффициентом шума (5):

$$K_{\text{ш}} = U_{\text{ш}}^2 / U_{\text{шо}}^2 \quad (5)$$

или:

$$K_{\text{ш}}^* = 10 \lg \cdot (U_{\text{ш}}^2 / U_{\text{шо}}^2), \quad (6)$$

где $U_{\text{ш}}$ – напряжение, которое необходимо ввести во входную цепь «нешумящего (малешумящего)» транзистора для получения в выходной цепи напряжения, которое было бы равно напряжению шумов;

$U_{\text{шо}}$ – напряжение теплового шума источника сигнала [15].

Коэффициент шума $K_{\text{ш}}^*$ чаще всего выражают в децибелах. На него также не влияет по какой из трех типовых схем подключён транзистор (с общей базой, общим эмиттером или общим коллектором). Коэффициент шума не зависит от сопротивления нагрузки, но зависит от частоты и сопротивления источника сигнала R_{Γ} . Наименьшее значение шума биполярных транзисторов при $R_{\Gamma} = (0,5 - 2,0)$ кОм.

Для снижения уровня шумов рекомендуется применять транзисторы в рабочем режиме с низким напряжением коллектора и небольшими токами. Низкочастотные транзисторы с коэффициентом шума равным $K_{\text{ш}}^* \leq (5 - 6)$ дБ на частоте $f = 1$ кГц выделяют в малешумящую группу [16].

Шумы в полевых транзисторах включают в себя три составляющие: тепловой, дробовой и $1/f$ -шум (избыточный). Но в работе [17] сделан вывод, что в полевом транзисторе с управляющим р-п-переходом при отсутствии $1/f$ -шума тепловой шум на низких частотах доминирует.

Коэффициент шума $ПТ$ при малом сопротивлении источника сигнала достаточно велик и при $R_{Г} = 1$ кОм находится в пределах (30 – 50) дБ. Оптимальное же сопротивление источника сигнала (1 – 10) МОм.

Отсюда следует, что полевой транзистор рекомендуется использовать в случае высокоомного источника сигнала, поскольку при этом они обеспечивают меньший коэффициент шума, нежели биполярные транзисторы. Коэффициент шума $ПТ$ зависит от режима его работы. С возрастанием напряжения смещения на затворе он увеличивается, что обусловлено уменьшением крутизны полевого транзистора.

Рекомендуемым оптимальным режимом для работы полевых транзисторов является режим малых напряжений на стоке и затворе. Коэффициент шума $ПТ$ значительно зависит от температуры, он резко возрастает с увеличением температуры выше 300 К (27 °С) [18].

3.2.3 Шумы в интегральных операционных усилителях

На практике при определении шумовых характеристик операционного усилителя основное внимание уделяется его выходному каскаду. Большинство монолитных $ОУ$ имеют на входе дифференциальную схему на двух, реже на четырех транзисторах. Рисунок 6 показывает, как выглядит упрощенная принципиальная схема двухтранзисторной входной цепи, которая применяется в операционном усилителе.

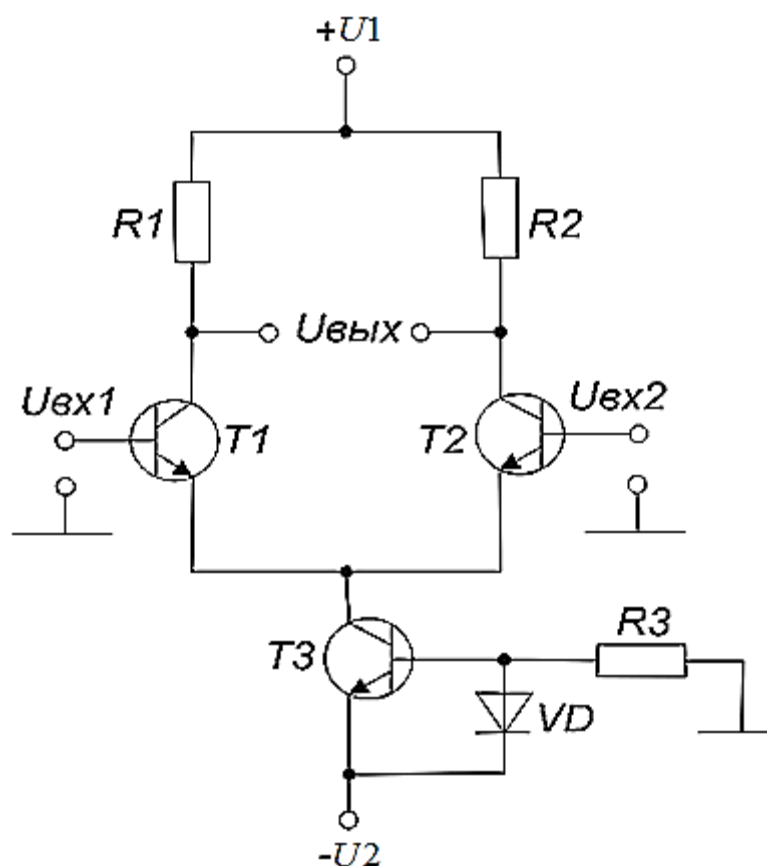


Рисунок 6 – Типичная схема входной цепи интегрального *ОУ*

К тому же большие шумы внутренне присущи именно операционным усилителям, по сравнению с усилителями на транзисторах. Зачастую улучшение шумовых характеристик *ОУ* возможно, если включить каскад на биполярных транзисторах. В этом случае, все особенности операционных усилителей сохраняются, а именно: малый температурный дрейф на балансном входе и входного тока сдвига, имеющий низкое значение.

Чтобы достичь от операционных усилителей оптимальных характеристик по шумам (максимального отношения сигнал/шум), необходимо минимизировать суммарное эквивалентное напряжение шумов на входе $U_{ш. сум}$ [11].

Далее будет проведено моделирование шумовых характеристик *ОУ*. Будут исследованы: амплитуда шума, среднеквадратическое значение шума, а также его спектральная плотность. Как известно, статистические методы способны наиболее точно описать шумовые характеристики операционного усилителя, так как они направлены на анализ случайных величин, а шум –

это случайный процесс. При этом, согласно [18] амплитуды шумов описываются гауссовским (нормальным распределением). Это утверждение было проверено далее.

3.2.3.1 Анализ операционного усилителя без учета шумов резисторов

Для того, чтобы проанализировать шумовые характеристики *ОУ* в *Multisim* была собрана схема, представленная на рисунке 7.

Данная схема содержит одноканальный *ОУ* с отрицательной обратной связью, образованной резисторами *R1* и *R2* и конденсатором *C1*. Входной сигнал на усилитель не подаётся. Шумы на выходе возникают за счет внутренних шумов резисторов, конденсатора и *ОУ* и реализуются с помощью осциллографа и мультиметра.

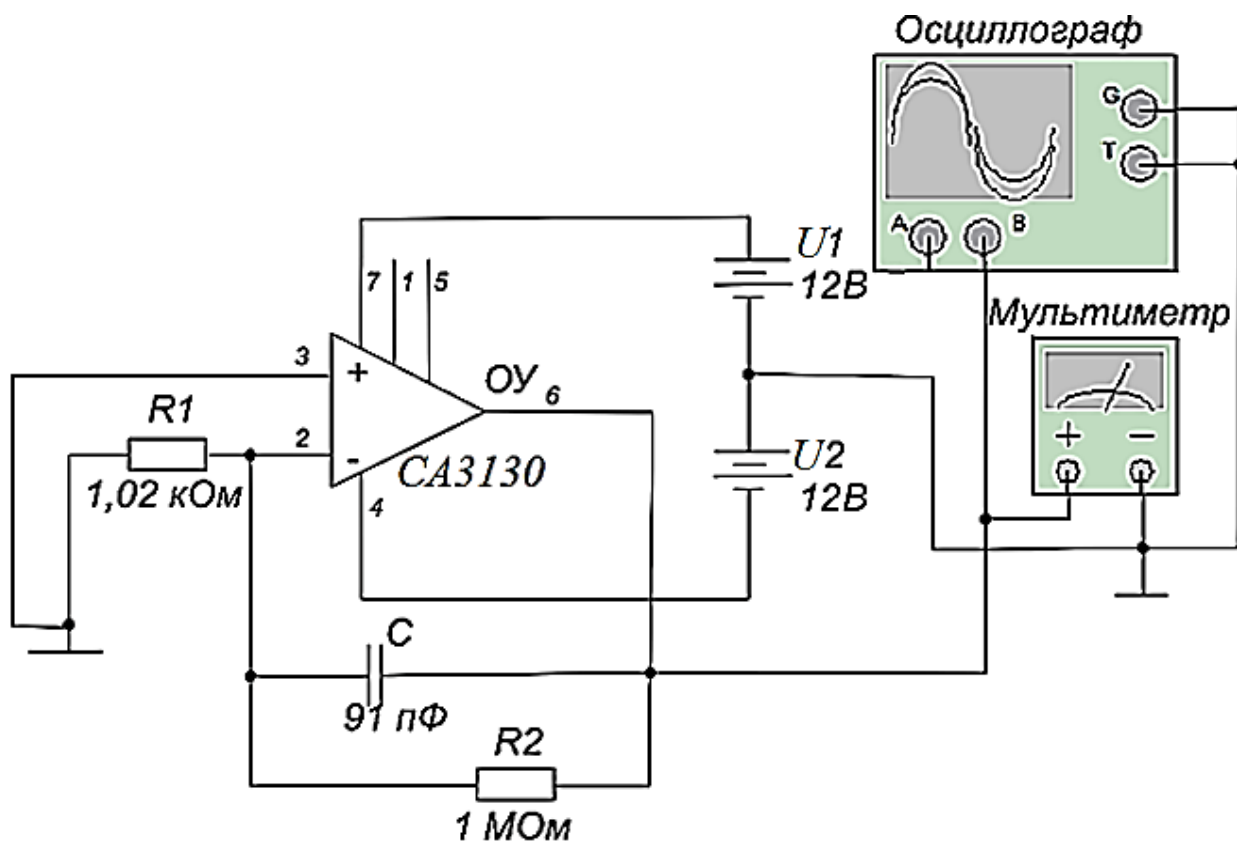


Рисунок 7 - Схема для моделирования шумовых характеристик *ОУ* типа *CA3130*

В результате моделирования была получена следующая осциллограмма (рисунок 8), отражающая шум в данном *ОУ*. На графике представлена наглядная реализация напряжения на выходе операционного усилителя.

