

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Техническая реализация лазерного доплеровского измерителя скорости и длины протяженных изделий

УДК — 621.373.826.093.2 :531.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б5Б	Абакумов Хамит Хасанович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Фёдоров Евгений Михайлович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Борис Борисович	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
Р1	Работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3; ОПК-4, 8) CDIO Syllabus (2.3, 3.1, 3.2, 4.7, 4.8) Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)</p>
Р2	Применять основные законы и положения естественных наук и математики, экономических и гуманитарных наук знаний с учетом социальных и культурных аспектов инженерной деятельности при соблюдении требований охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности для ведения полноценной профессиональной деятельности	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-7, 8; ОПК-1, 3, 10) CDIO Syllabus (1.1., 2.5) Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.3, 2.5, 4.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)</p>
Р3	Осуществлять коммуникацию в профессиональной среде, в обществе, в т.ч. межкультурном уровне и на иностранном языке	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, 5, ОПК-8, ПК-17) CDIO Syllabus (3.2) Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16)</p>

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
		29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)
Р4	Самообучаться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-6) CDIO Syllabus (2.4) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)
Р5	Собирать, хранить и обрабатывать информацию, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности при соблюдении основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОПК-2, 5-9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)
Р6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования,	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОПК-5, 6, ПК-1-4). CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 2.3, 2.4) Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
	анализировать и обрабатывать их результаты с использованием инновационных методов моделирования и компьютерных сетевых технологий	<u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)
Р7	Проектировать, конструировать системы, приборы, детали и узлы с учетом обеспечения технологичности конструкции с учетом возможных рисков	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ПК-1-6, 8) CDIO Syllabus (1.2., 1.3, 2.4, 4.1, 4.4) Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)
Р8	Проводить мероприятия комплексной подготовки производства в сфере профессиональной деятельности с использованием ресурсоэффективных технологий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ПК-8-18) CDIO Syllabus (2.4, 4.2, 4.3, 4.5) Критерий 5 АИОР (п. 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
		40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)
Р9	Обеспечивать эксплуатацию и обслуживание информационно-измерительных средств, приборов контроля качества и диагностики	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ПК-7, 19-23) CDIO Syllabus (4.6.) Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14) 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15) 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15) 29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16) 29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16) 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17) 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14) 40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14) 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15) 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Мойзес
Б.Б. _____
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б5Б	Абакумову Хамиту Хасановичу

Тема работы:

Техническая реализация лазерного доплеровского измерителя скорости и длины протяженных изделий

Утверждена приказом директора (дата, номер)	9852/С от 07.11.2018г
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследований – способы технической реализации лазерного доплеровского измерителя скорости и длины протяженных объектов. Цель работы – исследовать теоретические и практические аспекты создания прибора для технологического контроля скорости и длины протяжённых изделий на основе лазерного доплеровского метода.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Для достижения поставленной цели следует: — провести аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки в области лазерной доплерометрии;

	<ul style="list-style-type: none"> — разработать структурную схему лазерного доплеровского измерителя скорости и длины протяженных объектов; — разработать структурную схему детектора лазерной доплеровской частоты — произвести первичный подбор компонентов для опытного макета
Перечень графического материала	1. Схемы 2. Изображения
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Креницына Зоя Васильевна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Фёдоров Евгений Михайлович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б5Б	Абакумов Хамит Хасанович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б5Б	Абакумову Хамиту Хасановичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.01 Приборостроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки позволяет говорить о том, что разработка считается перспективной и ее следует развивать.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование бюджета научных исследований состоит из: материальных затрат НИИ, затрат на спецоборудование для научных работ, затрат по основной заработной плате исполнителей работы, затрат по дополнительной заработной плате исполнителей работы, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б5Б	Абакумов Хамит Хасанович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Б5Б	Абакумову Хамиту Хасановичу

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.01 Приборостроение

Тема ВКР:

Техническая реализация лазерного доплеровского измерителя скорости и длины протяженных изделий

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта и области его применения	Объектом исследования является техническая реализация лазерного доплеровского измерителя скорости и длины протяженных изделий. Область применения: кабельная промышленность. Исследование проходило на предприятии ООО «НПО Редвилл», г. Томск, п-р Ленина 30/2, офис 159
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы проектируемой производственной среды; – разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов; – повышенный шум на рабочем месте; – неудовлетворительное освещение; – неудовлетворительный микроклимат; – повышенный уровень электромагнитного излучения (ЭМИ); – опасность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – анализ влияния объекта исследования на окружающую среду; – анализ влияния процесса исследования на окружающую среду;
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<ul style="list-style-type: none"> – анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей

	ЧС и мер по ликвидации её последствий. – пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б5Б	Абакумов Хамит Хасанович		

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»
 Уровень образования Бакалавриат
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2018/2019 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:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2019	Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки в области лазерной доплерометрии	30
22.04.2019	Разработка структурной схемы детектора лазерной доплеровской частоты	20
07.05.2019	Подбор компонентов электронной принципиальной схемы детектора	20
21.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
28.05.2019	Социальная ответственность	10
31.05.2019	Заключение	10

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Фёдоров Евгений Михайлович	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Борис Борисович	К.Т.Н.		

Определения, обозначения, сокращения

В работе использовались следующие обозначения и определения:

ЛДИ – лазерный доплеровский измеритель;

ФП – Фотоприёмник (приемник оптического излучения);

ФД – фотодиод;

ОУ – операционный усилитель;

Реферат

Выпускная квалификационная работа 97 с., 21 рис., 24 табл., 30 источников, 1 прил.

Ключевые слова: лазерный доплеровский измеритель, доплеровская частота, длина протяженных объектов, интерференция, кабельная техника.

Объектом исследования является способы технической реализации лазерного доплеровского измерителя скорости и длины протяженных объектов.

Цель работы – Исследовать теоретические и практические аспекты создания прибора для технологического контроля скорости и длины протяжённых изделий на основе лазерного доплеровского метода.

В процессе исследования проводился обзор литературы на предмет возможных схем построения прибора для измерения скорости и длины протяженных объектов методом лазерного доплеровского измерителя.

В результате исследования была сформировано структурная схема прибора, был выбран предполагаемый источник когерентного излучения (лазер), а так же приёмник оптического излучения (фотодиод)

Степень внедрения: проведен анализ литературы, поставлен первичный эксперимент

Область применения: полученные в ходе исследования результаты предоставляют практическое применение для дальнейшей разработки приборов технологического контроля для кабельной, трубной, оптоволоконной и др. областей промышленности.

Экономическая значимость работы заключается в поиске возможностей технической реализации прибора отечественной конструкции и производства, способного конкурировать с зарубежными аналогами.

В будущем планируется проведение точных расчётов на данную тематику, построение опытного макета и проведение ряда опытов для дальнейшего построения прибора

Оглавление

Введение	19
Глава 1. Обзор существующих методов измерения скорости и длины протяженных объектов	21
1.1. Прямые методы измерения	22
1.1.1. Контактный (электромеханический) метод	22
1.1.2. Бесконтактные методы	26
1.1.2.1. Метод меток	26
1.1.2.2. Фотоимпульсный метод	27
1.1.2.3. Метод измерения длины по времени	27
1.1.2.4. Метод прямого счета импульсов	29
1.1.2.5. Метод развертывающих систем	30
1.2 Косвенные методы измерения	31
1.2.1. Растровый метод	32
1.2.2. Корреляционный метод	33
1.2.3. Метод на основе эффекта Доплера	35
Глава 2. Выбор метода	45
2.1. Краткий сравнительный анализ существующих доплеровских лазерных измерителей длины	46
Глава 3. Техническая реализация ЛДИ	48
3.1. Разработка структурной схемы детектора лазерной доплеровской частоты	48
3.2. Подбор компонентов электронной принципиальной схемы	51
3.2.1. Выбор источника оптического излучения	51
3.2.2. Выбор приемника оптического излучения	52

3.3. Постановка первой фазы эксперимента	55
3.3.1. Выбор оптической схемы	55
3.3.2. Установка лазера. Попытка получения интерференционной картины .	56
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	57
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	57
4.1.2 SWOT-анализ.....	57
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	60
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	60
4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	62
4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования	63
4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	68
4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ	68
4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	69
4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы	69
4.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	71
4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	71
4.4.8. Накладные расходы.....	72
4.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	72
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73

Глава 5. Социальная ответственность.....	75
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
5.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	76
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	77
5.2. Производственная безопасность	78
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при производстве объекта на предприятии	78
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.....	80
5.3. Экологическая безопасность	86
5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	86
5.3.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.....	87
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	88
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта на предприятии и может вызвать сам объект исследований	88
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	89
Заключение.....	93
Список использованных источников	94
Приложение А «Должностные оклады профессорско-преподавательского состава с 01.06.2016 г.».....	97

Введение

В последнее время одним из решающих факторов на производстве, наряду с ресурсами, становится информация.

К современным измерителям предъявляются требования:

- надежность конструкции;
- удобство эксплуатации и эргономичность;
- простота градуировки и настройки;
- широкий диапазон измеряемых величин;
- высокая чувствительность преобразования;
- помехозащищенность;
- бесконтактность измерений;
- универсальность применения.

С повышением уровня автоматизации производства и усложнения многих технологических процессов производства становится необходимым высокоточное измерение скорости и длины различных объектов в режиме реального времени. Обеспечение высокого качества продукции возможно только при систематическом контроле технологического процесса и состояния изделий на основных пределах.

Некоторые процессы настолько тонкие и сложные, что порой требуется идеальная точность измерений тех или иных объектов. Так же встречаются технологии, которые отличаются крайне агрессивной средой производства некоторых изделий (Пример: контроль изделий горячего металлопроката). В таких средах обычные (контактные) методы контроля зачастую не применимы. При столкновении с такой проблемой на помощь приходят бесконтактные методы контроля, и оптические приборы на основе эффекта Доплера как раз являются таковыми.

Приборы, основанные на эффекте Доплера, позволяют получить точность измерения порядка 0,05...0,1% с возможностью дистанционных измерений. Нет связанных с механическим контактом проблем, таких как дополнительные погрешности, вызванные проскальзыванием, износом мерительного колеса, налипшей грязью и т.д. Отсутствует необходимость в частом техническом обслуживании. Данные приборы легко встраиваются в технологическую линию, уменьшая производственные отходы, увеличивая выход коммерческой длины, улучшая обратные связи в технологической цепочке. Измерители не имеют ограничения к измеряемому объекту по виду поверхности, цвету, материалу, структуре, магнитным или электрическим свойствам. Существует возможность измерения и контроля мгновенной и усредненной по времени скорости в широком диапазоне скоростей и ускорений [1].

При анализе литературы на данную тематику был сделан вывод, что лазерная доплеровская интерферометрия не присутствует в числе самых популярных тем научных изысканий, но как ни парадоксально, в прикладной области крайне востребована. Данный факт является доказательством актуальности и перспективности данных исследований.

Существуют зарубежные серийно производимые лазерные измерители длины и скорости, однако их высокая стоимость часто становится ограничением для приобретения их отечественными предприятиями. Целью данной работы являлось исследовать теоретические и практические аспекты создания прибора для технологического контроля скорости и длины протяжённых изделий на основе лазерного доплеровского метода.

Глава 1. Обзор существующих методов измерения скорости и длины протяженных объектов

В настоящее время преобладает тенденция введения автоматизации в сфере измерения и контроля объектов в промышленности. Этот факт предъявляет новые требования как к вновь разрабатываемым устройствам, так и к уже существующим. Однако, важно не только интегрирование измерительных систем в производственных процесс, но и обеспечение необходимой точности проводимых измерений. Измерение пространственных перемещений с возможностью точного позиционирования необходимы в различных областях машино-, судо- и авиастроения, а так же в электронике, кабельной и других видах промышленности.