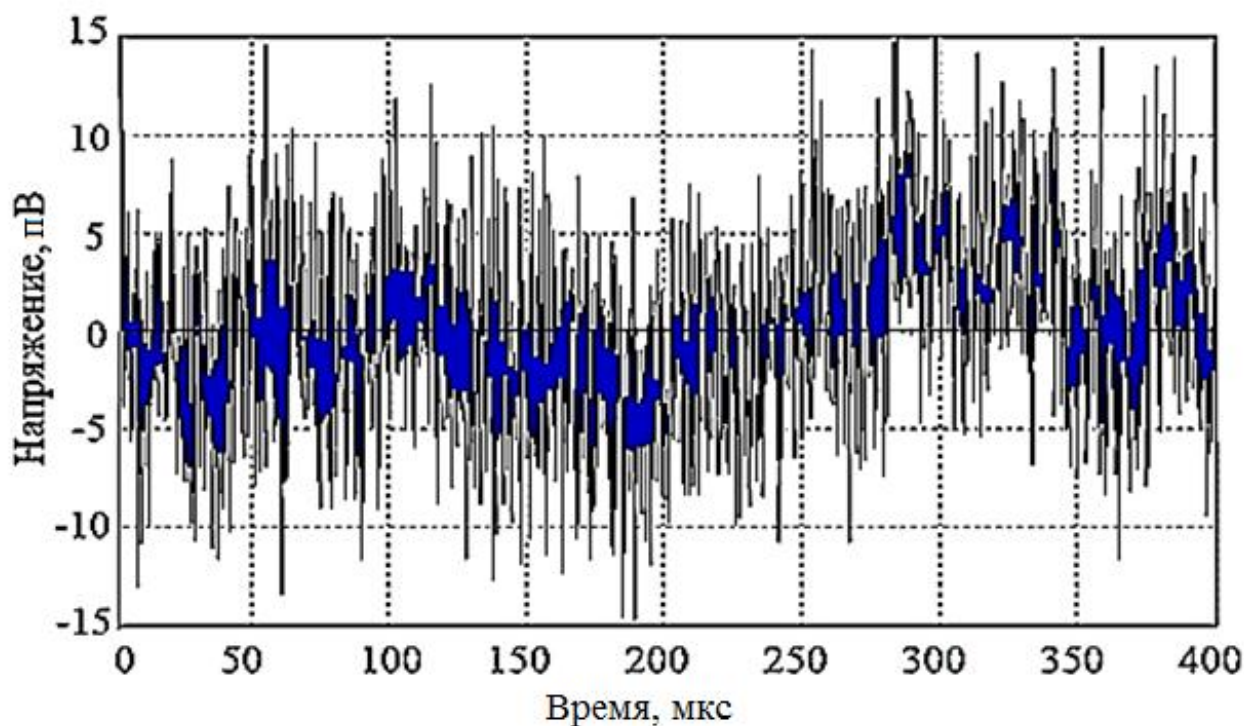


Рисунок 8 - Осциллограмма напряжения шума *ОУ* типа *CA3130*

В таблице Г.1 (приложение Г) приведены напряжения, которые соответствуют пикам амплитуд на полученной осциллограмме.

На основании полученных данных был определен закон распределения шума. Это нужно так как, если известен закон распределения, и он является нормальным, можно вычислить дисперсию, математическое ожидание и среднее квадратическое значение. Которые есть ни что иное, как основные параметры случайного процесса.

Как известно математическое ожидание говорит о том, что все значения случайной величины колеблются около этого значения. Оно также характеризует такой параметр, как смещение нуля. Дисперсия же олицетворяет уровень шума, а среднее квадратическое значение – шум в исследуемой схеме.

Смотря на гистограмму, представленную на рисунке 9, можно сделать вывод о том, что шум принадлежит нормальному закону распределения, что подтверждает утверждение данное в [18]. Последовательность шагов по ее построению, а также проверка гипотезы о нормальном распределении с помощью критерия « χ -квадрат» представлена в приложении Д. Гистограмма была построена с помощью программы CorelDRAW X8.

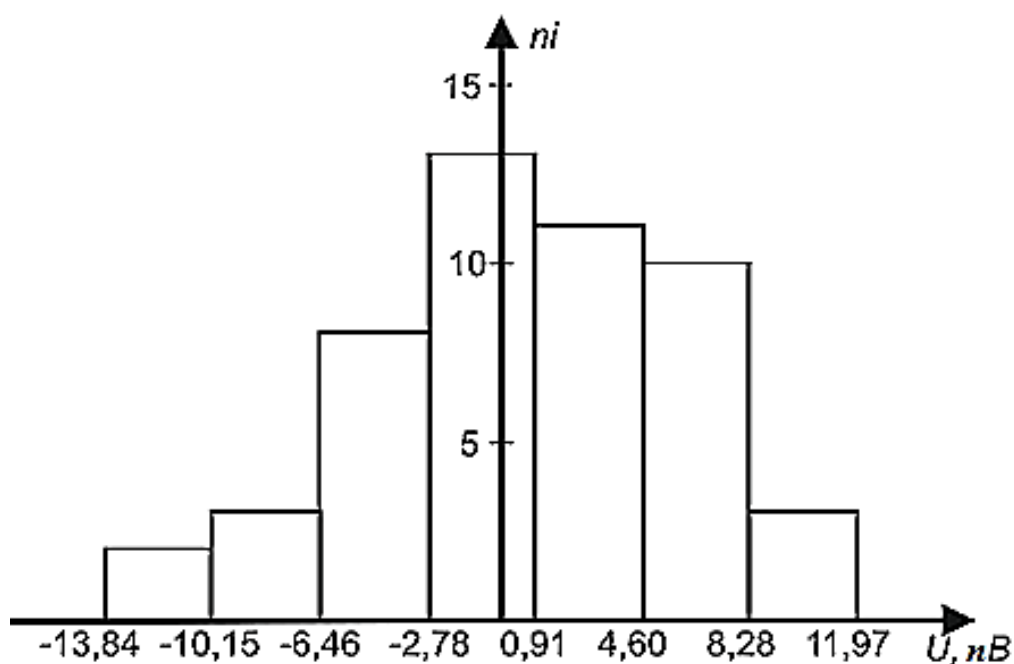


Рисунок 9 – Гистограмма распределения амплитуды напряжения шума ОУ типа CA3130

На основании полученных данных были вычислены математическое ожидание (смещение нуля), дисперсия (уровень шума) и среднеквадратическое значение шума.

Как видно из гистограммы на рисунке 9, шум незначительно сместился в отрицательную сторону, вычисленная оценка математического ожидания это подтверждает:

$$M[x] = \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

$$M[x] = -0,391 \text{ мВ.}$$

Согласно Datasheet на ОУ типа CA3130 смещение нуля может находиться в пределах от -6 до $+6$ мВ. Как видно, смещение нуля данного

усилителя лежит в допустимом пределе и достаточно мало, что говорит о качестве данного усилителя.

Была оценена дисперсия шума по формуле (8):

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2. \quad (8)$$

$$S^2 = 53,470 \cdot 10^{-24} \text{ В}^2.$$

Среднеквадратическое значение шума OU равнялось (9):

$$U_{шOU} = \sqrt{S^2}. \quad (9)$$

$$U_{шOU} = 7,312 \text{ пВ}.$$

3.2.3.2 Анализ операционного усилителя с учетом шумов резисторов

Для того чтобы исследовать OU с шумовыми характеристиками резисторов необходимо добавить источники шумов к схеме, представленной на рисунке 7 (рисунок 10).

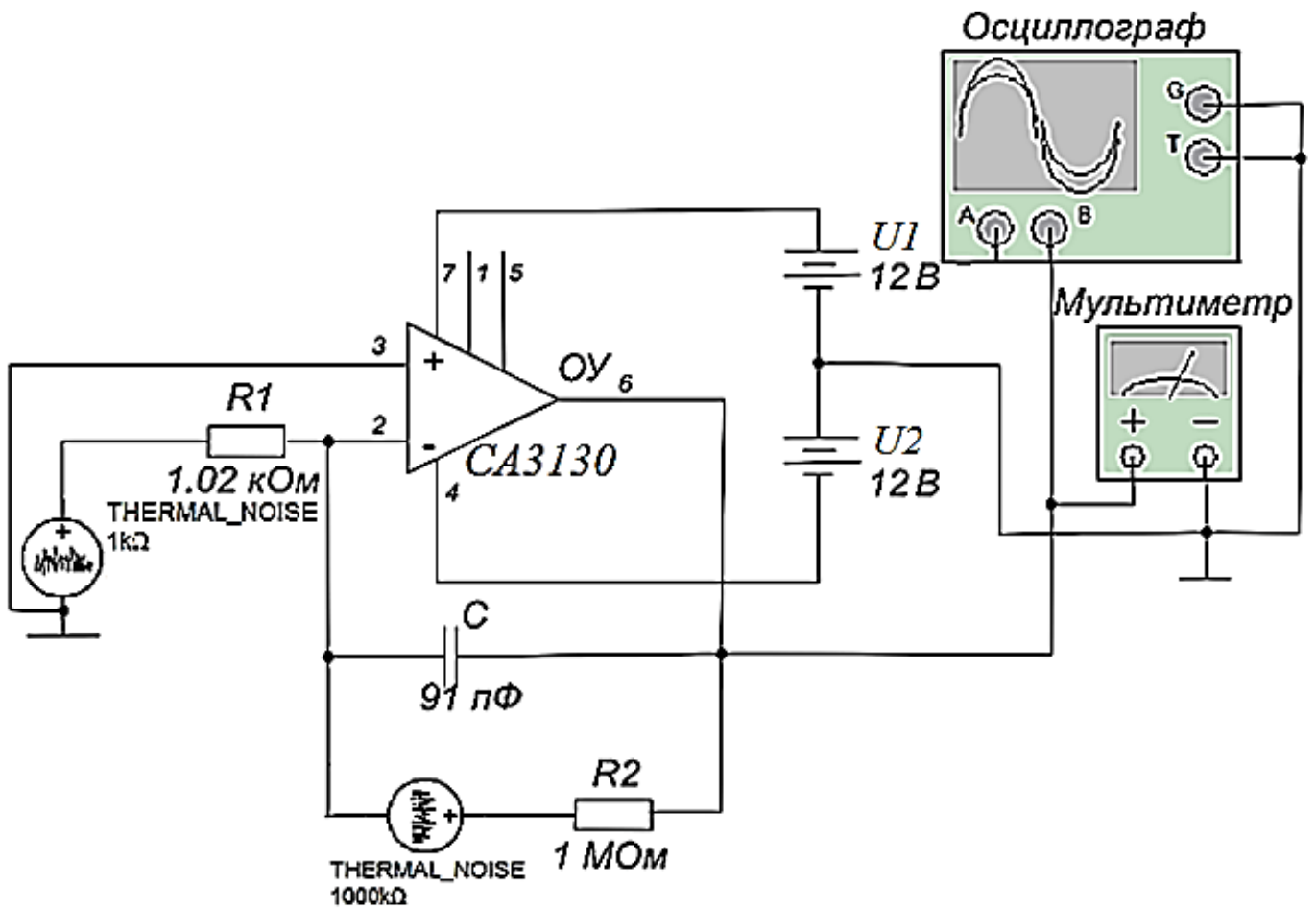


Рисунок 10 - Схема для моделирования шумовых характеристик ОУ типа CA3130 с учетом шумов резисторов

По итогу эксперимента была получена осциллограмма (рисунок 11), отражающая шум в данном ОУ с учетом шума резисторов.

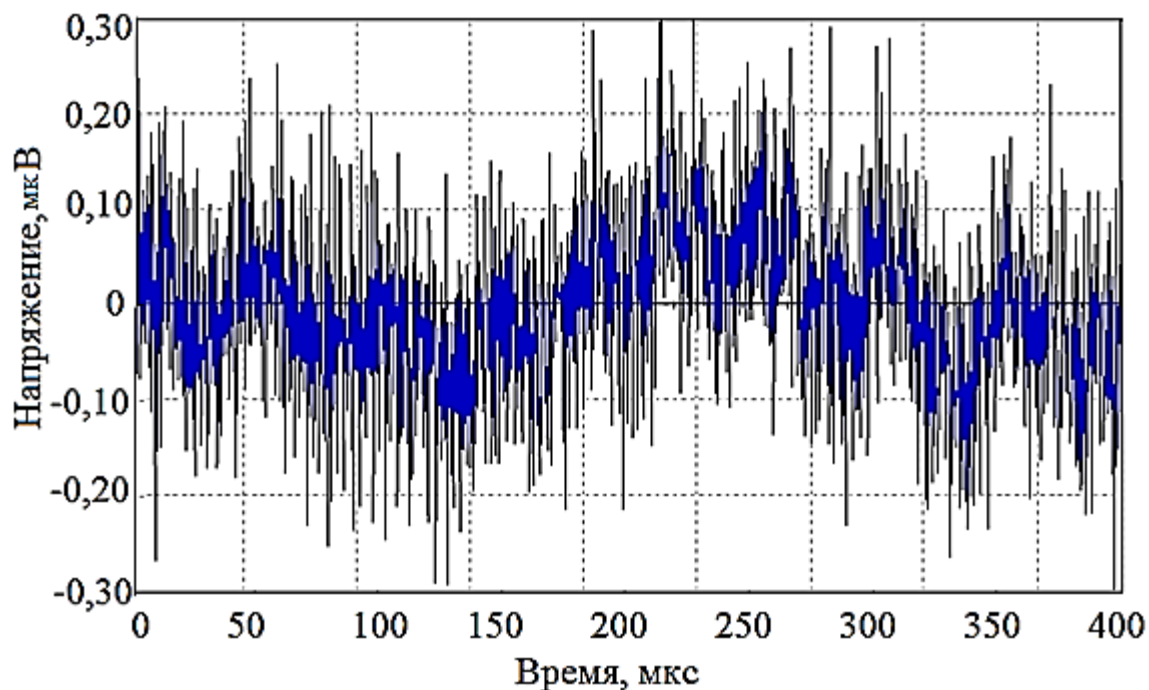


Рисунок 11 - Осциллограмма напряжения шума ОУ типа CA3130 с учетом шумов резисторов

В таблице Г.2 (приложение Г) приведены напряжения, которые соответствуют пикам амплитуд на полученной осциллограмме.

Смотря на гистограмму, представленную на рисунке 12, можно сделать вывод о том, что шум принадлежит нормальному закону распределения, что также не противоречит [18]. Последовательность шагов по ее построению, а также проверка гипотезы о нормальном распределении с помощью критерия « χ -квадрат» представлена в приложении Е.

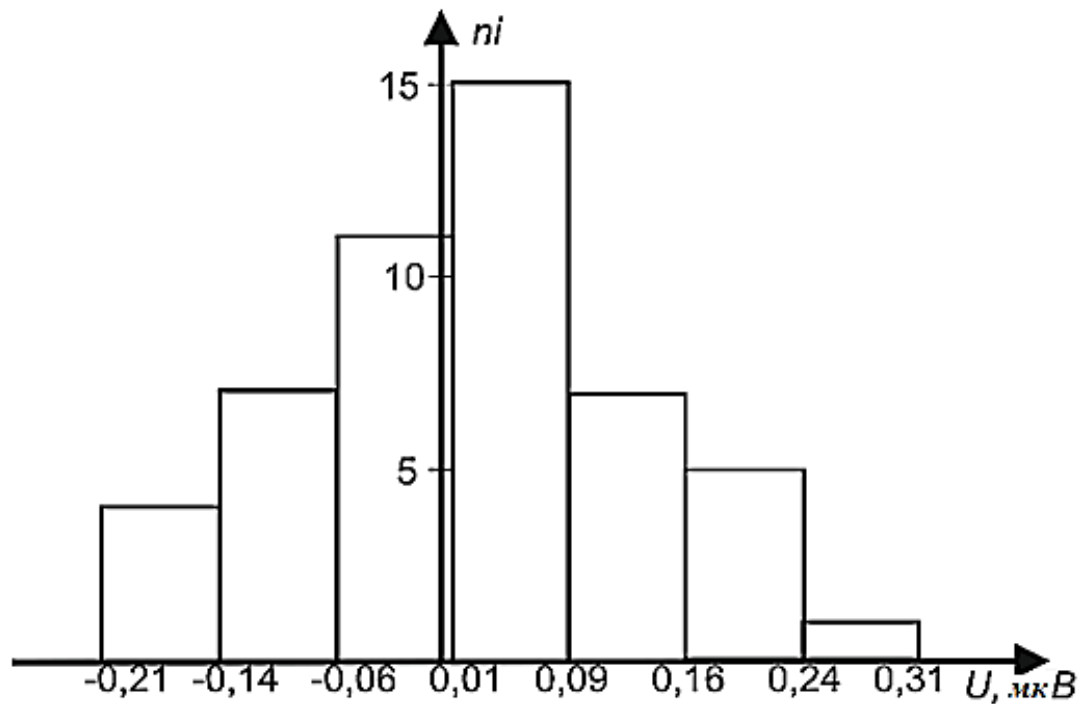


Рисунок 12 – Гистограмма распределения амплитуды напряжения шума ОУ типа СА310 с учетом шума резисторов

Как видно из гистограммы на рисунке 12, случайный процесс (шум) незначительно сместился в положительную сторону, вычисленная оценка математического ожидания это подтверждает:

$$M[x] = 0,011 \text{ мкВ.}$$

Как видно, смещение нуля данного усилителя лежит в допустимом пределе и достаточно мало, что говорит о качестве данного усилителя.

Далее была оценена дисперсия шума:

$$S^2 = 0,015 \cdot 10^{-12} \text{ В}^2.$$

Среднеквадратическое значение шума в схеме:

$$U_{ш} = 0,124 \text{ мкВ.}$$

3.2.3.3 Спектральная плотность шумов операционного усилителя

Частотные свойства случайных процессов описывает спектральная плотность. Она является частотной функцией, которая определяет спектр

(частотный состав) случайных процессов. Она характеризует распределение мощности сигнала по частотам спектра. На рисунке 13 представлена спектральная плотность шумов операционного усилителя типа *CA3130*, полученная с помощью анализатора шумов в *Multisim*.

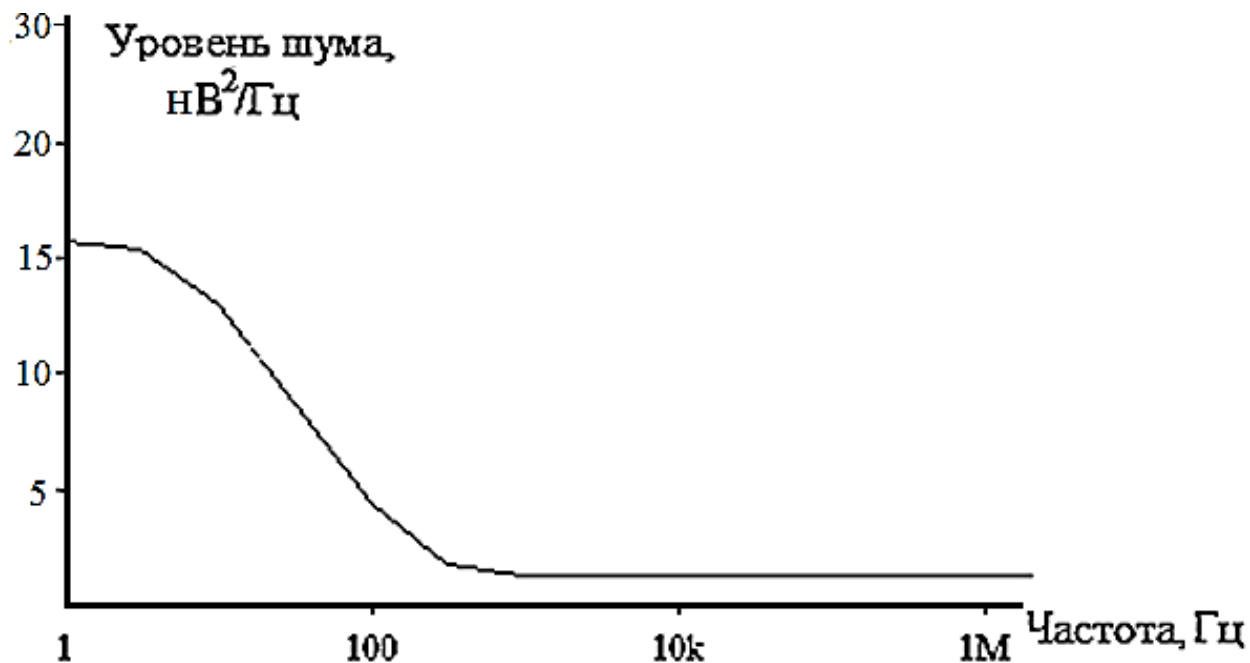


Рисунок 13 – Спектральная плотность шумов *ОУ* типа *CA3130* с учетом шумов резисторов

Здесь, на более нижних частотах преобладает тепловые шумы, которые, с ростом частоты, стремятся к нулю. Как видно из рисунка 13, уровень шума, полученный посредством моделирования не превышает, установленный, в *Datasheet* на *ОУ* типа *CA3130*, уровень шума в $25 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Что говорит о качестве данного усилителя.

3.2.3.4 Сравнение напряжений шумов на выходе схемы с операционными усилителями разного типа

Используя схему на рисунке 14, сравним шумы операционных усилителей трех типов, путем их замены в схеме. При неизменных сопротивлениях резисторов: $R1 = 1,02 \text{ кОм}$, $R2 = 1 \text{ МОм}$; емкости

конденсатора: $C1 = 91$ пФ; температуры окружающей среды во время проведения эксперимента: $T = 296$ °К.

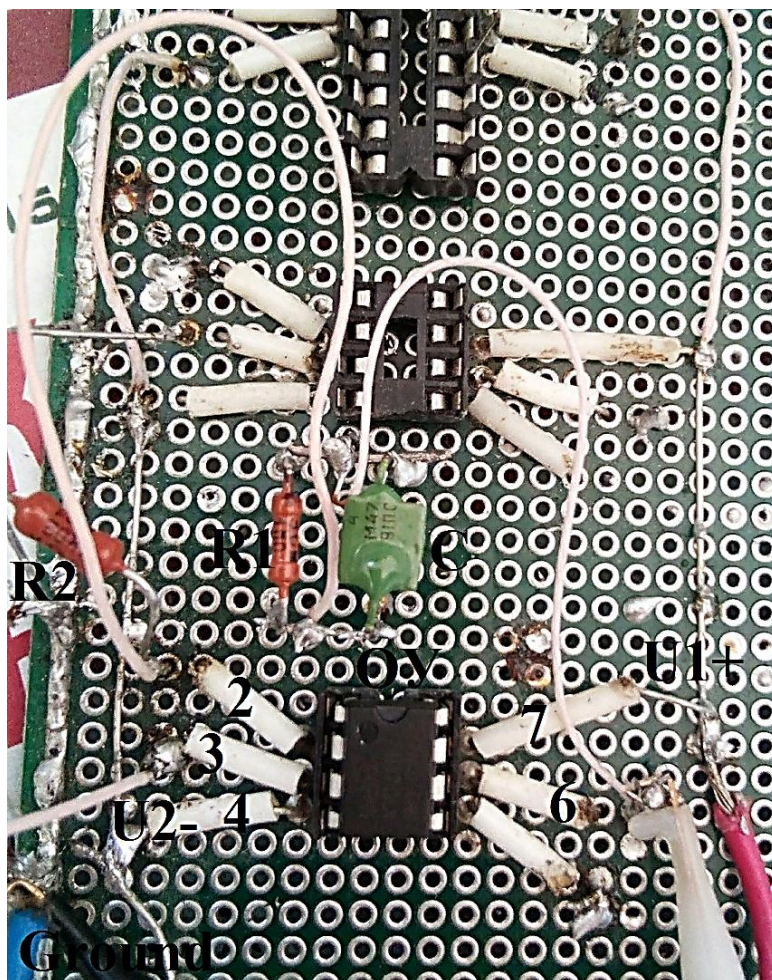


Рисунок 14 – Схема экспериментального исследования шумов ОУ
Исследуемые ОУ типа:

- *UA741CD* с уровнем шума $20 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$;
- *CA3130* с уровнем шума $10 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$;
- *LF411ACN* с уровнем шума $15 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$;
- *AD8661* с уровнем шума $10 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$.

Ниже приведена сравнительная таблица измеренных напряжений шумов на выходе схемы с ОУ разных типов (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение напряжений шумов на выходе схемы с ОУ разных типов

| <i>UA741CD</i> | <i>CA3130</i> | <i>LF411ACN</i> | <i>AD8661</i> |
|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 8,94 мкВ | 1,41 мкВ | 4,08 мкВ | 3,15 мкВ |

Как видно из таблицы 1 наименьшее напряжение шумов оказалось в схеме с операционным усилителем типа *CA3130*, так как он является наиболее малошумящим из представленных выше *ОУ*.