При контроле скорости к современным измерителям предъявляются следующие требования:

- простота градуировки и настрайки;
- широкий диапазон измеряемых величин;
- высокая чувствительность преобразования;
- удобство эксплуатации и эргономичность;
- надежность конструкции;
- помехозащищенность;
- бесконтактность измерений;
- универсальность применения.

Для измерения длины применяются прямые и косвенные методы измерения (рисунок 1.1).

По типу преобразователя различают два вида прямых методов измерения:

- Контактные. К этому типу можно отнести лишь один метод – электромеханический.

— Бесконтактные (фотоимпульсные). Также сюда относятся приборы с магнитными, тепловыми и другими метками.

Косвенные методы измерения представлены методами на основе эффекта Доплера, корреляционными и растровыми методами [1].

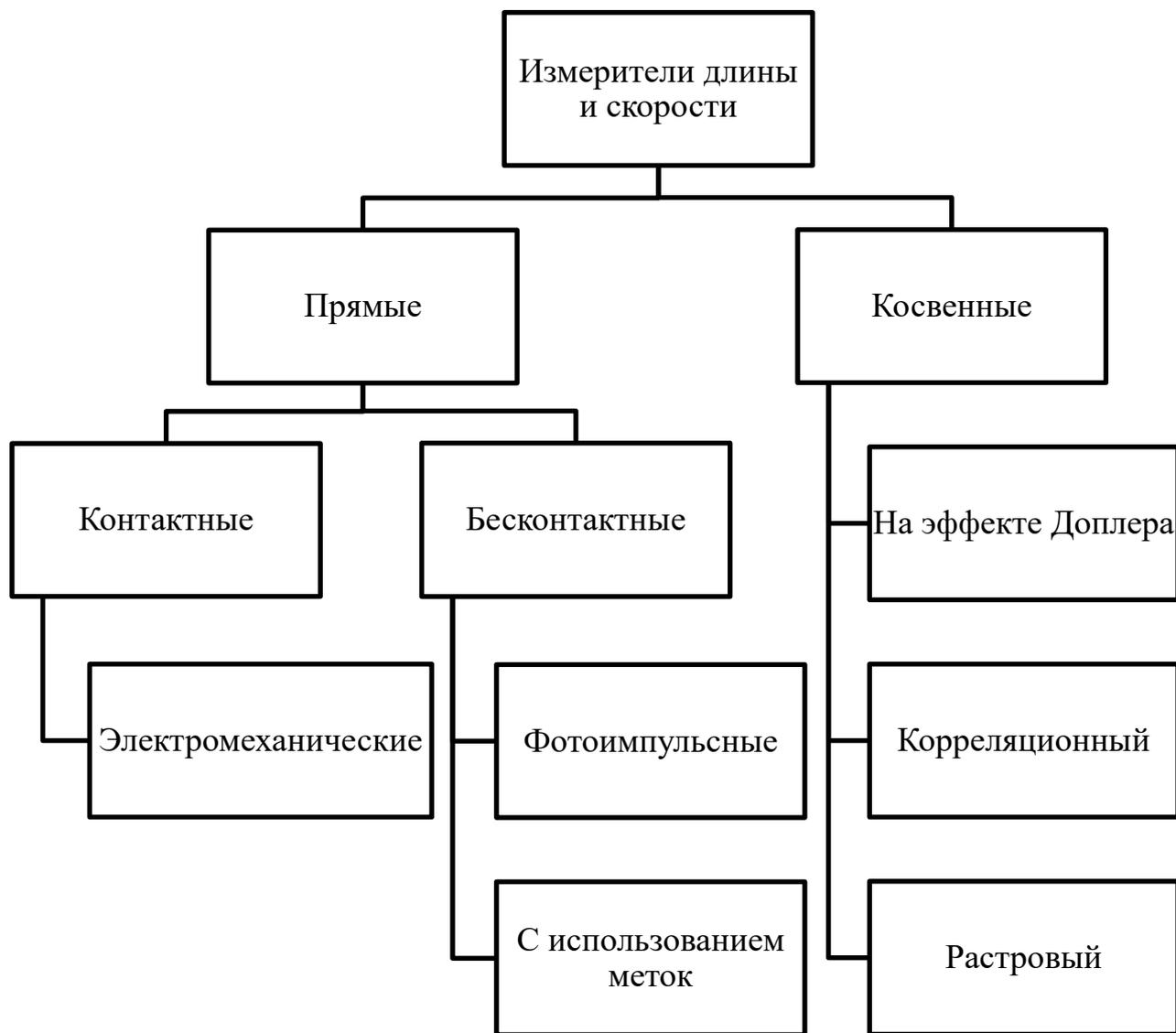


Рисунок 1.1. Структура методов измерения скорости и длины

1.1. Прямые методы измерения

1.1.1. Контактный (электромеханический) метод

Самым простыми приборами для измерения скорости объектов считаются электромеханические измерители длины. Данные измерители работают по следующему принципу: мерительный цилиндрический ролик вращается на оси при соприкосновении с движущимся объектом. Жестко связанный с роликом импульсатор выдает определенное количество импульсов на один оборот. Цена импульса выражается по ниже представленной формуле:

$$k = \pi D / n\mu, \quad (1)$$

где D — диаметр ролика;

n — количество импульсов на один оборот импульсатора;

μ — передаточное отношение между роликом и импульсатором.

Расчет длины объекта L по числу импульсов m :

$$L = km, \quad (2)$$

При использовании данного метода возможно проскальзывание мерительного ролика по объекту измерения. Для решения данной проблемы используются магнитные ролики или специальные прижимы.

Также следует принять во внимание, что в процессе работы происходит износ ролика. Это является причиной изменения цены импульса:

$$\Delta k = \frac{\pi \Delta D}{n\mu} \text{ или } \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta D}{D} \quad (3)$$

Т.к. относительное изменение диаметра ролика уменьшается с его увеличением, то для снижения ошибки измерения при прочих равных условиях ролик изготавливается большего диаметра. Дополнительно для уменьшения износа часто предусмотрены сменные рубашки [2].

В качестве импульсаторов могут использоваться высокочастотные генераторы, фотоэлектрические, электромагнитные, электромеханические и другие устройства. Важным параметром при выборе импульсатора является стабильность импульса. Также следует учитывать, что с увеличением числа

импульсов на один оборот мерительного ролика повышается точность измерения.

Даже с использованием всех перечисленных мер, полностью избавиться от проскальзывания между роликом и объектом измерения невозможно, что больше всего проявляется в переходных режимах. Ошибка измерения зависит от длины изделия и может достигать величин, не удовлетворяющих требованиям производства. Повышение точности возможно при измерении не всего изделия, а только его части, равное превышению длины над базовым расстоянием L_6 . Из-за возможности пробуксовки в переходных режимах вводится контрольная длина L_0 , соответствующая одному импульсу. Данные длины могут быть совмещены. Схема измерителя представлена на рисунке 1.2.

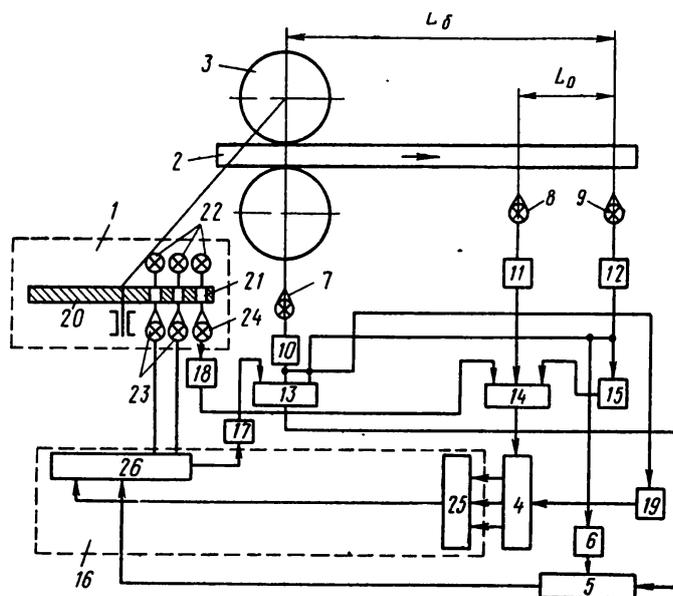


Рисунок 1.2 . Блок–схема электромеханического измерителя длины с базовой L_6 и контрольной длиной L_0 :

1 — импульсатор; 2 — объект измерения; 3 — мерительные ролики; 4 — счетчик контрольной длины; 5 — счетчик полной длины объекта; 6 — устройство для установки величины базовой длины; 7 — фотодатчик наличия объекта в роликах; 8 и 9 — фотодатчики контрольной длины; 10, 11 и 12 — усилители; 13 и 14 — ключи; 15 — инвертор; 16 — блок для выбора

одного из выходов преобразователя по коду контрольной длины; 17 — усилитель блока 16; 18 — усилитель; 19 — устройство для установки на нуль счетчиков 4 и 5 и блока 16; 20 — диск; 21 — отверстия; 22 — осветители; 23 и 24 — фотоэлементы; 25 — преобразователь; 26 — блок выбора

Один из измерительных роликов 3 соединен с фотоэлектрическим импульсатором 1, состоящим из диска 20 с отверстиями 21 на равном расстоянии друг от друга, фотоэлементов 23 и 24 и осветителей 22. Количество отверстий отличается на одно от количества на соседних дорожках. Базовая длина находится между фотоэлементами 7 и 9. При проходе объекта измерения вращается диск импульсатора 20, импульсы на выходе которого поступают через усилитель 17 на счетчик 5. Счет импульсов не начинается пока передний конец объекта измерения не пройдет базовое расстояние, т.е. не появится в поле зрения фотодатчика 9. Как только это происходит замыкается ключ 13 и импульсы поступают в счетчик 5. Счет импульсов прекращается, как только задний конец объекта проходит фотоэлемент 7. Из этого следует, что счет импульсов производится только на превышающей базовую длину отрезке объекта измерения. При предварительной установке в счетчик 5 базовой длины, возможна индикация полной длины объекта [2].

Для сохранения цены деления одного импульса возможно регулирование числа импульсов импульсатора 20 за один оборот. С этой целью в схему введена контрольная длина L_0 , ограниченная фотоэлементами 8 и 9. Счет импульсов начинается с достижения объектом фотоэлемента 8 и прекращается при прохождении фотоэлемента 9. Импульсы поступают в счетчик импульсов контрольной длины 4 с крайней дорожки диска импульсатора, предварительно пройдя усилитель 18. В соответствии с полученным числом с помощью устройства 16 выбирается дорожка на диске импульсатора. Последующий счет импульсов производится именно с этой дорожки.

Проскальзывание ролика и значительные вибрации не позволяют измерять данным методом скорости выше 15 м/сек. Также необходимо учитывать ограничение их использования для некоторых видов объектов, например, таких как горячий прокат из-за высоких температур, оптоволоконные кабели из-за их хрупкости и т.д. [1]

1.1.2. Бесконтактные методы

1.1.2.1. Метод меток

Измерители, использующие нанесение тепловых, магнитных, люминесцентных, радиоактивных и других меток, можно также отнести к измерителям с прямым счетом импульсов. Метки обладают определенной ценой длины, каждая из которой считывается измерительной системой при прохождении мимо регистратора (рисунок 1.3). Как только фотодатчик 1 детектирует передний край изделия, подается команда о нанесении метки на изделие с помощью записывающего прибора 3. При последующем движении приемник 4 производит считывание меток и дает разрешение на нанесение следующей метки.

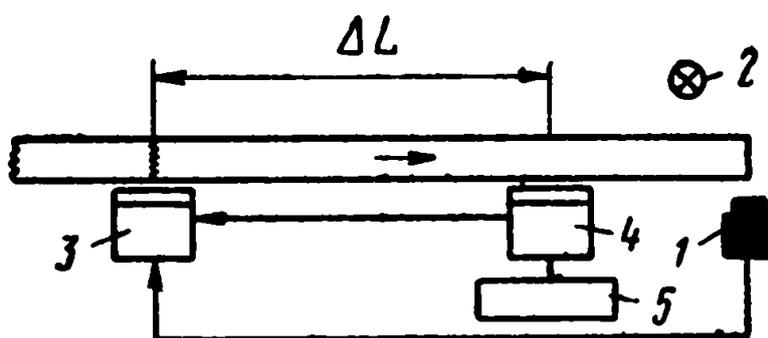


Рисунок 1.3 Принципиальная схема прибора для измерения длины с нанесением меток:

1 — фотодатчик; 2 — осветитель; 3 — головка записывающего прибора; 4—приемник; 5 — счетчик импульсов

Путь, пройденный объектом, определяют по формуле

$$L = \Delta L n, \quad (4)$$

где n — число меток;

ΔL — расстояние между записывающей головкой и приемником.

Решающее влияние на точность приборов оказывает расстояние между записывающей головкой и приемником, в то время как скорость движения объекта практически не важна. Приборы данного типа наиболее широко используются для измерения длинных и «бесконечных» объектов [2].

1.1.2.2. Фотоимпульсный метод

Следует отметить, что существует три группы фотоимпульсных измерителей в зависимости от получаемой с фотодатчиков информации:

- Измерение времени прохождения датчика объектом измерения со средней скоростью движения;
- Прямой счет импульсов;
- С использование развертывающих систем.

1.1.2.3. Метод измерения длины по времени

Принципиальная схема измерителей первой группы приведена на рисунке 1.4, а.

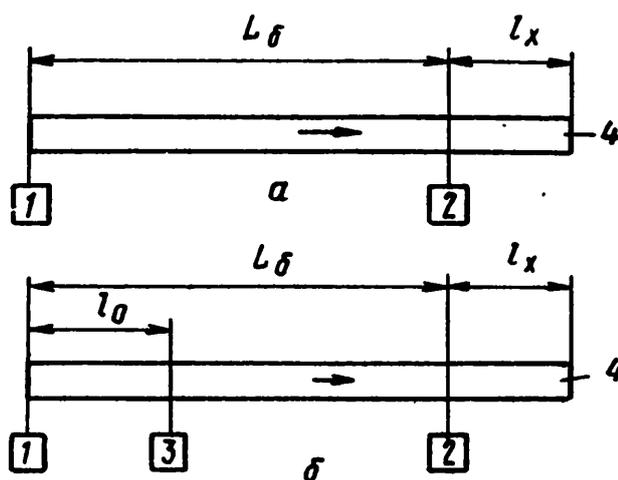


Рисунок 1.4. Схема расположения фотодатчиков при измерении длины фотоимпульсным методом:

а — без учета скорости; б — с учетом скорости; 1-3 — фотодатчик; 4 — объект

На базовом расстоянии L_δ , выбранном как минимальный размер измеряемого объекта, устанавливаются фотодатчики 1 и 2. При длине объекта, равном $L_\delta + l_x$, отрезок l_x подлежит измерению. При допущении, что скорость объекта измерения v постоянна, искомая величина $l_x = vt_x$, где t_x — время от момента пересечения объектом передним концом датчика 2 до момента пересечения задним концом датчика 1. Таким образом, время t_x может служить мерой отрезка объекта l_x . [3]

Практическое использование данной схемы осложнено тем, что скорость перемещения объекта бывает непостоянной. Также часто изменяется скорость от изделия к изделию. В этом случае необходимо измерения скорости v для каждого изделия. Схема подобной установки приведена на рисунке 1.4, б. В этом случае на линии движения объекта устанавливается дополнительный датчик 3 на расстоянии l_0 от датчика 1. Скорость изделия определяется из выражения $v = l_0/t_y$, где t_y — время прохождения объектом расстояния l_0 . Тогда

$$l_x = vt_x = l_0 t_x / t_y. \quad (5)$$

Однако скорость движения может существенно меняться в процессе измерения, особенно это актуально для длинномерных объектов, что может вносить существенных ошибки в результат измерения. Поэтому данный метод не нашел широкого применения [2].

1.1.2.4. Метод прямого счета импульсов

При прохождении мимо датчика объекта измерения в измерительную систему выдаются импульсы фиксированной длины.

Простейшая схема показана на рисунке 1.5, а. Передний конец объекта 10 последовательно проходит мимо первого, второго и последующих фотодатчиков. Каждый поступающий от фотодатчиков импульс, соответствующий расстоянию L , поступает в счетчик 8, где импульсы суммируются. Следовательно, длина объекта равна $L(n - 1)$, где n — число засвеченных фотоэлементов. При выходе объекта из поля зрения фотодатчика 1 счет импульсов заканчивается.

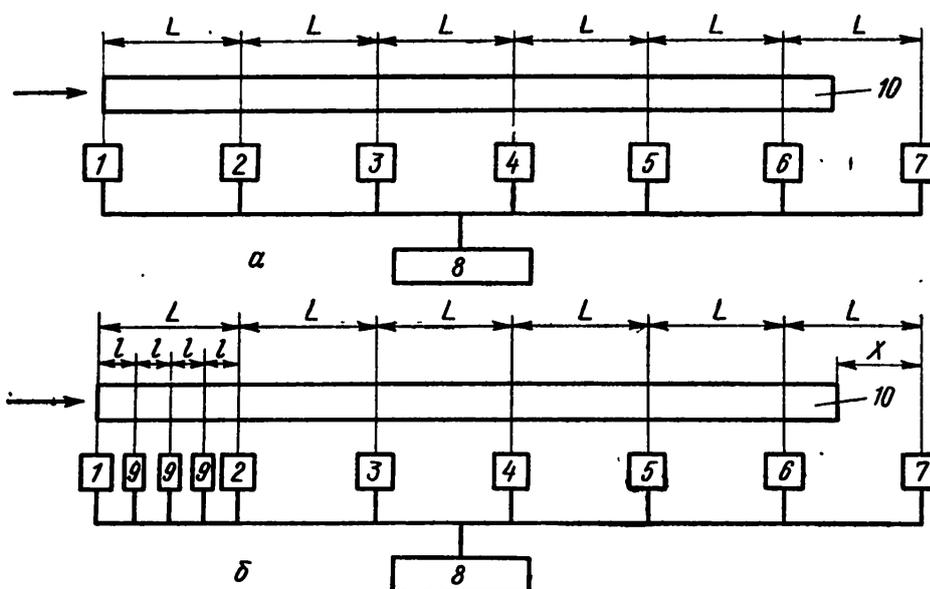


Рисунок 1.5 Система для измерения длины объекта по фотоимпульсному методу с прямым счетом импульсов:

а — система с грубым отсчетом; б — система с грубым и точным отсчетами; 1—7 — фотодатчики грубого отсчета; 8 — счетчик; 9 — фотодатчики точного отсчета; 10 — объект

Точность данного метода определяется шагом L установки датчиков. Для снижения стоимости системы (уменьшения количества датчиков) и повышения точности данную схему строят с использованием грубого и точного отсчетов. Для этого используется отсчет по обоим концам объекта измерения (рисунок 1.5, б).

Передний конец объекта используется для грубого отсчета, пока задний находится в поле зрения фотодатчика 1. Задний конец используется для точного отсчета от момента выхода заднего конца объекта из поля зрения фотодатчика 1 до момента засветки следующего фотодатчика грубого отсчета (на рис., б это фотодатчик 7). В этом случае длина полосы равна

$$L_n = L(n - 1) + (L - lm), \quad (6)$$

где l — шаг установки фотодатчиков точного отсчета;

m — количество засвеченных датчиков точного отсчета.

Возможно измерение только усредненной по длине объекта скорости движения [3].

1.1.2.5. Метод развертывающих систем

Измерение длины возможно с использованием механических или электрических развертывающих систем. Механические системы для развертки используются архимедова спираль, барабаны с целью в виде винтовой линии или по образующей и барабаны с линзами или зеркалами. В электрических системах присутствуют различные модификации телевизионных измерительных систем, блок схема одной из которых приведена на рисунке 1.6.

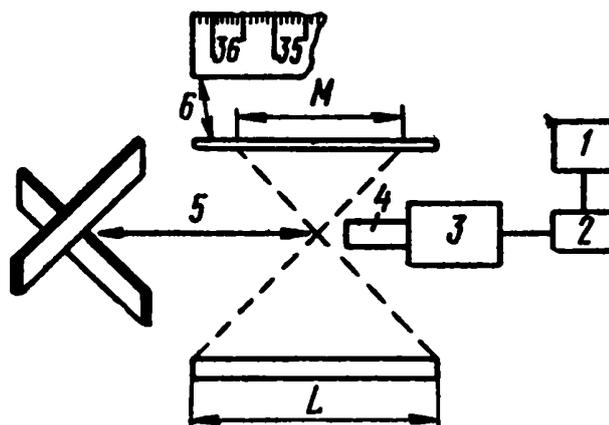


Рисунок 1.6 Блок-схема телевизионной системы для дистанционного измерения длины:

1 — контрольный прибор; 2 — источник питания; 3 — телевизионная камера; 4 — система линз; 5 — скрещивающиеся зеркала; 6 — шкала

Два зеркала 5, расположенных под прямым углом друг к другу, находятся напротив телевизионной передающей камеры 3. Градуированная шкала 6 установлена параллельно оптической оси камеры, которые находятся параллельно плоскости, в которой ведется измерение. Совмещение изображения заготовки и шкалы в плоскости развертки передающей камеры добиваются юстировкой положения зеркал и системы линз 4. С помощью поворота зеркал возможно движение градуировки шкалы, при совмещении начала которой возможно измерение длины объекта по второму концу. С помощью развертывающих систем возможно измерение длины объектов в пределах от 3.65 до 11 м с погрешностью ± 3 мм.

1.2 Косвенные методы измерения

Косвенные методы измерения преобразуют скорость движения изделия в длину путем ее интегрирования по времени.

$$L = \int_0^t V(t)dt, \quad (4)$$

где L — длин объекта;

V — скорость объекта;

t — время измерения.

1.2.1. Растровый метод

Принципиальная оптическая схема измерителей на основе растрового метода приведена на рисунке . В ней используется афокальная оптическая система с телецентрическим ходом лучей. Афокальная система обеспечивает независимость размера изображения измеряемого объекта от изменения рабочего расстояния, а телецентрическая система с апертурной диафрагмой в задней фокальной плоскости 1-го объектива обеспечивает уменьшение влияния абберационных искажений и неточности настройки оптической системы (рисунок 1.7).