Рекомендуется использовать операционные усилители с наименьшим уровнем шума, так как это позволит снизить уровень шума во всей схеме. В таблице 2 представлены рекомендуемые на замену существующим, *ОУ* с меньшим уровнем шума.

Таблица 2 – Рекомендуемые малошумящие *ОУ*

| Тип <i>ОУ</i> | Уровень шума <i>ОУ</i> , нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ |
|------------------|---|
| <i>AD8675</i> | 2,5 |
| <i>ADA4004-4</i> | 2 |
| <i>AD8692</i> | 8 |
| <i>OP2177ARZ</i> | 8 |
| <i>AD8599</i> | 1,07 |

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выпускная квалификационная работа «Компьютерное моделирование шумовых характеристик генератора сигналов прецизионного ГС-50» относится к научно-исследовательской работе.

Поэтому, в данной главе рассмотрена конкурентоспособность и соответствие ВКР современным требованиям в областях ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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




4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов данной работы являются предприятия, которые разрабатывают или производят средства измерений, а также предприятия, которые в своей работе используют средства измерений.

Сегментирование рынка произведено по двум видам критериев: размер компании и вид реализации исследования (таблица 3).

Таблица 3 – Карта сегментирования

| Размер компании | Вид реализации исследования | |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------|
| | Компьютерное моделирование | Натуральный эксперимент |
| Мелкие | | |
| Средние | | |
| Крупные | | |

| | | |
|--|---|--|
|  National Instruments |  Mastech |  Tektronix |
|--|---|--|

На данной карте сегментирования показано, какие ниши на рынке услуг не заняты конкурентами. Так, мелким компаниям требуется обратить внимание на реализацию компьютерного исследования, а крупным – на проведение натуральных экспериментов.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Необходимо проводить детальный анализ конкурирующих разработок, так как рынки пребывают в непрекращающемся движении. Подобный анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам.

В ходе ВКР исследования проводились с помощью программного обеспечения для инженерных вычислений – *NI Multisim*. Аналогичные

исследования можно проводить, используя и другое программное обеспечение. Например: *MathCad* и *MatLab*.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. Оценочная карта приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | Б _ф | Б _{к1} | Б _{к2} | К _ф | К _{к1} | К _{к2} |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| Повышение производительности труда пользователя | 0,1 | 4 | 5 | 3 | 0,4 | 0,5 | 0,3 |
| Удобство в эксплуатации | 0,1 | 5 | 4 | 4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Потребность в ресурсах памяти | 0,05 | 5 | 4 | 4 | 0,25 | 0,2 | 0,2 |
| Функциональная мощность | 0,09 | 4 | 5 | 3 | 0,36 | 0,45 | 0,27 |
| Качество интеллектуального интерфейса | 0,2 | 4 | 2 | 3 | 0,8 | 0,4 | 0,6 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| Конкурентоспособность продукта | 0,2 | 4 | 5 | 3 | 0,8 | 1 | 0,6 |
| Цена | 0,05 | 4 | 3 | 5 | 0,2 | 0,15 | 0,2 |
| Предполагаемый срок службы | 0,1 | 3 | 3 | 5 | 0,3 | 0,3 | 0,5 |
| Финансирование научной разработки | 0,01 | 3 | 3 | 4 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Срок выхода на рынок | 0,1 | 3 | 4 | 3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| Итого | 1 | - | - | - | 3,94 | 3,83 | 3,3 |

Примечание – Б_ф – использование *NI Multisim*; Б_{к1} – использование *MatLab*; Б_{к2} – использование *MathCad*.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где:

- 1 – наиболее слабая позиция;
- 5 – наиболее сильная позиция.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (11):

$$K = \sum V_i B_i, \quad (11)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из таблицы 4 видно, что использование *Multisim* является более конкурентоспособным решением, чем использование *MatLab* или *MathCad*.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT-Strengths (сильные стороны), *Weaknesses* (слабые стороны), *Opportunities* (возможности) и *Threats* (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Итоговая матрица *SWOT* – анализа представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Итоговая матрица *SWOT*-анализа

| | Сильные стороны: С1. Экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Богатый функционал. С3. Простота. С4. Надежность. | Слабые стороны: Сл1. Высокие начальные затраты. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров. Сл3. Возможное ухудшение параметров в ходе эксплуатации. Сл4. Ограниченные финансовые возможности. |
|--|--|---|
| Возможности: В1. Увеличение спроса. В2. Соответствие требованиям потребителей. В3. Выход на иностранный рынок. В4. Повышение стоимости конкурентных разработок. | В1С1 – следует сделать разработку более экономичной и повысить его энергоэффективность, это поспособствуют увеличению спроса на рынке. В2С2 – чтобы соответствовать требованиям потребителей необходимо расширять функционал разработки. В3С4 – для того чтобы проект вышел на иностранный рынок следует повысить надежность разработки. | В1Сл1 – следует снизить начальные затраты чтобы воспользоваться спросом в полной мере. В2Сл2 – рекомендуется допускать к работе только обученных людей. В3Сл4 – следует расширить финансовые возможности при разработке для того, чтобы выйти на иностранный рынок. В4С3 – следует снизить риск ухудшения параметров на стадии проектирования. |

Продолжение таблицы 5:

| | | |
|--|---|--|
| <p>Угрозы: У1. Увеличение конкуренции. У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> | <p>У1С1С2С3С4 – для того, чтобы увеличение конкуренции не стало проблемой, необходимо постоянно совершенствовать сильные стороны разработки. У2С3С4 – следует делать разработку простой и надежной, чтобы легко, в случае необходимости, достигнуть</p> | <p>У1Сл1Сл4 – следует увеличить бюджет разработки, чтобы грамотно проведенная рекламная компания, выделяла ее среди конкурентов. У2Сл3 – необходимо исключить возможность ухудшения параметров в ходе эксплуатации, чтобы разработка соответствовала</p> |
| <p>У3. Развитие новых технологий. У4. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> | <p>новых государственных требований к сертификации продукции. У3С2 – следует наделять разработку богатым функционалом и возможностью его расширения.</p> | <p>требованиям к сертификации продукции. У3Сл2 – следует предусмотреть дополнительное обучение квалифицированных кадров в случае развития новых технологий.</p> |

На основе проведенного анализа, можно сделать вывод, что сильные стороны разработки дают ей возможность занимать достойную нишу среди конкурентов и соответствуют ее возможностям. Однако, слабые стороны разработки с учетом, имеющихся угроз ставят под сомнение ее дальнейшее развитие. Для того чтобы их минимизировать рекомендуется повысить квалификацию потребителей, еще следует учесть то, что со временем будут появляться новые технологии и, смотря на это, еще на стадии проектирования разработки наделять ее соответствующими функциональными возможностями.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В ходе выполнения научных исследований была создана рабочая группа, состоящая из научного руководителя и студента.

В данном подразделе приведен, созданный перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения исследования, а также приведены исполнители по каждому виду работ (таблица 6).

Таблица 6 – Перечень работ, этапов и распределений исполнителей

| Основные этапы | № работы | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|----------|---|-----------------------|
| Разработка технического задания. | 1 | Составление и утверждение ТЗ | НР |
| Выбор направления исследования | 2 | Подбор и изучение материала по теме | С |
| | 3 | Выбор направления исследования | НР, С |
| | 4 | Календарное планирование работ по теме | НР, С |
| Теоритические и экспериментальные исследования | 5 | Изучение теоритического материала по выбранному направлению | С |
| | 6 | Проведение теоритических расчетов и обоснований | С |
| | 7 | Проведение эксперимента | С |
| Обобщение и оценка результатов | 8 | Сопоставление результатов экспериментов с теоритическими исследованиями | С |
| | 9 | Оценка эффективности полученных результатов | НР, С |
| | 10 | Оформление отчета по НИР | С |

Примечание – НР – научный руководитель, С – студент.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Так как трудовые затраты чаще всего являются основной частью стоимости проведенного исследования, определение трудоемкости выполнения работ для каждого исполнителя является важным моментом.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ рассчитывается по следующей формуле (12):

$$t_{ожі} = \frac{2t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (12)$$

где $t_{ожі}$ – 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 полученных значений $t_{ожi}$, рассчитывается продолжительность каждого вида работы в рабочих днях T_p по формуле (13):

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (13)$$

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.

4.2.3 Разработка графика научного исследования

В качестве графика проведения научного исследования использовалась диаграмма Ганта, т.к. оно является наиболее наглядным и удобным способом построения ленточного графика.

Для построения графика, длительность каждого из этапов работ переводится из рабочих в календарные дни по формуле (14):

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (14)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности в свою очередь рассчитывается по формуле (15):

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (15)$$

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

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

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

В соответствии с производственным календарем на 2017 год праздничных дней – 14, выходных дней при шестидневной рабочей неделе – 59. Таким образом, получили значение $k_{кал} = 1,25$. Полученные значения представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Временные показатели приведения научного исследования

| № работы | Исполнители | Трудоемкость работ | | | Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб.дн. | Длительность работ в календарных днях T_{ki} , кал.дн. |
|----------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|--|
| | | t_{min} , чел.-дн. | t_{max} , чел.-дн. | $t_{ожi}$, чел.-дн. | | |
| 1 | НР | 1 | 2 | 1,4 | 1,4 | 2 |
| 2 | С | 7 | 9 | 7,8 | 7,8 | 10 |
| 3 | НР | 5 | 6 | 5,4 | 5,4 | 7 |
| | С | 5 | 6 | 5,4 | 5,4 | 7 |
| 4 | НР | 4 | 6 | 4,8 | 4,8 | 6 |
| | С | 4 | 6 | 4,8 | 4,8 | 6 |
| 5 | С | 20 | 25 | 22 | 22 | 28 |
| 6 | С | 14 | 16 | 14,8 | 14,8 | 19 |
| 7 | С | 6 | 9 | 7,8 | 7,8 | 10 |
| 8 | С | 1 | 3 | 1,8 | 1,8 | 2 |
| 9 | НР | 2 | 3 | 2,4 | 2,4 | 3 |
| | С | 4 | 5 | 4,4 | 4,4 | 6 |
| 10 | С | 10 | 12 | 10,8 | 10,8 | 14 |

На основании таблицы 6 был построен календарный план-график. Данный график строится для наибольшего по длительности исполнения работ в рамках исследовательской работы на основании таблицы 8 с разбиением по месяцам, а затем по декадам (10 дней) за период времени написания дипломной работы. При этом на графике работы для научного руководителя выделены косой штриховкой, а студента – сплошной заливкой.

Таблица 8 – Календарный план-график

| № работы | Исполнители | T_{ki} , кал.дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------|--------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|--|---|---|
| | | | Февраль | | Март | | | Апрель | | | Май | | | | | |
| | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | |
| 1 | НР | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | С | 10 | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 3 | НР | 7 | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| | С | 7 | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 4 | НР | 6 | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| | С | 6 | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 5 | С | 28 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| 6 | С | 19 | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 7 | С | 10 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| 8 | С | 2 | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| 9 | НР | 3 | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| | С | 6 | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| 10 | С | 14 | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

4.2.4 Определение бюджета научно-технического исследования

Необходимо обеспечить достоверное и полное отражение всех расходов, связанных с выполнением научно-технического исследования, во время планирования его бюджета. Для определения бюджета НТИ в рамках выполнения дипломного проекта с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работы были рассчитаны следующие виды затрат:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.2.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В рамках расчета материальных затрат НТИ должны быть учтены:

- приобретаемые сырье и материалы, необходимые для создания продукции;
- покупаемые материалы, необходимые для поддержания нормального технологического процесса;
- затраты на дополнительные комплектующие;
- сырье, материалы, различные комплектующие изделия, применяемые в качестве объектов исследования;
- затраты на канцелярские принадлежности.