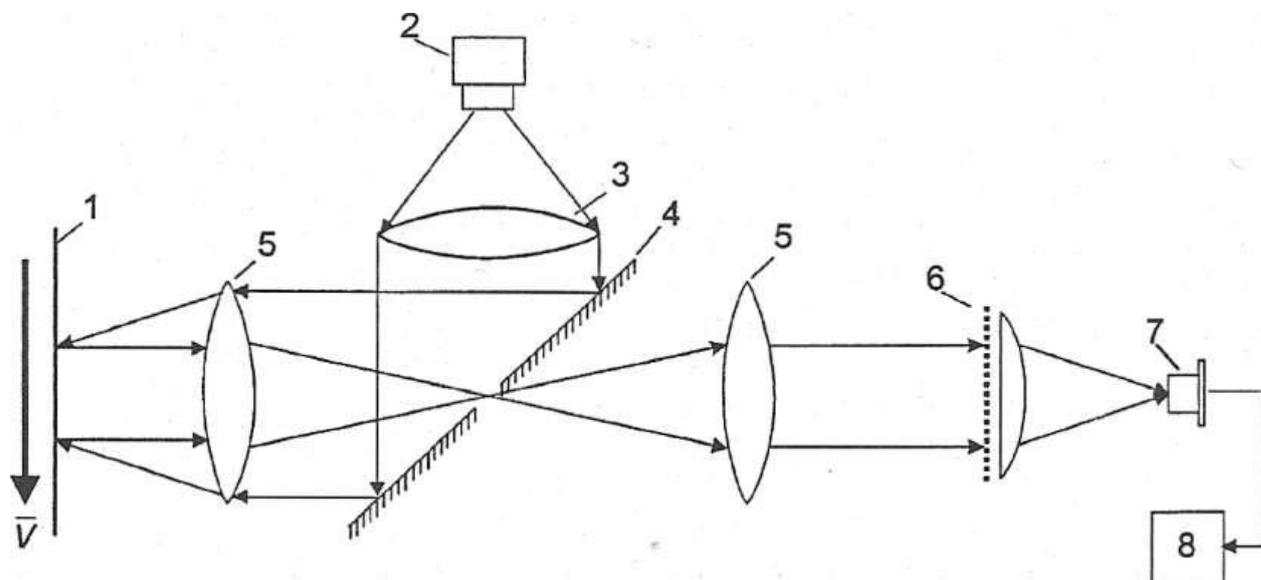


Рисунок 1.7 Принципиальная оптическая схема оптического растрового измерителя скорости:

1 — контролируемый объект; 2 — излучатель; 3 — конденсор; 4 — зеркало; 5 — линзы; 6 — растровый анализатор; 7 — фотоприемник; 8 — сигнал-процессор

Выходная частота f и измеряемая скорость v связаны простым соотношением

$$f = \frac{Mv}{d}, \quad (8)$$

где d — шаг растрового анализатора;

M — масштаб оптической системы.

Для определения направления движения возможно использование двух амплитудных пространственных периодических структур, имеющих одинаковый шаг и сдвинутых на 90° [4].

1.2.2. Корреляционный метод

Скорость движения по данному методу определяется по временному сдвигу отраженных сигналов с одних и тех же точек поверхности движущего объекта. Блок-схема измерителя скорости на основе корреляционного метода представлена на рисунке 1.8.

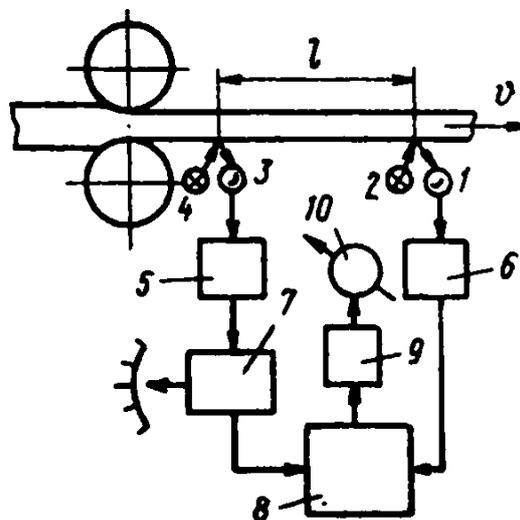


Рисунок 1.8 Блок-схема корреляционного измерителя скорости

1, 3 — фотоэлементы; 2, 4 — осветители; 5, 6 — усилители; 7 — блок регулируемого запаздывания (БРЗ); 8 — множительное устройство; 9 — сглаживающий фильтр; 10 — индикатор

Яркие световые штрихи посредством оптической системы проецируются на поверхность движущегося объекта со скоростью v . Оси этих штрихов перпендикулярны направлению движения объекта. Расстояние между ними строго фиксировано и равно l . Из-за различных структурных неоднородностей поверхности объекта яркость штрихов постоянно меняется. Их изображения передаются с помощью приемной оптической системы на фотоэлементы, сигналы с которых пропорциональны яркости штрихов. Т.к. второй штрих смещено относительно первого, то сигнал $f_1(t)$, характеризующий яркость первого штриха, совпадет с сигналом второго фотоэлемента $f_2(t - \tau)$ с некоторым запаздыванием τ , связанным со скоростью движения по следующей формуле

$$\tau = l/v, \quad (9)$$

или

$$v = l/\tau, \quad (10)$$

где τ — время запаздывания;

l — расстояние между штрихами;

v — скорость движения объекта.

При $l = const$ по величине τ возможно определение скорости движения объекта. Из-за поперечных смещений полосы движения объекта, различиях в характеристиках элементов каналов измерения сигналы не идентичны, хотя и близки по форме [4].

Для измерения величины времени запаздывания τ в измерительный канал первого сигнала вводится блок регулируемого запаздывания (БРЗ). Он может быть представлен в виде магнитной ленты или магнитного барабана с подвижной считывающей головкой, устанавливаемой с помощью ходового

винта. Возможно изменение времени регулируемого запаздывания τ_{p3} передвижением считывающей головки. Производится перемножение сигналов с фотоэлементов в множителе, и полученное произведение выводится на индикатор. Выходной сигнал является произведением двух сигналов $f_1(t) - f_1(t - \tau_{p3})$ и $f_2(t) = f_1(t - \tau)$. Выходной сигнал будет максимальным при $\tau_{p3} = \tau$. Изменяя величину запаздывания τ , получают максимальные показания индикатора и тем самым обеспечивают условие $\tau_{p3} = \tau$. Затем по формуле (10) определяют скорость движения металла. Шкалу БРЗ можно проградуировать непосредственно в единицах измерения скорости.

Для определения τ можно применять схему, в которой перемножение двух сигналов заменяется их вычитанием или суммированием с последующим возведением в квадрат.

1.2.3. Метод на основе эффекта Доплера

В основу метода положен эффект Доплера — измерение частоты регистрируемых колебаний при движении источника или приемника волн. В методах лазерного измерения скорости используется эффект изменения частоты лазерного излучения при его рассеянии оптическими неоднородностями движущегося объекта.

В общем случае ЛДИ состоит из источника света (лазера), оптических устройств для передачи и приема излучения, фотоприемника и устройства для выделения и обработки доплеровского сигнала (рисунок 1.9).

С выхода передающего тракта подается излучение со спектром мощности $S_2(\nu_0)$, которое после рассеяния на измеряемом объекте 3 из-за амплитудной, фазовой и частотной модуляции среды в общем случае изменится на $S_3(\nu_0 + \nu_D)$. После блока выделения доплеровского сдвига

частот ν на выходе образуется электрический сигнал определенной частоты $S_5(f_0)$ [5].

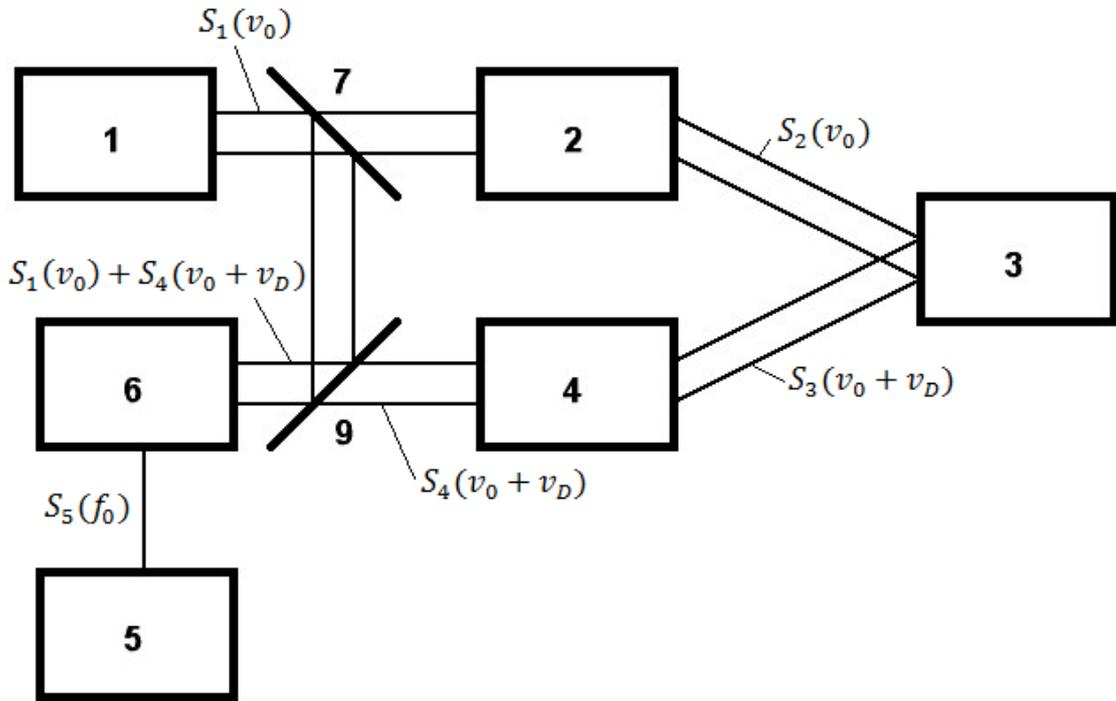


Рисунок 1.9 Блок-схема ЛДИ

1 — источник излучения — лазер; 2 — передающий оптический тракт; 3 — исследуемый объект; 4 — приемный оптический тракт; 5 — блок обработки информации; 6 — блок выделения доплеровского сдвига частоты; 7,9 — расщепители пучка.

В качестве источника когерентного излучения оптического диапазона выступает лазер. Применяемые лазеры делятся на несколько групп в зависимости от характера работы, мощности излучения, диапазона длин волн и вида излучения. Мощность лазера ограничивает дальность действия ЛДИ. Мощность сигнала P_p , принятого приемником, вычисляется по формуле

$$P_p = P_l \frac{\sigma'}{R^2 (\Delta\theta)^2} \frac{1}{4\pi} \frac{D_0^2}{R^2} \xi, \quad (5)$$

где P_l — мощность лазера;

R — расстояние до объекта;

σ' — эффективное сечение рассеяния объекта;

$\Delta\theta$ — расходимость излучения лазера;

D_0 — диаметр приемной оптики;

ξ — коэффициент, учитывающий потери в оптических элементах.

Если лазер излучает мощность в плоском угле $\Delta\theta$, то на расстоянии R от лазера выражение для плотности мощности имеет вид $P_R = \frac{1}{R^2(\Delta\theta)^2}$. Часто этой мощности рассеивается объектом. Рассеянная мощность пропорциональна падающей плотности мощности и эффективному сечению рассеяния объекта: $P_p = P_l \frac{\sigma'}{R^2(\Delta\theta)^2}$. Она распределена во всем пространстве 4π . Часть рассеянной мощности, пропорциональная отношению $\frac{D_0^2}{R^2}$, захватывается приемным трактом. Потери в приемной системе учитывается введением коэффициента ξ . Если мощность лазера задана, то при известной пороговой мощности обнаружения можно определить дальность действия ЛДИ и необходимое эффективное сечение рассеяния объекта. Если расстояние задано, то можно рассчитать сигнал в приемнике. Одна часть спектра мощности излучения лазера $S_1(\nu_0)$ направляется в передающий тракт, другая часть — в блок выделения доплеровского сдвига частоты.

Назначением приемного и передающего оптических трактов является формирование пучка с необходимыми параметрами и обеспечение распространения его в нужном направлении. В обоих трактах необходимо учитывать свойства оптических элементов, поскольку они существенно влияют на характеристики пучка, а также свойства текущей среды.

Основными параметрами при конструировании передающего и приемного трактов оптических схем являются следующие:

- Диапазон измеряемых скоростей
 - ✓ Для измерения малых скоростей (10^{-6} — 10^{-2} м/с);
 - ✓ Для измерения средних скоростей (10^{-2} — 10^2 м/с);
 - ✓ Для измерения больших скоростей (10^2 — 10^7 м/с);

- Пространственное разрешение — показывает, сколько независимых измерений можно выполнить в единице объема
 - ✓ С малым пространственным разрешением (до 1 см^{-3});
 - ✓ Со средним пространственным разрешением ($1 — 10 \text{ см}^{-3}$);
 - ✓ С высоким пространственным разрешением (до 10 см^{11});
- Чувствительность — показывает, какую минимальную мощность ДЛИ может зарегистрировать, определяет его дальность действия;
- Число измеряемых проекций вектора скорости
 - ✓ Однокомпонентные;
 - ✓ Двухкомпонентные;
 - ✓ Трехкомпонентные;
- Точность измерений — в основном определяется блоком выделения доплеровского сдвига частот и блоком обработки информации.

Все модификации конструкций оптических схем ЛДИ используют один из следующих интерференционных эффектов:

- Интерференцию рассеянного света от одного лазерного пучка с нерассеянным светом от другого пучка (схема с опорным лучом);
- Интерференцию рассеянного света от одного лазерного пучка с рассеянным светом от другого пучка (дифференциальная или интерференционная схема).

Для выделения доплеровского сдвига частоты в оптических схемах с опорным лучом применяют метод фотосмещения, в дифференциальных схемах — метод прямого гетеродинирования. Существуют также схемы с оптическими спектральными приборами.

В методе фотосмещения фотоприемником принимаются две волны: сигнальная волна, несущая информацию о скорости объекта $S_4(\nu_0 + \nu_D)$, и опорная волна с информацией о начальной частоте излучения лазера $S_1(\nu_0)$. Интерференция между сигнальной и опорной волнами происходит только в области поперечного сечения опорного пучка.

Фотоприемник является квадратичным детектором, поэтому его выходной ток содержит переменную составляющую с частотой, равной разности частот опорной и сигнальной волн. Частота сигнала от местного источника должна обладать высокой стабильностью. В ЛДИ в качестве опорной волны используется часть излучения лазера, которым зондируется исследуемый объект. Требования к стабильности частоты лазера существенно ниже, если разность хода опорной и сигнальной волн меньше длины когерентности излучения лазера [6].

Спектр мощности полного фототока при фотосмещении определяется по формуле:

$$S_{\Phi}(\nu) \sim i_{\Sigma}^2 \delta(\nu) + i_{\text{дш}} + i_{\Sigma} i_{\sim} \frac{\alpha}{(\nu - (\nu_p - \nu_0))^2 + \alpha^2}, \quad (6)$$

где α — ширина спектрального распределения на полувысоте, и состоит из трех членов (рисунок 1.10): спектра постоянной составляющей, равномерного спектра дробовых шумов и спектра фотосмещения.

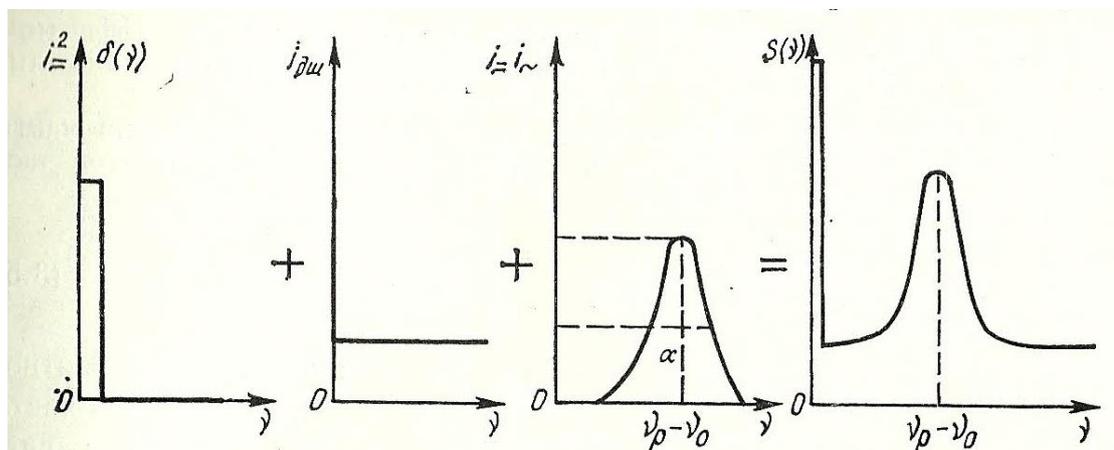


Рисунок 1.10 Схематический вид составляющих спектра фототока и спектра мощности полного фототока при фотосмещении

В отличие от прямого фотодетектирования спектр фототока при фотосмещении определяется спектром сигнального поля независимо от его статистики: как и оптический спектр, он является лоренцовым и имеет ту же ширину. Эффективность преобразования световой энергии в электрическую на доплеровской частоте существенно зависит от распределения амплитуды и фазы падающих на фотоприемник волн. Преобразование будет эффективным только в случае, когда волновые фронты находятся в фазе на всей поверхности фотоприемника, что существенно ограничивает падающей на фотоприемник световой поток.

Допустимый угол рассогласования волновых фронтов может быть рассчитан, если фотоприемник рассматривать как излучающий источник с теми же размерами; тогда его дифракционный угол расходимости определяет допустимый угол рассогласования. Чтобы на выходе приемника наблюдался изменяемый во времени фототок, необходимо выполнение следующего условия:

$$\sin \theta_p \approx \theta_p \leq 1.22\lambda/d_{\text{фп}}, \quad (7)$$

где θ_p — угол прихода сигнальной волны (учитывается только первый максимум). В результате интерференции волн с различной частотой по поверхности фотоприемника бегут интерференционные полосы с периодом δ . Переменная составляющая фототока будет значительно больше постоянной составляющей, если размер фотоприемника меньше δ , что эквивалентно условию (7).

Антенная теорема, рассматривающая фотоприемник как приемную антенну, гласит, что, чем больше площадь фотоприемника, тем в меньшем телесном угле он захватывает сигнальные волны, и наоборот. Таким образом, приемник с заданной площадью $A_{\text{фп}}$ эффективно принимает волны только в некотором телесном угле Ω_D ; если задав телесный угол $\Omega > \Omega_D$, то эффективно работает не вся поверхность фотоприемника, а только некоторая

ее часть $A'_{\text{фп}}$, причем существует связь между $A'_{\text{фп}}$ и Ω . Условие гетеродинамирования принимает вид

$$\lambda^2 \geq A_{\text{фп}} \Omega = A'_{\text{фп}} \Omega_D, \quad (8)$$

т. е. произведение эффективной площади фотоприемника на эффективный телесный угол захвата приходящих волн есть величина постоянная, меньшая или равная квадрату длины волны [7].

При фотосмещении рассеянного света важно знать, какая часть освещаемого объекта дает вклад в сигнальный ток. Площадь этой части рассчитывается по формуле

$$A'_{\text{фп}} \approx \frac{\lambda^2 R_k^2}{A_{\text{фп}}}, \quad (9)$$

где $A'_{\text{фп}}$ — площадь когерентности, R_k — расстояние до части объекта, дающей вклад в сигнальный ток. Таким образом, все частицы, которые находятся в цилиндре с площадью основания $A'_{\text{фп}}$, дают вклад в сигнальный ток, а все остальные частицы — только в постоянную составляющую фототока. Площадь $A'_{\text{фп}}$ в обычных условиях мала, поэтому пучок лазера необходимо фокусировать в исследуемую точку. Расположение оптических элементов любого типа на пути сигнальной волны перед фотоприемником изменяет эффективную площадь $A'_{\text{фп}}$ и угол обзора Ω_D , а также их соотношение, но не влияет на произведение этих величин $\lambda^2 \approx A'_{\text{фп}} \Omega_D$.

Помимо контроля телесного угла, под которым собирается рассеянный свет, приемная система должна контролировать область, от которой получается сигнал, т. е. область, определяющую измерительный объем. Это достигается с помощью двух диафрагм или линз. В обоих случаях приемная система должна обеспечивать пространственную когерентность между световыми волнами, интерферирующими на апертуре приемника. В случае двух диафрагм для обеспечения когерентности, т. е. совмещения волновых фронтов рассеянного и опорного лучей, должно выполняться соотношение

$A_1 A_2 = (L\lambda)^2$, где A_1, A_2 — площади 1-й и 2-й диафрагм, L — расстояние между диафрагмами.

Таким образом, к недостаткам метода фотосмещения можно отнести:

- Необходимость высокого пространственного согласования волновых фронтов падающих волн, вследствие жесткого ограничения, накладываемого на максимальный телесный угол светового потока рассеянного света на входе в фотоприемник;
- Возможность измерения только разности частот.

В тоже время важным преимуществом метода является его высокая чувствительность. Также выходной электрический сигнал может быть детектирован с помощью известных методов обработки сигнала и стандартной измерительной аппаратуры

В методе прямого гетеродинирования на фотоприемник направляется рассеянное лазерное излучение и анализируется фототок, который пропорционален квадрату падающего поля. Рассеянная световая волна является случайной функцией, поскольку амплитуда и фаза ее испытывают случайные флуктуации. Случайное поле характеризуется функцией пространственно-временной когерентности. При допущении, что оптический спектр имеет лоренцовый вид с шириной на полувысоте, равный α , и центрирован на частоте, равной ν_0 . Спектр мощности фототока для такого поля определяется так:

$$S_{\Phi}(\nu) \sim i_{\Sigma}^2 \delta(\nu) + i_{\text{дш}} + i_{\Sigma} \frac{\alpha}{\left(\nu - (\nu_p - \nu_0)\right)^2 + \alpha^2}, \quad (10)$$

Спектр фототока состоит из трех составляющих (рисунок 1.11): равномерного спектра постоянной составляющей на нулевой частоте, спектра дробовых шумов и спектра биений лоренцового вида [5].

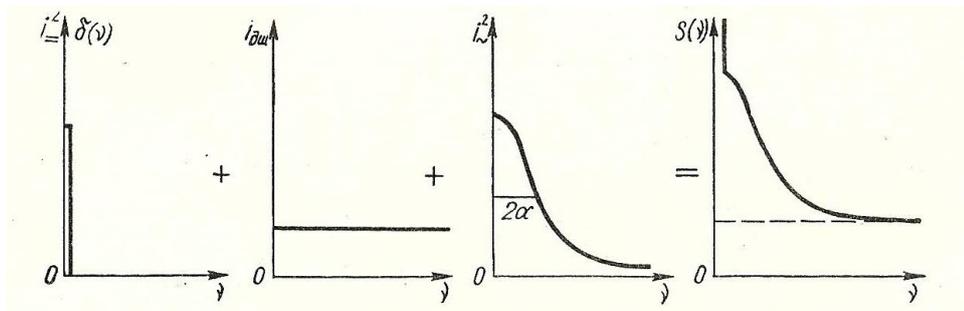


Рисунок 1.11 Схематический вид составляющих спектра фототока при прямом фотодетектировании

Однако спектр биений центрирован на нулевую частоту и имеет ширину в два раза большую, чем исходный оптический спектр. Если спектр рассеянного излучения описывается гауссовой кривой, то спектр фототока будет также гауссовым с шириной в $\sqrt{2}$ раза большей, чем ширина оптического спектра, Если спектр рассеянного излучения описывается более общей кривой, то результирующий спектр фототока можно выразить в виде соответствующей свертки.