Стоимость материалов определяется методом калькулирования основанном на прямом определении затрат по формуле (16):

$$Z_M = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi}, \quad (16)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – 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 (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Результаты расчетов материальных затрат представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

| Наименование материалов | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы З _м , руб. |
|-------------------------|-------------------|------------|-------------------|--|
| Тетрадь | шт. | 1 | 50 | 50 |
| Пачка бумаги А4 | шт. | 1 | 200 | 250 |
| Итого | | | 250 | 250 |

Расходы на материалы составили $C_{\text{мат}} = 250$ рублей.

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приборостроению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчет бюджета на приборостроение спецоборудования для научных работ

| № п/п | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | | Цена единицы оборудования, тыс. руб. | | Общая стоимость оборудования, тыс. руб. | |
|--------|---|----------------------------|--------|--------------------------------------|--------|---|--------|
| | | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 1 | Исп. 2 |
| 1 | Компьютер | 1 | 1 | 30,0 | 40,0 | 30,0 | 40,0 |
| 2 | Доставка, монтаж | 1 | 1 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 3 | Многофункциональное устройство (принтер, сканер, копир) | 1 | 1 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 8,0 |
| 4 | Содержание работ и эксплуатация | 2 | 2 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| Итого: | | | | | | 48,0 | 60,0 |

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В рамках данной главы рассчитывается основная заработная плата для всех исполнителей, участвовавших в проведении НТИ. Величина расходов по заработной плате рассчитывается на основании трудоемкости выполняемых работ, а также действующей системы тарифных ставок и окладов.

Зарботная плата исполнителей определяется по формуле (17):

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (17)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя или студента определяется по формуле (18):

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p, \quad (18)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата исполнителя, руб.

Среднедневная заработная плата определяется по формуле (19):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M * M}{F_d}, \quad (19)$$

где Z_M – месячный должностной оклад исполнителя, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней, $M = 8,5$ месяцев, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 11:

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | НР | С |
|--|-----|-----|
| Календарное число дней | 365 | 365 |
| Количество нерабочих дней: | | |
| - выходные дни; | 92 | 92 |
| - праздничные дни. | 16 | 16 |
| Потери рабочего времени: | | |
| - отпуск; | 48 | 48 |
| - невыходы по болезни. | - | - |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 209 | 209 |

Значения действительного годового фонда рабочего времени для руководителя и студента равны и составляют 209 рабочих дня.

Месячный должностной оклад исполнителя определяется по формуле (20):

$$Z_M = Z_{TC} * (1 + k_{np} + k_d) * k_p, \quad (20)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент (30% от Z_{mc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок (20 % от Z_{mc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата определяется по формуле (21):

$$Z_{TC} = T_{ci} * k_T, \quad (21)$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника первого разряда, 600 руб.;

k_T – тарифный коэффициент, учитываемый по единой тарифной сетке для бюджетных организаций (для руководителя 2,047, для студента 1,407).

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 12:

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | k_T | $Z_{ТС}$, руб. | k_{np} | k_d | k_p | Z_M , руб. | $Z_{дн}$, руб. | T_p , раб.дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|-------------|-------|-----------------|----------|-------|-------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|
| НР | 2,047 | 1228,20 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 2394,99 | 97,40 | 18 | 1753,20 |
| С | 1,407 | 844,20 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 1646,19 | 66,95 | 104 | 6828,90 |
| Итого: | | | | | | | | | 8582,10 |

4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину доплат за отклонения от нормальных условий труда, предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Расчет дополнительной заработной платы осуществляется по формуле (22):

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн}, \quad (22)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, 0,15.

В результате получили следующие значения:

$$Z_{доп(НР)} = 262,98;$$

$$Z_{доп(С)} = 1024,34.$$

4.2.4.5 Отчисление во внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством Российской Федерации, органам пенсионного фонда, государственного социального страхования, медицинского страхования, а также затраты на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле (23):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (23)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 13:

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | $Z_{\text{осн}}$, руб. | $Z_{\text{доп}}$, руб. | $k_{\text{внеб}}$ | $Z_{\text{внеб}}$, руб. |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| НР | 1753,20 | 262,98 | 0,271 | 546,38 |
| С | 6828,90 | 1024,34 | 0,271 | 2128,23 |
| Итого | 8582,10 | 1287,315 | - | 2674,61 |

4.2.4.6 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

4.2.4.7 Накладные расходы

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Накладные расходы определяются по формуле (24):

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) * k_{\text{нр}}, \quad (24)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, 16 %.

Получили следующие значения:

$$Z_{\text{накл(НР)}} = 410,01;$$

$$Z_{\text{накл(С)}} = 1597,04.$$

4.2.4.8 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Полученная в результате величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект.

Определение бюджета затрат на НТИ приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | | Номер пункта |
|--|-------------|----------|-----------------------------------|
| | НР | С | |
| Материальные затраты НТИ | - | 250 | 1.2.4.1 |
| Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 15633,00 | 21135,20 | 1.2.4.2 |
| Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 2344,95 | 3170,28 | 1.2.4.3 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 4872,02 | 6586,78 | 1.2.4.4. |
| Накладные расходы | 3655,91 | 4942,82 | 1.2.4.5 |
| Бюджет затрат на НТИ | 26505,88 | 36085,08 | Сумма статей с 1.2.4.1 по 7.2.4.5 |

4.3 Определение ресурсноберегающей, финансовой, бюджетной, социальной 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.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле (25):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (25)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{3170,28}{36108,08} = 0,088.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется по формуле (26):

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \quad (26)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Результаты расчета интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии | Объект исследования | | |
|---|-------------------------------|--------|-------|
| | Весовой коэффициент параметра | Исп. 1 | Исп.2 |
| 1 Способствует росту производительности труда пользователя | 0,1 | 5 | 4 |
| 2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителя) | 0,15 | 5 | 5 |
| 3 Помехоустойчивость | 0,15 | 4 | 3 |
| 4 Энергосбережение | 0,20 | 5 | 5 |
| 5 Надежность | 0,25 | 5 | 4 |
| 6 Материалоемкость | 0,15 | 4 | 3 |
| Итого | 1 | 4,4 | 4,1 |

$$I_{p-\text{исп1}} = 5 * 0,1 + 5 * 0,15 + 4 * 0,15 + 5 * 0,2 + 5 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,4;$$

$$I_{p-\text{исп2}} = 4 * 0,1 + 5 * 0,15 + 3 * 0,15 + 5 * 0,2 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 = 4,1.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (27):

$$I_{\text{исп}i} = \frac{I_{p-\text{исп}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1}}. \quad (27)$$

$$I_{\text{исп1}}=50,0; I_{\text{исп2}}=46,6.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле (28):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}i}}{I_{\text{исп.}max}}. \quad (28)$$

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Исп.1 | Исп.2 |
|-------|---|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,87 | 0,88 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,34 | 2,7 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 49,8 | 31,03 |
| 4 | Сравнительная оценка вариантов исполнения | 1,60 | 0,91 |

В результате работы по данному разделу было произведено сравнение значений интегральных показателей эффективности, который позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи.

Следует сделать вывод, что исследуемый метод экономически эффективен и смело можно продолжать работы в данной сфере.

5 Социальная ответственность

Область научных знаний, которая охватывает теорию и практику защиты человека от опасных и вредных факторов в среде обитания, во всех сферах человеческой деятельности, не исключая производство, носит название – безопасность жизнедеятельности.

Обеспечение безопасной жизнедеятельности человека во многом зависит от адекватной оценки опасных производственных факторов. Равные по тяжести изменения в организме человека могут быть вызваны различными причинами. Это могут быть такие факторы производственной среды, как чрезмерная физическая и умственная нагрузка, нервно-эмоциональное перенапряжение, а также сочетание этих причин. Факторы производственной среды принято классифицировать на две группы. Это: опасные и вредные факторы, которые в свою очередь делятся на физические, химические, биологические и психологические.

В разделе «Социальная ответственность» рассматривается следующий перечень вопросов:

- производственная безопасность;
- безопасность в чрезвычайных ситуациях;
- правовые и организационные формы обеспечения безопасности.

Теоритическое исследование и определение шумовых характеристик генератора сигналов прецизионного ГС-50 на основе компьютерного моделирования. Для решения поставленной задачи было использовано программное обеспечение для инженерных вычислений *Multisim*. Исходя из этого, объектом исследования является рабочее место, оборудованное ПК.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548 [19] на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт), объект исследования относится к категории Ia, т.е. работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением.

Для экспериментального исследования шумовых характеристик генератора ГС-50 была собрана исследуемая схема, путем напаивания на плату необходимых электронных компонентов. Здесь, объектом исследования является рабочее место, оборудованное паяльным инструментом.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548 [19] на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт), объект исследования также относится к категории Ia.

5.1 Производственная безопасность

В настоящее время эффективность профессиональной деятельности напрямую зависит от обеспечения безопасности человека в среде обитания. Проявление вредных факторов в рассматриваемой рабочей зоне обусловлены электромагнитными и электростатическими излучениями от ПК, несоблюдение техники безопасности при работе с паяльным инструментом. Следовательно, с точки зрения безопасности важно научиться пользоваться компьютером и паяльником, а также правильно организовывать свою работу.

Отрицательное влияние компьютера на человека является комплексным, за время работы за компьютером на организм влияет целый ряд неблагоприятных факторов, а именно [20]:

Физические факторы:

- длительное пребывание в сидячем положении, однотипная деятельность, монотонность труда;
- широкий спектр излучения от дисплея, включающего в себя рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области;
- повышенный уровень электромагнитного излучения различных частот от монитора и системного блока;
- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;
- утомление глаз, повышенная нагрузка на зрение;

- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- опасность поражения электрическим током;
- опасность возникновения пожара.

Психофизические факторы:

- умственное перенапряжение от решения поставленных задач;
- обширный объем перерабатываемой информации;
- нервно-эмоциональные и нервно-психические перегрузки;

К перечисленным выше отрицательным влияниям необходимо добавить также и неблагоприятное воздействие при работе с паяльным инструментом. Это:

- загрязнение воздуха вредными веществами: при пайке в окружающую среду поступают аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы окислы металлов (марганца, хрома, никеля, железа, меди, титана, алюминия), а также токсичные газы (окись углерода, фтористые, хлористые, бромистые соединения, окислы азота);

- опасность получения ожогов при несоблюдении техники безопасности.

Далее более подробно рассмотрены опасные и вредные факторы, воздействующие на человека во время решения поставленных задач.

5.1.1 Анализ вредных факторов рабочего помещения

Вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003 [20] при работе с компьютером представлены в пункте 1.2 настоящего раздела.

В результате воздействия вредных и опасных производственных факторов на работающего ухудшается его самочувствие, снижается работоспособность.

5.1.2 Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей

зоны

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей.

Повышение или понижение температуры воздуха рабочей зоны влияет на общее самочувствие человека, вызывая снижение иммунитета и невозможность сосредоточиться.

Согласно ГОСТ 12.1.005 [21] к показателям, характеризующим микроклимат относятся: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового излучения.

Оптимальные и допустимые нормы этих показателей в рабочей зоне представлены в таблице 17 [22].

Таблица 17 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

| Период года | Наименование параметра | | | |
|-------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с. |
| Холодный | 22 - 24 | 21 - 25 | 40 - 60 | 0,1 |
| Теплый | 23 - 25 | 22 - 26 | 40 - 60 | 0,1 |

Микроклимат рабочего помещения в котором проводились исследования соответствует указанным в таблице 15 нормам. Во время исследования, температура воздуха в помещении не опускалась ниже 22 °С и не превышала 25 °С, относительная влажность также не превышала допустимых значений.