Спектр фототока при прямом фотодетектировании дает информацию только о квадрате абсолютной комплексной степени когерентности оптического поля. Следовательно, теряется информация о несущей частоте ν_0 и фазе, связанной с абсолютной комплексной степенью когерентности. Интенсивность результирующего рассеянного излучения модулируется с частотой, равной разности доплеровских частот, независимо от направления наблюдения. Метод прямого фотодетектирования отличается простотой приемного устройства, что является его основным достоинством. Поскольку нет проблемы согласования фронтов, нет таких жестких ограничений к размеру телесного угла как в методе фотосмещения.

В оптическом спектральном методе используется спектральная аппаратура оптического диапазона, такая как спектрографы и интерферометры. К достоинствам данного метода можно отнести [7]:

- Нет верхнего предела измеряемых скоростей;
- Возможность определения направления движения.

Недостатки метода:

- Необходимость преобразования пространственного спектра анализируемого излучения в электрический сигнал;
- Недостаточное временное разрешение.

Глава 2. Выбор метода.

Широко используемые контактные методы на данный момент перестали отвечать современным требованиям по точности, быстродействию и надежности. В дополнение к этому существуют ограничения к номенклатуре контролируемых объектов, так как нет возможности измерять высокотемпературные, деформируемые, хрупкие или клейкие материалы.

Последнюю проблему решают бесконтактные методы измерения, например, фотоимпульсный метод или метод с использованием меток. Так как приборы не имеют механического контакта, нет погрешностей, вызванных проскальзыванием, износом измерительных колес, налипшей грязью. В тоже время они не требуют столь тщательного профилактического обслуживания. Однако в последнее время важным параметром контроля наряду с длиной объекта становится скорость, которая в вышеприведенных методах усредняется по длине объекта. Возможностью измерения не только средней, но мгновенной скорости обладают косвенные методы измерения.

Приборы на основе корреляционного метода не нашли широкого применения и не выпускаются серийно. Это обусловлено значительными трудностями при реализации обработки поступающих данных, так как при переменной скорости движения контролируемых объектов нужно выполнять непрерывный поиск экстремального значения автокорреляционной функции. Такая операция возможна путём дискретного изменения интервала корреляции τ с шагом дискретизации $\Delta\tau \ll \tau$ и сравнения коэффициентов корреляции, вычисленных при различных значениях $\tau \pm \Delta\tau$. В процессе контроля нужно непрерывно подстраивать интервал корреляции по максимальному коэффициенту корреляции, что практически приводит к значительному увеличению объема вычислительных операций и ограничению точности корреляционных измерений [4].

Растровый метод наиболее целесообразно применять при небольших вибрациях (до ± 15 мм), требуемой погрешности (0.1...0.3 %) и расстояниях

до объекта 30...200 мм. Его применение в производстве при значительных вибрациях объекта измерения затруднено [3].

Применение метода на основе эффекта Доплера возможно при значительных вибрациях объекта (до ± 100 мм). При этом данный метод обеспечивает повышенную точность (до 0,05...0.1 %) с возможностью дистанционных измерений (200...2000 мм) [6].

2.1. Краткий сравнительный анализ существующих доплеровских лазерных измерителей длины

На данный момент разработаны различные конструкции лазерных доплеровских измерителей скорости, их главные производители и основные параметры приборов представлены в таблице 1 [8; 9; 10; 11].

Таблица 2.1 – примеры реализованных ЛДИ

Фирма	Погрешность измерения длины, %
POLYTEC GmbH	± 0.1
PROTON PRODUCTS Ltd	± 0.05
CANON	± 0.2
DANTEC	± 0.1

Все вышеприведённые приборы отличаются высокой точностью и быстродействием. Данные приборы не критичны к типу поверхности, имеют возможность измерения проката, листовой стали, слябов, заготовок, труб, профиля, нити, бумаги, фольги, пленки, провода, кабеля, ленты, упаковки, ткани, нетканых материалов, строительных материалов и др. Программное обеспечение использует преобразование Фурье и корреляционный анализ. Для легкого интегрирования в технологическую линию поддерживают различные интерфейсы, в том числе Ethernet, RS-232, RS-422, RS-485

импульсный и аналоговый выходы. Приборы используют лазерное излучение видимого диапазона для удобства монтажа и юстировки. Все устройства позволяют измерять в двух режимах: стандартном и пакетном. В стандартном режиме измеряется длина в пределах измерителя. В пакетном режиме возможна установка определенной длины пакета в пределах диапазона измерений, при этом будет происходить накопление информации о количестве измеренных пакетов.

В зависимости от модификации прибора различаются диапазон расстояний до измеряемого объекта, глубина диапазона измерения и максимальная скорость объекта.

К различиям можно отнести то, что приборы фирмы Proton поддерживают продувку воздухом, а Polytec также водяное охлаждение для работы в условиях горячих цехов. Все приборы кроме выпускаемых фирмой Canon имеют встроенную функцию автоматического определения наличия объекта в диапазоне измерения, а Polytec также определения направления движения. Эта возможность удобна при измерении длины объекта. Также приборы фирмы Polytec поддерживают функцию автоматической адаптации, подстраивающей обработку сигнала в соответствии с изменениями свойств поверхности объекта, появлением паров и пыли на пути луча.

На основе вышеприведённого анализа следует сделать вывод, что существующие приборы не имеют принципиальных различий, кроме некоторых дополнительных возможностей приборов Polytec и Proton, обусловленных спецификой их использования в металлургии.

Глава 3. Техническая реализация ЛДИ

В ходе прошлых исследований мною был выбран метод измерения скорости и длины протяженных объектов посредством лазерного доплеровского измерителя скорости. Данный метод обладает рядом ключевых преимуществ. Применение метода на основе эффекта Доплера возможно при значительных вибрациях объекта (до ± 100 мм). При этом данный метод обеспечивает повышенную точность (до 0,05...0,1%) с возможностью дистанционных измерений (200...2000 мм)

Так же метод не ограничивается номенклатурой контролируемых объектов, так как у контактных методов нет возможности измерять высокотемпературные, деформируемые, хрупкие или клейкие материалы.

3.1. Разработка структурной схемы детектора лазерной доплеровской частоты

Известно, что, когда пересекаются две когерентные волны в заданной точке пространства образуется интерференционная картина, представляющая собой чередующиеся светлые и темные полосы. Расстояние Δs между ними зависит от угла φ и длины волны λ :

$$\Delta s = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \varphi}, \quad (11)$$

Когда участок поверхности, рассеивающий свет, движется через интерференционную картину, он отражает свет от каждой полосы. При этом сигнал имеет модуляцию по яркости на доплеровской частоте f_D , умножив которую на Δs можно получить текущее значение скорости поверхности v_p :

$$v_p = \Delta s \cdot f_D \quad (12)$$

При математическом моделировании используя формулы 11 и 12 был построен график зависимости доплеровской частоты от скорости движения объекта (рисунок 3.1).

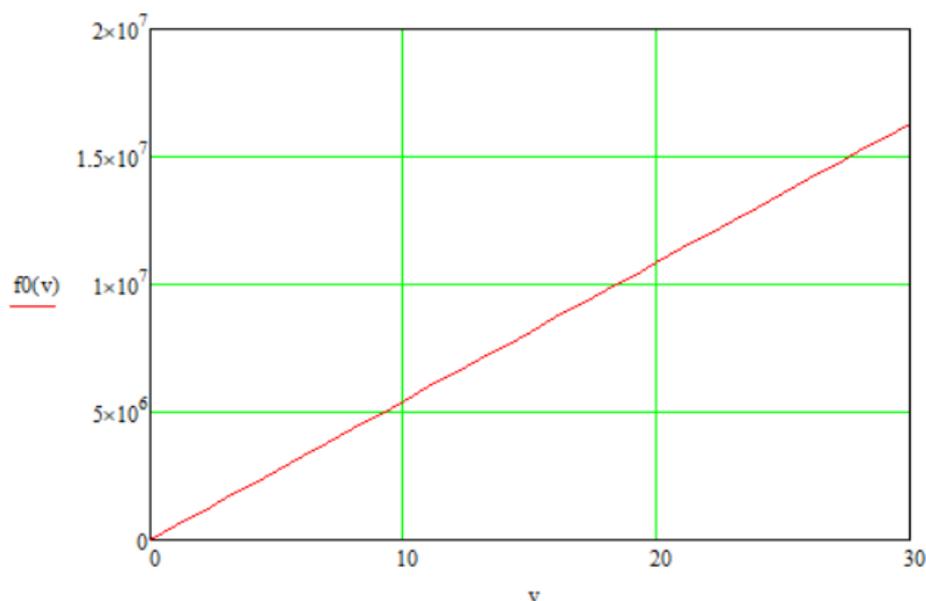


Рисунок 3.1 – Аналитическая зависимость доплеровской частоты от скорости движения объекта

Так же опираясь на данные анализа профильной литературы, было принято решение о синтезировании простейшей структурной, а в следствии и оптической схемы.

Простейшая структурная схема лазерного доплеровского измерителя (рисунок 3.2) должна иметь в себе ряд ключевых компонентов, таких как источник когерентного оптического излучения (в данном случае полупроводниковый лазер), призму-делитель оптического излучения, зеркала, собирающие линзы, фотоприёмник (в данном случае устройство с высокочастотным фотодиодом в качестве чувствительного элемента)

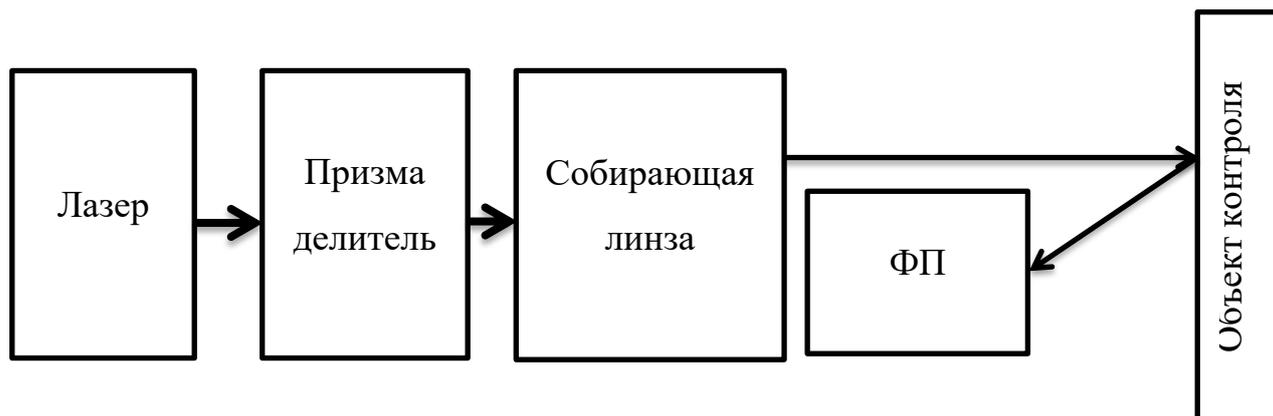


Рисунок 3.2 – структурная схема лазерного доплеровского измерителя скорости

Одной из важнейших частей данной схемы является фотоприёмник. Данное устройство предназначено для регистрации оптического излучения, отраженного от объекта контроля. При том регистрировать требуется именно доплеровскую частоту оптического излучения, минуя различного рода помехи и усиливая слабый сигнал, поступающий с контактов фотодиода.

Простейшая структурная схема фотоприемника (рисунок 3.3) должна содержать в себе чувствительный элемент, усилитель и фильтр выходного сигнала и блок питания (может использоваться многоканальный прецизионный источник питания одновременного использования в качестве источника опорного напряжения схемы включения фотодиода).

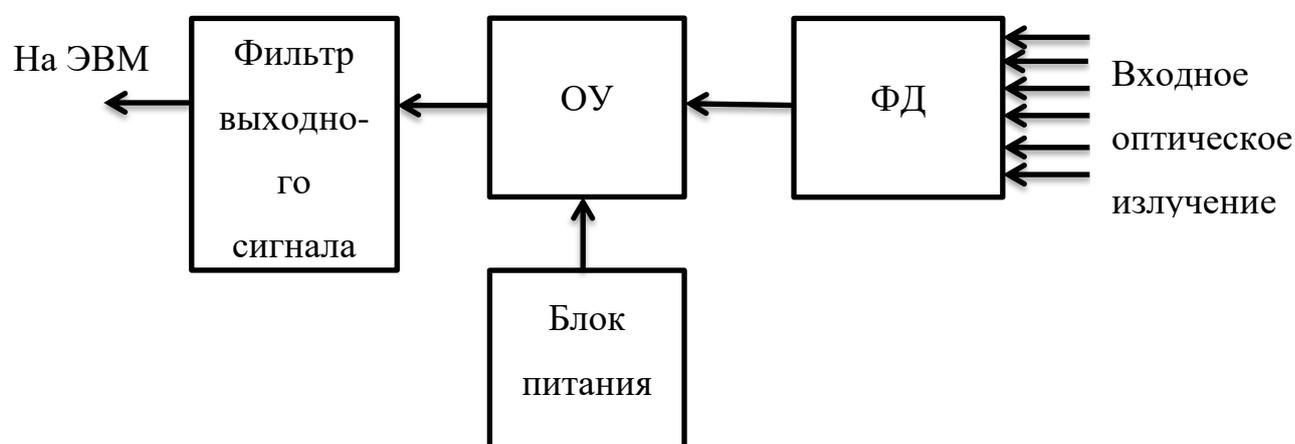


Рисунок 3.3 – структурная схема фоторприемника

3.2. Подбор компонентов электронной принципиальной схемы

Предварительный подбор компонентов проводится для простейшего моделирования прибора, его работы и прогнозирования возможных трудностей и особенностей сборки. Мною проводился подбор ключевых компонентов для первичного испытания работоспособности схемы в целом.

Основные компоненты ЛДИ можно разделить на четыре крупные составляющие, такие как приемник оптического излучения, источник когерентного излучения (лазер), оптическая и электрическая схемы.

3.2.1. Выбор источника оптического излучения

Излучение лазера характеризуется такими параметрами как:

- Направленность;
- Когерентность;
- Монохроматичность;
- Интенсивность;

Одно из основных свойств лазерного излучения — его направленность. Без применения дополнительной оптической системы расходимость пучка полупроводниковых лазеров составляет от единиц до десятков градусов.

Важной характеристикой лазерного излучения для ЛДИ — высокая степень пространственной когерентности. Если один пучок расщепляют на две компоненты, которые затем вновь соединяют, чтобы получить интерференционные полосы, то разность хода вдоль пучков должна быть существенно меньше длины когерентности.

В ЛДИ наиболее перспективно использование одночастотных лазеров, хотя часто они имеют недостаточную выходную мощность. Все реальные источники света дают только квазимонохроматическое излучение, амплитуда и фаза которого флуктуируют случайным образом. Поскольку в реальных

схемах ЛДИ сигнальный и опорный пучки образуются из одного и того же источника лазерного излучения, то процесс фотосмещения является по существу двухлучевой интерферометрией с регистрацией бегущей интерференционной картины.

Требовалось подобрать именно полупроводниковый лазер, так как это обусловлено многими факторами:

- Относительно низкая цена
- Размер
- Широкий ассортимент
- Простота в подключении, использовании, настройке и замене

Исходя из возможностей и того факта, что проект находится на ранней стадии проектирования, было принято решение выбрать лазерный диод с минимальной шириной спектральной линии.

Так был выбран лазерный диод модели ML101U29 (рисунок 3.4) с длиной волны светового излучения $\lambda = 660 \pm 5$ нм (лучший из имеющихся).

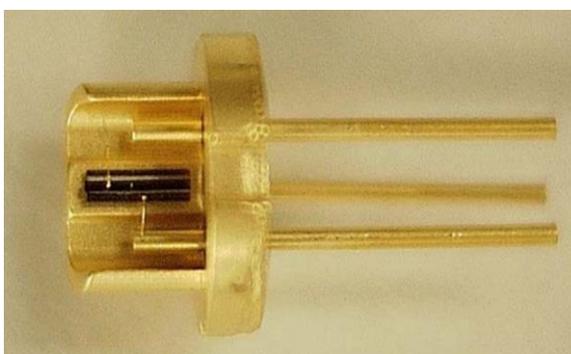


Рисунок 3.4 – Лазерный диод модели ML101U29.

3.2.2. Выбор приемника оптического излучения

Из различных видов фотодиодов оптимально подходит pin-фотодиод. Быстродействие pin-фотодиода значительно выше чем у обычного pn-фотодиода. Это связано с тем, что между p и n слоями примесного полупроводника введен слой собственного полупроводника (i). Ширина i-

слоя составляет обычно 500-700мкм. В отличии же от i-зоны, легированные слои сделаны намного тоньше. Все вместе это сделано для того, чтобы все оптическое излучение поглощалось в i-слое и сокращалось время переноса зарядов из i – зоны в легированные области.

Подбор приемника оптического излучения задается двумя параметрами, спектральной чувствительностью в заданном диапазоне и быстротой срабатывания. В кабельной промышленности максимальные скорости производства доходят до 17 м/с. Исходя из рисунка 3.1 видно, что пороговая частота равна $1,1 \cdot 10^7$ Гц.

Так же, при выборе которого руководствовались следующими принципами:

- Емкость фотодиода как можно меньше;
- Темновое сопротивление как можно больше;
- Рабочая площадь должна быть как можно меньше для обеспечения малой емкости и высокого темнового сопротивления.

Под данную частоту хорошо подходит PIN-фотодиод VISHAY BPW24R (рисунок 3.5), ниже указаны его основные характеристики.

Таблица 3.1 – Основные характеристики VISHAY BPW24R

Обратное напряжение, В	60
Обратный темновой ток, нА	4
Частота срабатывания, Гц	$2 \cdot 10^7$
Спектральный диапазон чувствительности, нм	400 – 1000



Рисунок 3.5 – PIN-фотодиод BPW-24R

Включение фотодиода производилось в фотодиодном режиме (рисунок 3.6). Данный режим отличается следующими особенностями:

- Высокой скоростью реагирования;
- Линейностью;
- Широкой полосой пропускания.

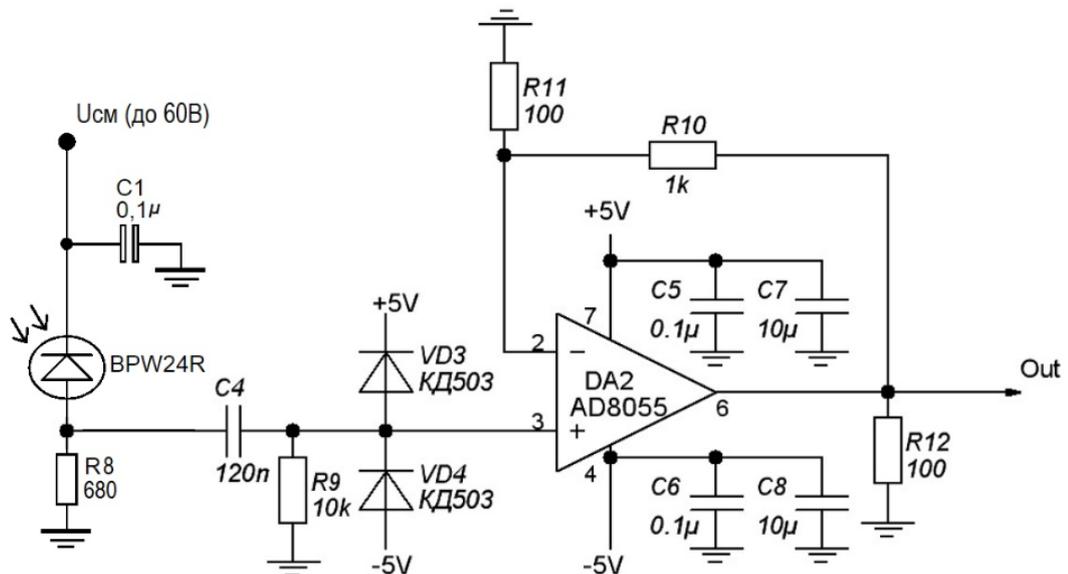


Рисунок 3.6 – Схема включения фотодиода в фотодиодном режиме

Подробный расчёт схемы на данной стадии разработки проведён не был. Подбор ОУ производился путем поиска стандартной схемы включения фотодиодного режима

К недостаткам данного режима можно отнести увеличение темнового и шумового токов.

3.3. Постановка первой фазы эксперимента

В ходе выполнения заданий на практике было принято решение начать подготовку к проведению эксперимента. Были закуплены необходимые для этого компоненты. Ключевым из них был однорежимный высококогерентный лазерный диод. Далее предстояло выбрать оптическую схему, по которой в дальнейшем был построен эксперимент.

3.3.1. Выбор оптической схемы

Продолжая основываться на ранее проделанном обзоре литературы на данную тематику было принято решение для начальной фазы эксперимента выбрать одну из простейших оптических схем (рисунок 3.7) для получения статической интерференционной картины, а так же самой доплеровской частоты (уже на движущемся объекте).

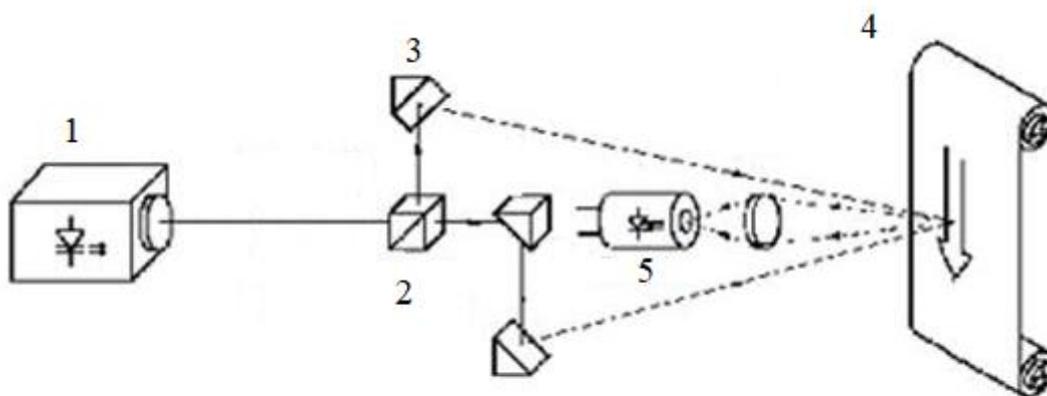


Рисунок 3.7 – Начальная схема экспериментальной установки.

Принцип работы такой установки довольно прост. Луч источника излучения (1) (лазера) Разбивается призмой делителем (2) на два равных пучка и направляется призмами (3) на статичный/движущийся объект. Статичный объект будет использоваться на начальном этапе для получения

интерференционной картины. Далее же фотодиодом (5) регистрируется доплеровская частота при движении объекта (4).

Далее планируется доработать схему и на основании её построить опытный макет прибора.