Температура незащищенной части паяльного инструмента существенно превышала допустимую температуру поверхностей в рабочей

зоне и составляла около (260 – 270) °С. Прикосновение к поверхности такой температуры вызвало бы серьезный ожог кожных покровов.

5.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Производственное освещение является неотъемлемым элементом условий трудовой деятельности человека. Недостаточная освещенность рабочего места влияет на нервную систему. Наиболее распространенные последствия: усталость глаз и развитие близорукости.

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 [22] помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное и искусственное освещения.

Искусственное освещение в помещениях эксплуатации компьютеров должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Рабочее помещение в котором проводилось исследование оснащено окном, дающим возможность работать при естественном освещении, а также люминесцентными лампами, используемыми, когда естественного освещения становится недостаточно для комфортной работы.

5.1.4 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Повышенный уровень шума на рабочем месте негативно воздействует на работающего, воздействуя на его психологическое состояние. Наиболее распространёнными последствиями являются: снижение концентрации, невозможность сосредоточиться, раздражительность, апатия.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340 [23] допустимый уровень громкости шума, создаваемый персональной электронно-вычислительной машиной

(ПЭВМ), не должен превышать значение 50 дБА. Болезненные явления у человека начинаются при воздействии на него шума, громкость которого выше 74 дБ.

ПК с помощью которого проводилось компьютерное моделирование издавал достаточно высокий уровень шума, что вызывало легкую раздражительность и малое снижение концентрации. Но при этом уровень шума, издаваемого компьютером не превышало предельно-допустимого значения, болезненные явления не возникали.

5.1.5 Повышенный уровень электромагнитных излучений

При работе с компьютером работающий получает электромагнитное излучение от экрана монитора и системного блока. Электромагнитное излучение при работе с компьютером влияет в первую очередь на нервную и сердечно-сосудистую системы. Влияние ионизирующего излучения на организм человека может приводить к торможению функций кровеносных органов, снижению сопротивляемости организма к инфекционным заболеваниям, нарушению нормальной свертываемости крови и другим неблагоприятным последствиям.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340 [23] временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ, не должны превышать значений, представленных в таблице 19.

Таблица 19 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

| Наименование параметра | | ВДУ ЭМП |
|--|------------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля | в диапазоне 5 Гц-2 кГц | 25 В/м |
| | в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока | - в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц | 250 нТл |
| | - в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц | 25 нТл |
| Напряженность электростатического поля | | 15 кВ/м |

Экран монитора должен находиться от глаз работающего на расстоянии от 600 до 700 мм, но не ближе 500 мм. Для профилактики компьютерного зрительного синдрома, улучшения визуальных показателей видеомониторов, повышения работоспособности, снижения зрительного утомления возможно применение защитных очков со спектральными фильтрами, разрешенных Минздравом России для работы с персональным компьютером.

Во время работы, экран монитора находился на расстоянии от 600 до 650 мм от глаз, также были использованы очки для улучшения зрения со специальным защитным напылением.

5.2 Анализ выявленных опасных факторов рабочего помещения

5.2.1 Поражение электрическим током

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести к 1 классу, т. е. это помещение без повышенной опасности [24] (сухое, не пыльное, с нормальной температурой воздуха, изолированными полами и малым числом заземленных приборов).

На рабочем месте размещены дисплей, клавиатура и системный блок и паяльный инструмент. При включении дисплея ПК на электронно-лучевой трубке создается высокое напряжение в несколько киловольт. Поэтому запрещается прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии, работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками.

Здесь используются системные блоки, в которых кроме рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания. Таким образом, оборудование обменного пункта выполнено по классу 1 (ПУЭ).

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от: рода и величины напряжения и тока; частоты электрического тока; пути тока через тело человека; продолжительности воздействия на организм человека.

Электробезопасность в рабочем помещении обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Кроме того, при неисправности каких-либо частей компьютера или паяльного инструмента: корпус может оказаться под током, нарушение целостности изоляции проводов, это с долей вероятности приведет к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения необходимо обеспечить подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: защитные оболочки; безопасное расположение токоведущих частей; изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная); изоляция рабочего места; защитное отключение; предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности; заземление корпусов устройств [25].

Перед началом работы необходимо убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры. К организационно-техническим мероприятиям защиты можно отнести инструктаж по технике безопасности.

Электробезопасность обеспечивается в соответствии с [26].

Во время работы с паяльным инструментом была соблюдена техника безопасности, провод, соединяющий паяльный инструмент с розеткой, был проверен на наличие повреждений изоляции.

5.2.2 Короткое замыкание

В соответствии с ГОСТ 26522 – 85 [27]: короткое замыкание – это замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая допустимый ток продолжительности режима.

Существуют следующие устройства защиты от аварийных режимов в сети: предохранители – самые простые устройства защиты; расцепитель, действующий с выдержкой во времени – тепловой; автоматический выключатель.

Критерии выбора правильной защиты от КЗ: правильный выбор номинального значения автомата защиты; правильное подключение УЗО и автоматов защиты; при выборе автомата защиты учет сечения и состояния электропроводки.

Защита от коротких замыканий, обеспечивается специальным персоналом кафедры.

5.3 Анализ факторов влияющих на экологическую безопасность

Как правило, любая деятельность человека, в особенности связанная с производственной деятельностью, оказывает негативное влияние на окружающую среду.

Деятельность по проведению исследований для дипломной работы основывалась на использовании ПЭВМ и паяльного инструмента. И если использование компьютера не является промышленной деятельностью и не может быть источником выбросов вредных веществ в окружающую среду, то при пайке в ОС выделяются аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы окислы металлов (марганца, хрома, никеля, железа, меди, титана, алюминия), а также токсичные газы (окись углерода, фтористые, хлористые, бромистые соединения, окислы азота). В составе аэрозолей могут быть составляющие

флюсов и припоев, содержащих свинец, кадмий, цинк, олово, углеводороды. Количество аэрозолей, их токсичность зависят от состава припоев, флюсов, технологии и степени механизации производства.

Пайка является одним из самых вредных процессов при производстве электронной аппаратуры. Проанализируем вредные факторы пайки и произведем расчет.

Для сборки разрабатываемого устройства используется ручная пайка, которая выполняется электрическим паяльником непрерывного действия мощностью (20 – 40) Вт. Удельное содержание образующего аэрозоля свинца при этом составляет (0,02 - 0,04) мг/100 паек.

Для пайки компонентов обычно используют оловянно-свинцовые припои, например, ПОС-40 или ПОС-60. При этом пары свинца проникают в воздушную среду помещения. В соответствии с требованиями санитарии в воздухе рабочей зоны производственных помещений устанавливается ПДК (предельно-допустимая концентрация) вредных веществ (мг/м³).

Свинец является чрезвычайно опасным веществом (класс 1), в соответствии с ГОСТ 12.1.005 [28], ПДК в воздухе рабочей зоны может составлять не более 0,01 мг/м³. При систематическом воздействии на человека может вызывать соматическое расстройство нервной системы, а также проблемы сердечно-сосудистой системы.

Олово является веществом умеренно опасным (класс 3). ПДК в воздухе рабочей зоны олова – 10 мг/м³. При систематическом воздействии олово может приводить к затруднению дыхания и поражению бронхов; в особо тяжелых случаях происходит отечная реакция легких.

Канифоль сосновая является малоопасным веществом (класс 4). ПДК в воздухе рабочей зоны – (80 – 1000) мг/м³. Оказывает раздражающее и наркотическое действие, при длительном действии вызывает дерматит.

Спирт этиловый является малоопасным веществом (класс 4). Его ПДК в воздухе рабочей зоны может достигать 400 мг/м³. Вызывает изменения

печени, сердечно-сосудистой и нервной системы. Для промывания плат используют смесь спирта и ацетона.

Ацетон является малоопасным веществом (класс 4). Его ПДК в воздухе рабочей зоны может достигать 200 мг/м³. Имеет наркотическое действие.

Бензин является малоопасным веществом (класс 4). Его ПДК в воздухе рабочей зоны может достигать 400 мг/м³. Имеет наркотическое действие.

Следует учесть также, что, химическая очистка плат производится растворами фосфатов, натриевой соды, натриевой щёлочи и др. При постоянной работе с растворами часты различные хронические поражения кожи. Весьма опасно попадание даже самых малых количеств щелочи в глаза.

Определим концентрацию аэрозоля свинца:

$$C = \frac{0,6 \cdot A \cdot B \cdot N \cdot t}{V}, \quad (29)$$

где А - удельное образование аэрозоля свинца;

В - количество долей в минуту;

Н - количество рабочих мест;

t - длительность сборки изделия, час;

V - объем помещения, м³;

Зададимся следующими значениями параметров:

A = 0,04мг / 100 долей; B = 5; N = 4; t = 5 часов; V = 200 м³.

Тогда:

$$C = \frac{0,6 \cdot A \cdot B \cdot N \cdot t}{V} = \frac{0,6 \cdot 0,04 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 5}{200} = 0,009 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right).$$

Следовательно, при данных условиях технологического процесса концентрация аэрозоля свинца в воздухе рабочей зоны не будет превышать предельно допустимую концентрацию 0,01мг/м³. Так, как пары свинца не превышают ПДК, то нет необходимости в принудительной вентиляции

данного помещения, достаточно естественной вентиляции (в теплый период года – рекомендуется искусственная вентиляция).

Все отходы, которые образуются в ходе работы, выбрасываются в урну, а затем утилизируются. Люминесцентные лампы утилизируются специальным персоналом кафедры.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Пожарная безопасность

Согласно СНиП 21-01-97 [29], по пожарной безопасности данное рабочее место относится к категории Г (умеренная пожароопасность), здание по огнестойкости относится к III степени, где стены, колонны – несгораемые, несущие конструкции междуэтажных и чердачных перекрытий – трудносгораемые, несущие конструкции покрытий – сгораемые.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробоем изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Помещение должно быть обеспечено исправными и пригодными к применению средствами пожаротушения (в соответствии с установленными нормами и проектом здания корпуса):

- огнетушителями (из расчета 2 огнетушителя на 800 квадратных метров коридора, но не менее 2-х на этаж). Проверка огнетушителей

проводится не реже одного раза в год. Не реже одного раза в 5 лет каждый огнетушитель должен быть переразряжен, проведен внешний и внутренний осмотр, а также проведены гидроиспытания на прочность баллона и пневмоиспытания на герметичность корпуса, пусковой головки, шланга и запорного устройства;

- пожарными кранами ПК. Каждый пожарный кран должен быть укомплектован рукавом, стволом, вентилем, гайками и проверяться на работоспособность (специальной комиссией в присутствии коменданта корпуса) не реже одного раза в шесть месяцев, с оформлением результатов проверки актом.

Системы противопожарного водоснабжения должны включаться в работу от автоматических пожарных извещателей, устанавливаемых в коридорах этажей, а также дистанционно от кнопок, установленных в шкафах кранов (для корпусов, оборудованных пожарной автоматикой).

Ручное и дистанционное включение и выключение отдельных агрегатов систем (пожарных насосов) должно быть предусмотрено с каждого этажа здания.

У пусковых устройств систем, сигнализационных приборов, включаемых при пожаре, должны быть вывешены таблички, определяющие назначение и порядок приведения их в действие.

В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов.

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340 [23] организация работы с ПЭВМ осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности используемые в проведении исследования принадлежат группе А – работа по считыванию информации с экрана видеодисплейного терминала с предварительным запросом и группе Б – работа по вводу информации.

Исходя из этого суммарное время регламентированных перерывов при восьмичасовой смене должно составлять не менее 70 минут.

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВ рабочая смена была организована путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него. Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не превышало 1 часа.

5.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место - это часть пространства, в котором метролог осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени. Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Конструкция рабочего стола обеспечивала оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

Конструкция рабочего стула (кресла) обеспечивала поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, а также, позволяла изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) была полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и

воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Все это способствовало удобной работе при проведении исследования.

5.6 Вывод по разделу «Социальная ответственность»

В ходе проведения анализа вредных и опасных факторов было выявлено несколько наиболее неблагоприятных. К ним относятся: вредные вещества, выделяемые при пайке, возможность поражения электрическим током или возникновения короткого замыкания, повышенный уровень шума на рабочем месте, статические физические и нервно-психические перегрузки, а также умственное перенапряжение.

Но, несмотря на их наличие, все факторы не выходили за установленные нормативными документами пределы, соответствовали всем требованиям.

Заключение

В результате работы была освоена и практически применена для моделирования программный продукт *NI Multisim*, составлены модели для исследования шумов резисторов и операционных усилителей, исследованы шумы резисторов и операционных усилителей, экспериментально и расчетно были подтверждены полученные результаты, подтвержден закон распределения амплитуды шумов, получена спектральная плотность шумов операционного усилителя.

В будущем планируется исследование шумовых характеристик всего генератора сигналов прецизионного ГС-50 со схемой стабилизации, отладка генератора с целью уменьшения шумов на выходе схемы.

Список используемых источников:

- 1 Рыбин Ю.К. Электронные устройства: Учебное пособие. / Ю.К. Рыбин. – Томск: Из-во: «Печатная мануфактура», 2003. – 264 с.
- 2 Робинсон Ф.Н.Х. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях. Пер. с англ. / Ф.Н.Х. Робинсон. – М.: Автомиздат, 1980. – 256 с.
- 3 Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов. / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 384 с.
- 4 ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/3190>, свободный. – Загл. с экрана.
- 5 РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200115154>, свободный. – Загл. с экрана.
- 6 Устройство и методика формирования тестовых акустических сигналов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/01006548189>, свободный. – Загл. с экрана.
- 7 Тупицына А.И. Методы компьютерного моделирования физических процессов и сложных систем. Учебное пособие– СПб: Университет ИТМО, 2014. – 48 с.
- 8 Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. Учебное пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 224 с.: ил.
- 9 Кельтон В. Имитационное моделирование /В. Кельтон, А. Лоу. — СПб.: Питер: Издательская группа ВHV, 2004. — 847 с.
- 10 Multisim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/National_Instruments, свободный. – Загл. с экрана.
- 11 Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах./Г. Отт. – М. : Мир, 1974. – 320 с.

- 12 Johnson J.B., Thermal Agitation of Electricity in Conductors, Phys. Rev., 32, 97-109 (July 1928)
- 13 Nyquist H., Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors, Phys. Rev., 32, 110-113 (July 1928)
- 14 Гусев В.Г. Электроника. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высшая школа, 1991 г. – 622 с.
- 15 Шумы транзисторов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helpiks.org/5-25397.html>, свободный. – Загл. с экрана.
- 16 Van der Ziel. Proc IRE, 1962, v. 50, p. 1808.
- 17 Шумовые свойства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zpostbox.ru/fet/fet5.html>, свободный. – Загл. с экрана.
- 18 Оптимизация шумовых параметров сигнальных цепей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/ne/2015/9/4-optimizatsiya-shumovyyih-parametrov-signalnyih-tsepey-chast-1>, свободный. – Загл. с экрана.
- 19 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.
- 20 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200224>, свободный. – Загл. с экрана.
- 21 ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-005-88-ssbt>, свободный. – Загл. с экрана.
- 22 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901859404>, свободный. – Загл. с экрана.
- 23 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

[Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://docs.cntd.ru/document/901865498>, свободный. – Загл. с экрана.

24 ГОСТ 12.1. 030 – 81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

25 СанПиН 2.2.4.1294-03 Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003.

26 ГОСТ 12.1.003-76. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

27 ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения.

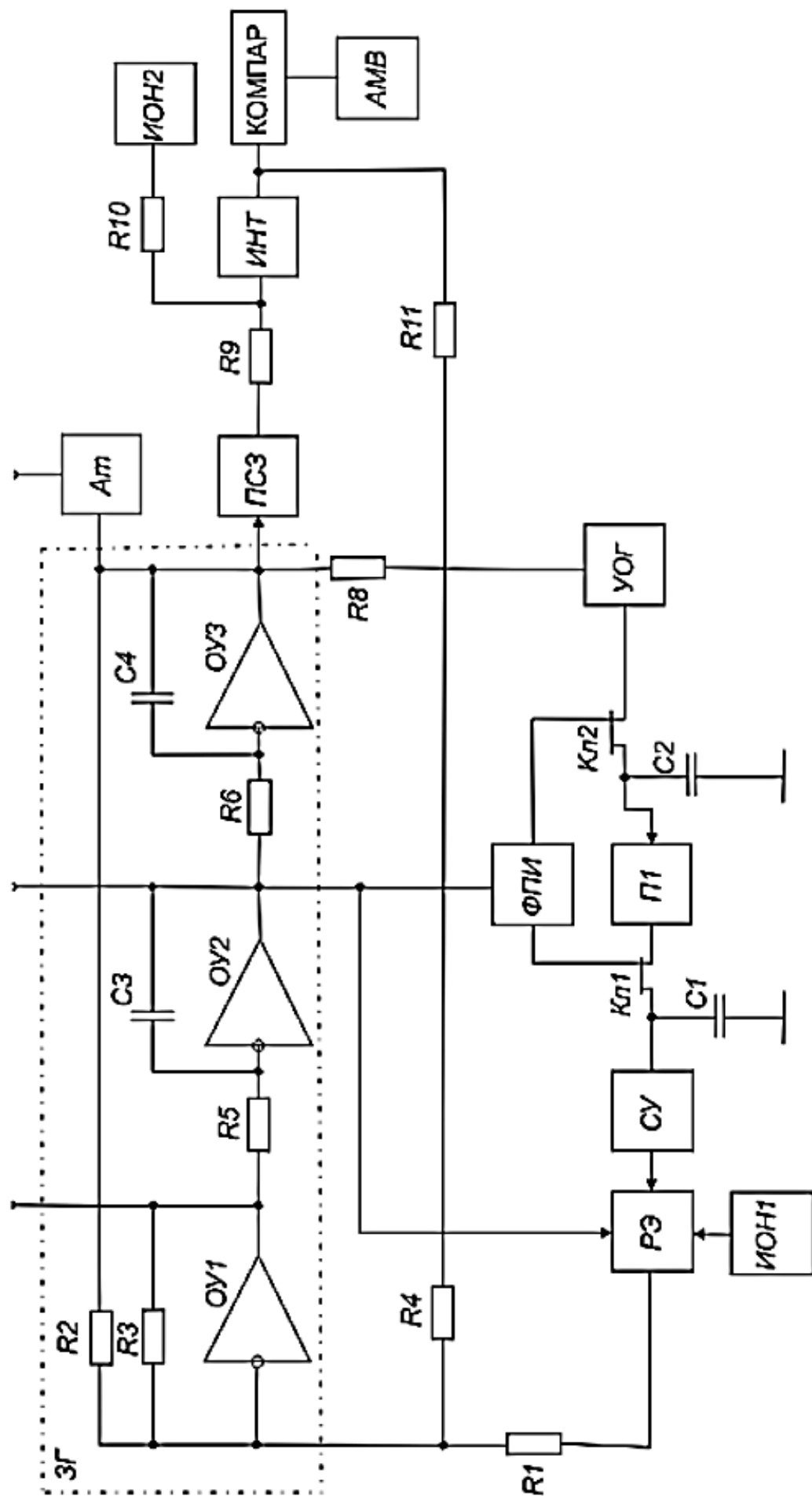
28 ГОСТ 12.1.005 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

29 СНиП 21-01-97. «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

Приложение А

(обязательное)

Электрическая блок-схема генератора сигналов прецизионного ГС-50



Приложение Б

(обязательное)

Описание условий возникновения колебаний в колебательной системе задающего генератора

Для получения условий приведем некоторые функциональные зависимости, учитывая, что коэффициент передачи данной схемы равен:

$$k = -R2/R1.$$

Учитывая что резисторы $R2$ и $R3$ обладают одинаковым сопротивлением коэффициент передачи равен:

$$k = -1$$

Тогда:

$$U_{\text{ВЫХ1}} = U_{\text{ВЫХ3}} \cdot k = -U_{\text{ВЫХ3}} = U_{\text{ВХ2}};$$

$$U_{\text{ВЫХ2}} = -\frac{1}{R3C1} \cdot \int U_{\text{ВХ2}} dt = \frac{1}{R3C1} \cdot \int U_{\text{ВЫХ3}} dt = \frac{1}{R3C1} \cdot \int U_{\text{ВЫХ3}} dt = U_{\text{ВХ3}};$$

$$U_{\text{ВЫХ3}} = \frac{1}{R4C2} \cdot \int U_{\text{ВХ3}} dt = \frac{1}{R4C2} \cdot \int \left(\frac{1}{R3C1} \cdot \int U_{\text{ВЫХ3}} dt \right) dt = \frac{1}{R3R4C1C2} \cdot$$

$$\iint U dt^2.$$

Заменим:

$$\tau1 = R3C1 \text{ и } \tau2 = R4C2.$$

Получим следующее выражение:

$$U(t) = \frac{1}{\tau1 \cdot \tau2} \cdot \iint U dt^2.$$

С помощью прямого преобразования Лапласа перейдем от интегрального вида к операторному:

$$U(p) = \frac{1}{\tau1 \tau2} \cdot U(p) \cdot \frac{1}{p^2}.$$

Далее производим следующие преобразования:

$$1 = \frac{1}{\tau1 \tau2} \cdot \frac{1}{p^2},$$

тогда:

$$p^2 = \frac{1}{\tau_1\tau_2} = (-j\omega)^2 = \omega^2.$$

И в итоге, с учетом того, что в схеме резисторы и конденсаторы попарно равны, получаем следующее выражение, характеризующее частоту колебаний колебательной системы задающего генератора:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{\tau_1\tau_2}} = \sqrt{\frac{1}{\tau^2}} = \frac{1}{\tau}.$$

Приложение В

(обязательное)

Сравнение данных, полученных посредством исследований

Таблица В.1 - Сравнение данных, полученных посредством моделирования, расчетных и экспериментальных данных

| С2-23 – металлопленочные | | | | |
|---|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| R_{min} = 30,1 Ом | | | | |
| U_i, мкВ | T₁ = 23 °С | T₂ = 40 °С | T₃ = 0 °С | T₄ = -50 °С |
| U_м, мкВ | 0,074 | 0,072 | 0,068 | 0,061 |
| U_р, мкВ | 0,073 | 0,072 | 0,069 | 0,069 |
| U_з, мкВ | 0,074 | — | — | — |
| R_{max} = 100 кОм. | | | | |
| U_i, мкВ | T₁ = 23 °С | T₂ = 40 °С | T₃ = 0 °С | T₄ = -50 °С |
| U_м, мкВ | 4,022 | 4,140 | 3,869 | 3,528 |
| U_р, мкВ | 4,031 | 4,157 | 3,885 | 3,509 |
| U_з, мкВ | 4,102 | — | — | — |
| СП5-28Б – проволочные | | | | |
| R_{min} = R_{max} = 22 кОм | | | | |
| U_i, мкВ | T₁ = 23 °С | T₂ = 40 °С | T₃ = 0 °С | T₄ = -50 °С |
| U_м, мкВ | 1,883 | 1,961 | 1,790 | 1,642 |
| U_р, мкВ | 1,890 | 1,950 | 1,793 | 1,646 |
| U_з, мкВ | 1,913 | — | — | — |
| С2-29В – прецизионные тонкопленочные | | | | |
| R_{min} = 10 Ом | | | | |
| U_i, мкВ | T₁ = 23 °С | T₂ = 40 °С | T₃ = 0 °С | T₄ = -50 °С |
| U_м, мкВ | 0,041 | 0,042 | 0,038 | 0,035 |
| U_р, мкВ | 0,041 | 0,042 | 0,038 | 0,035 |
| U_з, мкВ | 0,042 | — | — | — |
| R_{max} = 106 кОм. | | | | |
| U_i, мкВ | T₁ = 23 °С | T₂ = 40 °С | T₃ = 0 °С | T₄ = -50 °С |
| U_м, мкВ | 4,156 | 4,219 | 3,909 | 3,697 |
| U_р, мкВ | 4,156 | 4,278 | 3,923 | 3,612 |
| U_з, мкВ | 4,195 | — | — | — |
| СП3-19а – непроволочные подстроечные | | | | |
| R_{min} = 220 Ом | | | | |
| U_i, мкВ | T₁ = 23 °С | T₂ = 40 °С | T₃ = 0 °С | T₄ = -50 °С |
| U_м, мкВ | 0,189 | 0,197 | 0,177 | 0,160 |
| U_р, мкВ | 0,191 | 0,195 | 0,178 | 0,165 |
| U_з, мкВ | 0,203 | — | — | — |