3.3.2. Установка лазера. Попытка получения интерференционной картины

В ходе выполнения эксперимента был собран первичный опытный лабораторный макет (рисунок 3.8) для попытки получения интерференционной картины. В силу пока слабоизученных причин интерференционную картин на данном этапе разработки прибора получить не удалось.



Рисунок 3.8 – Первичный вариант лабораторного макета лазерного доплеровского измерителя скорости

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Таким образом, целью раздела является анализ и выбор конкурентоспособного метода технической реализации измерителя скорости и длины протяженных изделий.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап помогает выявить сильные и слабые стороны проекта, также возможности и угрозы.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Экономичность и функциональность технологии	Сл1. Стоимость системы сильно зависит от стоимости комплектующих материалов
	С2. Стоимость системы ниже аналогичных технологий	Сл2. Сложность обслуживания системы
	С3. Простота схемы измерения скорости	Сл3. Погрешности

	<p>C4. Высокая надежность</p> <p>C5. Подготовка всех требуемых заказчику оборудования и технологии</p>	<p>измерения из-за аббераций линзы</p> <p>Сл4. Частые поломки из-за хрупкости линзы</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Увеличение спроса продукции на рынке</p> <p>V2. Имейем оборудование для выполнения комплексного исследования</p> <p>V3. Замещение импортной продукции отечественной</p> <p>V4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>V5. Имеет спрос в кабельной промышленности</p>	<p>1. Провести исследования проекта</p> <p>2. Разработать измерительную систему</p> <p>3. Корректировать ошибки</p> <p>4. Продвинуть проект на рынок</p> <p>5. Заключить договора с предприятиями</p>	<p>1. Улучшить систему, сделать ее малогабаритной</p> <p>2. Уменьшить погрешности измерения путем аппаратных и программных методов корректировки ошибок</p> <p>3. Сделать более эффективную в применении измерительную установку</p> <p>4. Защитная конструкция для линзы</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Высокая конкуренция</p> <p>У2. Узко-направленность продукции</p> <p>У3. Возможность предпочтения аналогов</p> <p>У4. Небольшой спрос на товар</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>1. Снизить конкуренцию за счет простоты и удобства использования продукции</p> <p>2. Более низкая стоимость производства и экономичность технологии позволят увеличить спрос, а также минимизировать потери при несвоевременном финансовом обеспечении.</p>	<p>Неудобство работы с крупногабаритной и хрупкой системой, большие погрешности измерения приводит к отсутствию спроса на рынке</p>

Угрозы: У1. Высокая конкуренция У2. Узко-направленность продукции У3. Возможность предпочтения аналогов У4. Небольшой спрос на товар У5. Проблемы с электричеством	1. Увеличить спрос за счет низкой стоимости продукции 2. Снизить конкуренцию за счет простоты и удобства использования продукции 3. Установить защиту от удара электричеством	Неудобство работы с крупногабаритной и хрупкой системой, большие погрешности измерения приводит к отсутствию спроса на рынке
--	---	--

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

Таблица 4.2 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	+	+	+
	B2	0	0	+	0	+
	B3	+	+	-	+	0
	B4	+	+	0	+	0
	B5	+	+	+	+	-
Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	0	-	+
	B3	+	+	-	-	0
	B4	+	-	0	+	-
	B5	-	-	-	-	0
Сильные стороны проекта						

		C1	C2	C3	C4	C5
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	0
	У2	0	0	+	0	0
	У3	+	+	+	+	0
	У4	-	0	0	+	0
	У5	+	-	-	-	-
Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Угрозы проекта	У1	+	+	0	0	+
	У2	-	+	0	-	+
	У3	+	+	-	-	0
	У4	+	-	0	+	-
	У5	+	-	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц:

Сильно коррелирующие сильные стороны и возможности: В1С1С2С3С4С5, С3 В1В2С4 В3 В4 В5, В5 С1С2С3С4.

Сильно коррелирующие слабые стороны и возможности: У1Сл1 Сл2 Сл3 Сл4, У1Сл1 Сл2 Сл3 Сл4 Сл5, В5 Сл1Сл2 Сл3Сл4.

Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

Вывод: проект имеет свои недостатки и слабые стороны, но с помощью возможностей и сильных сторон можно продвинуть проект на рынок, а также есть возможность снизить угрозы и риски, и поэтому есть хорошая вероятность его реализации.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение

исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель, инженер
	8	Измерение скорости и длины протяженных изделий	Инженер
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
	10	Устранение погрешности измерения путем аппаратных и программных методов корректировки ошибок	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13	Разработка структурной схемы измерителя	Инженер
	14	Разработка оптической схемы измерителя	Инженер
	15	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	16	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер
	17	Разработка электрической принципиальной схемы	Руководитель, инженер
Изготовление и испытание макета	18	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Руководитель, инженер

(опытного образца)	19	Лабораторные испытания макета	Руководитель, инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	20	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (11)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (12)$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (13)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (14)$$

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

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

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

$T_{\text{кал}} = 365$ дней

$T_{\text{вых}} = 52$ воскресения

$T_{\text{пр}} = 14$ дней

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожгi}$, чел-дни							
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Составление и утверждение ТЗ	2	-	5	-	1	-	+	-	3,2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	10	-	20	-	14	-	+	-	14	-	17
Проведение патентных исследований	-	1	-	3	-	1,8	-	+	-	1,8	-	2
Выбор направления исследований	3	3	5	5	3,8	3,8	+	+	1,9	1,9	2	2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	+	+	0,7	0,7	1	1
Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	-	10	-	20	-	14	-	+	-	14	-	17
Построение макетов и проведение экспериментов	20	20	30	30	24	24	+	+	12	12	15	15
Измерение скорости и длины протяженных изделий	10	10	20	20	14	14	+	+	7	7	9	9
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическим	-	1	-	3	-	1,8	-	+	-	1,8	-	2

и исследованиям и												
Устранение погрешности измерения	2	2	4	4	2,8	2,8	+	+	1,4	1,4	2	2
Оценка эффективности и полученных результатов	2	-	3	-	2,4	-	+	-	2,4	-	3	-
Определение целесообразности проведения ОКР	4	4	6	6	4,8	4,8	+	+	2,4	2,4	3	3
Разработка структурной схемы	-	1	-	2	-	1,4	-	+	-	1,4	-	2
Разработка оптической схемы	-	1	-	5	-	2,6	-	+	-	2,6	-	3
Выбор и расчет конструкции	-	3	-	7	-	4,6	-	+	-	4,6	-	6
Оценка эффективности и производства и применения изделия	-	3	-	7	-	4,6	-	+	-	4,6	-	6
Разработка электрической принципиальной схемы	4	4	8	8	5,6	5,6	+	+	2,8	2,8	3	3
Конструирование и изготовление макета	7	7	14	14	9,8	9,8	+	+	4,9	4,9	6	6
Лаб.испытания макета	7	7	14	14	9,8	9,8	+	+	4,9	4,9	6	6
Составление ПЗ	-	10	-	30	-	18	-	+	-	18	-	22
Итого									44	101	53	123

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль			март			апрель			май			июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	4	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	17	■	■	■											
3	Проведение патентных исследований	Инженер	2			■											
4	Выбор направления исследований	Руков., инж.	2			■											
5	Календ. планирование работ по теме	Руков., инж.	1			■											
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	17				■	■	■								
7	Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, инженер	15						■	■	■	■					
8	Измерение скорости и длины протяженных изделий	Инженер	9							■	■	■					
9	Сопоставление результатов	Инженер	2									■					
10	Устранение погрешности измерения	Руков., инж.	2									■					
11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	3									■					
12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер	3									■					
13	Разработка структурной схемы	Инженер	2									■					
14	Разработка оптической схемы	Инженер	3									■					
15	Выбор и расчет конструкции	Инженер	6									■	■	■			
16	Оценка эффективности производства и применения изделия	Инженер	6									■	■	■			
17	Разработка электрической принципиальной схемы	Руководитель, инженер	3									■	■	■			
18	Конструирование и изготовление макета	Руководитель, инженер	6									■	■	■			

19	Лаб.испытания макета	Руков., инж.	6														
20	Составление ПЗ	Инженер	22														

4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (15)$$

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.

Таблица 4.6 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.
Асферическая линза	1 штука	1	3000	3450
Призма	1 штука	1	2000	230
Интегральные микросхемы КР140УД22	1 штука	1	25	28,75
Интегральные микросхемы КР544УД2	1 штука	10	20	230
Логические микросхемы К561ЛП2	1 штука	1	20	23
Диоды 1N4004	1 штука	4	2	9,2
Конденсаторы К10-17б	1 штука	20	5	115
Переменные резисторы СПЗ-4АМ	1 штука	1	50	57,5
Подстрочные резисторы СП5-2ВБ	1 штука	2	25	57,5
Транзисторы КТ361Б	1 штука	1	2	2,3
Припой ПОС-61	1 метр	5	20	115
Канифоль сосновая	100 грамм	3	290	1000,5
Плата монтажная	1 штука	1	50	57,5
Корпус	1 штука	1	500	575
Итого				5893,75

4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в табл. 8. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 4.7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизационные отчисления за время использования оборудования, руб.
1	Компьютер высокой мощности	1	25000	3750
2	Паяльная станция	1	2000	300
3	Лазерный диод	1	2000	300
4	Генератор VC-2002	1	8000	1200
5	Источник питания постоянного напряжения и тока АТН-4235	1	46000	6900
Итоговая сумма				12450

4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (16)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (17)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (18)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 9).

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273

Месячный должностной оклад работника взят из документа «Оклады по новой системе оплаты труда с 01.06.2016 г.» (см. Приложение А)

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 10. Руководитель Федоров Е. М. – доцент ОКД, ктн.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _м без учета РК (2019 г), руб.	З _м с учетом РК (2019 г), руб.	З _{дн} , руб.	Т _{р. раб. дн.}	З _{осн} , руб.
Руководитель	33664	43763,2	1827,86	44	80425,86
Инженер	26300	34190	1402,67	101	141669,33
Итого З _{осн}					222095,20

4.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (19)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы равный 0,12.

Таблица 4.10 – дополнительная заработная плата

	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата	80425,86	141669,33
Дополнительная з/п	9651,10	17000,32
Итого доп. з/п	26651,42	

4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (20)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

Таблица 4.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	80425,86	12063,88
Инженер	141669,33	21250,40
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого $Z_{\text{внеб}} = 25064,72 + 44151,25 = 69215,97$ руб.		

4.4.8. Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (21)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (5893,75 + 12450 + 222095,20 + 33314,28 + 69215,97) \cdot 0,16 = \\ &= 51347,07 \text{ руб.} \end{aligned}$$

4.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 4.12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	5893,75	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	12450	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	222095,20	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	33314,28	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	69215,97	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	55547,07	Пункт 3.4.8
7. Бюджет затрат НТИ	402716,27	Сумма ст. 1- 8

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (22)$$

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 (в т.ч. аналоги).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (23)$$

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Аналог 1	Аналог 2
1. Погрешность измерения	0,15	4	4
2. Себестоимость	0,25	5	5

3. Энергосбережение	0,15	4	4
4. Надежность	0,35	5	3
5. Материалоемкость	0,1	3	4
ИТОГО	1		

$$I_{p-исн1} = 4*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 5*0,35 + 3*0,1 = 4,5;$$

$$I_{p-исн2} = 4*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 3*0,35 + 4*0,1 = 3,9;$$

Таблица 4.14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,62	0,86
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	7,26	4,53
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,6	0,85

Выводы: интегральный показатель ресурсоэффективности первого варианта исполнения 4,5 выше, чем второго.

Показатель сравнительной эффективности в итоге получился самым высоким 1,6.

Сравнив эти значения, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.