Продолжение таблицы В.1:

| $R_{\max} = 4,7 \text{ кОм.}$ | | | | |
|---|---|---|--|--|
| $U_i, \text{ мкВ}$ | $T_1 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_3 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_4 = -50 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| $U_M, \text{ мкВ}$ | 0,871 | 0,880 | 0,826 | 0,763 |
| $U_p, \text{ мкВ}$ | 0,878 | 0,901 | 0,826 | 0,761 |
| $U_3, \text{ мкВ}$ | 0,894 | — | — | — |
| ММТ-1 – терморезистор | | | | |
| $R_{\min} = R_{\max} = 6,8 \text{ кОм}$ | | | | |
| $U_i, \text{ мкВ}$ | $T_1 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_3 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_4 = -50 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| $U_M, \text{ мкВ}$ | 0,985 | 1,072 | 0,983 | 0,904 |
| $U_p, \text{ мкВ}$ | 0,991 | 1,084 | 0,994 | 0,915 |
| $U_3, \text{ мкВ}$ | 1,019 | — | — | — |
| СП4-1а – непроволочные | | | | |
| $R_{\min} = R_{\max} = 6,8 \text{ кОм}$ | | | | |
| $U_i, \text{ мВ}$ | $T_1 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_3 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_4 = -50 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| $U_M, \text{ мВ}$ | 0,990 | 1,072 | 0,983 | 0,904 |
| $U_p, \text{ мВ}$ | 0,990 | 1,084 | 0,994 | 0,915 |
| $U_3, \text{ мВ}$ | 0,998 | — | — | — |

Приложение Г

(обязательное)

Результаты моделирования операционного усилителя типа

СА3130

Таблица Г.1 - Шум на выходе ОУ без учета шума резисторов

| № | U, пВ | № | U, пВ | № | U, пВ | № | U, пВ | № | U, пВ |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|--------|----|--------|
| 1 | -13,839 | 11 | -2,594 | 21 | -11,321 | 31 | 2,681 | 41 | 7,860 |
| 2 | -2,645 | 12 | -12,540 | 22 | -2,096 | 32 | 9,021 | 42 | 0,916 |
| 3 | 2,090 | 13 | -11,875 | 23 | 2,577 | 33 | 8,992 | 43 | -1,169 |
| 4 | 11,972 | 14 | -2,482 | 24 | 9,647 | 34 | 3,145 | 44 | -8,551 |
| 5 | -13,708 | 15 | 2,480 | 25 | 9,235 | 35 | -1,435 | 45 | -5,202 |
| 6 | -2,642 | 16 | 11,025 | 26 | 2,681 | 36 | -7,020 | 46 | -2,813 |
| 7 | 2,264 | 17 | 9,846 | 27 | -2,046 | 37 | -6,323 | 47 | 0,822 |
| 8 | 11,910 | 18 | 2,526 | 28 | -10,200 | 38 | -1,404 | 48 | 6,068 |
| 9 | 11,562 | 19 | -2,159 | 29 | -10,188 | 39 | 1,901 | 49 | 4,998 |
| 10 | 2,345 | 20 | -11,497 | 30 | -2,005 | 40 | 8,335 | 50 | 0,611 |

Таблица Г.2 - Шум на выходе ОУ с учетом шума резисторов

| № | U, мкВ | № | U, мкВ | № | U, мкВ | № | U, мкВ | № | U, мкВ |
|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | -0,105 | 11 | -0,119 | 21 | 0,130 | 31 | 0,128 | 41 | -0,053 |
| 2 | -0,001 | 12 | -0,189 | 22 | -0,163 | 32 | 0,107 | 42 | -0,088 |
| 3 | 0,080 | 13 | -0,149 | 23 | -0,130 | 33 | 0,202 | 43 | -0,103 |
| 4 | 0,075 | 14 | -0,049 | 24 | -0,210 | 34 | 0,198 | 44 | -0,126 |
| 5 | 0,151 | 15 | 0,023 | 25 | -0,120 | 35 | 0,214 | 45 | -0,055 |
| 6 | 0,214 | 16 | 0,025 | 26 | -0,007 | 36 | 0,194 | 46 | -0,078 |
| 7 | 0,130 | 17 | 0,093 | 27 | 0,007 | 37 | 0,311 | 47 | -0,108 |
| 8 | 0,082 | 18 | 0,060 | 28 | -0,024 | 38 | 0,160 | 48 | -0,068 |
| 9 | -0,099 | 19 | -0,056 | 29 | 0,020 | 39 | 0,069 | 49 | 0,011 |
| 10 | -0,079 | 20 | -0,088 | 30 | 0,112 | 40 | -0,069 | 50 | 0,077 |

Приложение Д

(обязательное)

Определение закона распределения шума ОУ (без учета шума резисторов)

Для того, чтобы определить закон распределения необходимо проделать следующую последовательность действий:

- вычислить количество интервалов группирования генеральной совокупности:

$$k = 1 + 3,32lg50 ; \quad (Д.1)$$

$$k \approx 7.$$

- по исходной выборке построить вариационный ряд;
- вычислить длину интервала группирования:

$$x_{max} = x_{50} = 0,31 \text{ пВ};$$

$$x_{min} = x_1 = -0,21 \text{ пВ}.$$

$$\Delta = \frac{x_n - x_1}{k} = \frac{x_{50} - x_1}{k}, \quad (Д.2)$$

где Δ - шаг интервала группирования;

x_n – последний элемент вариационного ряда;

x_1 – первый элемент вариационного ряда;

k – число интервалов группирования.

Так, $\Delta = 0,07 \text{ пВ}$.

На основании полученных интервалов (таблица Г.1) была построена гистограмма распределения (рисунке 9).

Для того, чтобы проверить верна ли предполагаемая, по гистограмме распределения, гипотеза используется критерий Пирсона (« χ -квадрат»).

Критерий основан на сравнении эмпирической гистограммы распределения случайной величины с ее теоретической плотностью. Диапазон изменения экспериментальных данных разбивается на k интервалов, и подсчитывается статистика формула (Г.3).

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (\text{Д.3})$$

где n_i – количество значений случайной величины, попавших в i -ый интервал;

$$n = \sum_{i=1}^k n_i = 50 - \text{объем выборки};$$

p_i — вероятность попадания в i -й интервал случайной величины, распределенной по гипотетическому закону.

Для вычисления вероятностей p_i применим формулу (Д.4).

$$p_i = F(x_{г}) - F(x_{н}), \quad (\text{Д.4})$$

где $F(x_{г})$, $F(x_{н})$ – интегральные функции Лапласа.

Полученные значения приведены в таблице В.1.

Таблица Д.1 – Представление выборочных данных

| № | Границы интервалов | | n_i | F(X_n) | F($X_{в}$) | p_i | np_i | $\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$ |
|-------|--------------------|-------------|-------|------------|--------------|-------|--------|--|
| | $X_n, пВ$ | $X_{в}, пВ$ | | | | | | |
| 1 | -13,84 | -10,15 | 2 | -0,500 | -0,500 | 0 | - | - |
| 2 | -10,15 | -6,46 | 3 | -0,500 | -0,500 | 0 | - | - |
| 3 | -6,46 | -2,78 | 8 | -0,500 | -0,497 | 0,003 | 0,135 | 458,209 |
| 4 | -2,78 | 0,91 | 13 | -0,497 | 0,319 | 0,816 | 40,795 | 18,938 |
| 5 | 0,91 | 4,60 | 11 | 0,319 | 0,500 | 0,181 | 9,070 | 0,411 |
| 6 | 4,60 | 8,28 | 10 | 0,500 | 0,500 | 0 | - | - |
| 7 | 8,28 | 11,97 | 3 | 0,500 | 0,500 | 0 | - | - |
| Сумма | | | | | | | | $477,556 \cdot 10^{-15}$ $= 0,478 \cdot 10^{-12}$ |

Найденные площади n_i и np_i подставляются в формулу (Б.1), находится $\chi_{набл}^2$ и сравнивается с табличным значением $\chi_{кр}^2(\alpha, k)$.

Здесь k – является числом степеней свободы, которое определяется равенством:

$$m = k - 1 - r, \quad (\text{Д.5})$$

где k – число интервалов группирования;

r – число, параметров предполагаемого распределения.

Нормальное распределение характеризуется параметрами μ и σ , следовательно, $m=7-1-2=4$.

α – уровень значимости, $\alpha=0,05$.

Используем программу Excel для нахождения критического значения χ^2 :

$$\chi_{кр}^2 (0,95; 4) = 9,488.$$

При расчете получаем $\chi_{набл}^2 = 0,478 \cdot 10^{-9}$.

Так как $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, гипотеза H_0 принимается, эмпирическая функция распределения вероятности соответствует функции нормального распределения.

Приложение Е

(обязательное)

Определение закона распределения шума ОУ (с учетом шума резисторов)

Количество интервалов группирования генеральной совокупности:

$$k \approx 7.$$

Длина интервала группирования: $\Delta = 0,07$ мкВ.

На основании полученных интервалов (таблица Е.1) была построена гистограмма распределения (рисунок 12).

Также, как в приложении Д проводится проверка гипотезы о нормальном распределении с использованием критерия Пирсона (« χ -квадрат»). Полученные данные представлены в таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Представление выборочных данных

| № | Границы интервалов | | n_i | F(Xн) | F(Xв) | p_i | np_i | $\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$ |
|-------|--------------------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|-------------------------------|
| | Xн, мкВ | Xв, мкВ | | | | | | |
| 1 | -0,21 | -0,14 | 4 | -0,083 | -0,056 | 0,028 | 1,375 | 5,011 |
| 2 | -0,14 | -0,06 | 7 | -0,056 | -0,024 | 0,032 | 1,588 | 18,454 |
| 3 | -0,06 | 0,01 | 11 | -0,024 | -0,004 | 0,028 | 1,396 | 66,103 |
| 4 | 0,01 | 0,09 | 15 | 0,004 | 0,036 | 0,032 | 1,594 | 112,792 |
| 5 | 0,09 | 0,16 | 7 | 0,036 | 0,064 | 0,028 | 1,385 | 22,74 |
| 6 | 0,16 | 0,24 | 2 | 0,064 | 0,095 | 0,031 | 1,564 | 7,553 |
| 7 | 0,24 | 0,31 | 1 | 0,095 | 0,122 | 0,027 | 1,345 | 0,088 |
| Сумма | | | | | | | | $232,765 \cdot 10^3 = 0,233$ |

Критическое значение χ^2 :

$$\chi_{кр}^2(0,95; 4) = 9,488.$$

При расчете получаем $\chi_{набл}^2 = 0,233$.

Так как $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, гипотеза H_0 принимается, эмпирическая функция распределения вероятности соответствует функции нормального распределения.