

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 ООП/ОПОП – 15.03.04 АТПП  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы			
Разработка и программная реализация регулятора высоты полета беспилотного летательного аппарата			
УДК 629.7.016.2:623.746.4-519			
Обучающийся			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т91	Жэнь Юйфэй		

#### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин В.Н.	к.т.н., доцент		

#### Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Т.Б.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Сечин А.И.	Д.т.н.		

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман А.В.	Ассистент ОАР ИШИТР		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	Цавнин А.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2023 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде.
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах).
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов.
<b>УК(У)-9</b>	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности.
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и

Код компетенции	Наименование компетенции
	проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования.
<b>ПК(У)-2</b>	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий.
<b>ПК(У)-3</b>	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств.
<b>ПК(У)-4</b>	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования.
<b>ПК(У)-5</b>	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа.
<b>ПК(У)-7</b>	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем.
<b>ПК(У)-8</b>	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством.
<b>ПК(У)-9</b>	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и

Код компетенции	Наименование компетенции
	измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления.
<b>ПК(У)-10</b>	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления.
<b>ПК(У)-11</b>	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования.
<b>ПК(У)-18</b>	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством.
<b>ПК(У)-19</b>	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами.
<b>ПК(У)-20</b>	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций.
<b>ПК(У)-21</b>	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством.
<b>ПК(У)-22</b>	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
	и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения.

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (ООП) – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Цавнин А.В.  
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
158Т91	Жэнь Юйфэй

Тема работы:

Разработка и программная реализация регулятора высоты полета беспилотного летательного аппарата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.02.2023 г. №33-42/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	09.06.2023 г.
--	---------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Псевдолинейное амплитудное корректирующее устройство, система автоматического регулирования высоты полета беспилотного летательного аппарата. Перерегулирование не более 6 процентов. Программная реализация на промышленном контроллере КРОСС 500. Программный пакет Isagraf.</p>
---	---

<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</p>	<p>Анализ существующих корректирующих устройств систем автоматического регулирования. Исследование свойств псевдолинейного амплитудного корректирующего устройства и системы управления высотой полета беспилотного летательного аппарата в ПП MatLab;</p> <p>Программная реализация регулятора с динамической амплитудной коррекцией на контроллере Кросс-500.</p> <p>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».</p> <p>Раздел «Социальная ответственность».</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Название темы.</li> <li>2. Цель и задачи.</li> <li>3. Структурная схема и частот характеристики.</li> <li>4. Модель БПЛА и передаточная функция.</li> <li>5. Структура регулятора с динамической амплитудной коррекцией.</li> <li>6. Модель канала управления высотой БПЛА.</li> <li>7. Определение параметров регулятора.</li> <li>8. Результаты исследования при изменении статического коэффициента передачи.</li> <li>9. Результаты исследования при изменении коэффициента затухания.</li> <li>10. Результаты исследование при подстройке корректирующего устройства.</li> <li>11. Программное обеспечение.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Александр Иванович, д.т.н., профессор ООД ТПУ.</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Якимова Татьяна Борисовна, к.э.н., доцент ОСГН ТПУ</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b></p>	
<p>нет</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>02.02.2023 г.</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Руководитель ВКР Доцент ОАР ИШИТР</p>	<p>Скороспешкин В.Н</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>02.02.2023г.</p>
<p>Консультант ВКР Доцент ОАР ИШИТР</p>	<p>Скороспешкин М.В.</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>02.02.2023г.</p>

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>158Т91</p>	<p>Жэнь Юйфэй</p>		<p>02.02.2023г.</p>

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки -15.03.04-Автоматизация технологических процессов и производств  
 Уровень образования Бакалавриат  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
158Т91	Жэнь Юйфэй

Тема работы:

Разработка и программная реализация регулятора высоты полета беспилотного летательного аппарата
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	09.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2023 г.	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин В.Н.	к.т.н., доцент		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	Цавнин А.В.	к.т.н., доцент		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т91	Жэнь Юйфэй		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94с., 15табл., 51рис., 11 источников, 1 прил.

Ключевые слова: система автоматического управления высотой полета беспилотного летательного аппарата, псевдолинейные корректирующие устройства, автоматическая подстройка параметров корректирующего устройства, программная реализация регулятора с корректирующим устройством, исследование свойств системы управления высотой полета.

Объектом исследования является псевдолинейные корректирующие устройства.

Цель работы – Исследование свойств САР высотой полета беспилотного летательного аппарата с регулятором с динамической амплитудной коррекцией и программная реализация регулятора на контроллере КРОСС в программном пакете ISAGRAF.

В процессе работы проводился анализ свойств амплитудного корректирующего устройства, исследование системы регулирования высотой полета беспилотного летательного аппарата в условиях, когда свойства объекта управления в процессе работы системы менялись.

Результаты исследования показали, что применение предложенного регулятора позволяет улучшить качество САР и обеспечить устойчивость САР при изменении свойств и параметров объекта управления, и его программная реализация в среде Isagraf. Данный регулятор по сравнению с ПД регулятором обеспечивает лучшее качество регулирования.

## СОКРАЩЕНИЯ

БПЛА – беспилотный летательный аппарат;

ВКР – выпускная квалификационная работа;

КУ – корректирующее устройство;

ПКУ – псевдолинейное корректирующее устройство;

ПИД – регулятор – пропорционально-интегро-дифференциальный регулятор;

ПД – регулятор пропорционально-дифференциальный регулятор;

ТАУ – теория автоматического управления;

САР – система автоматического регулирования;

САУ – система автоматического управления;

АЧХ – амплитудная частотная характеристика;

ФЧХ – фазовые частотные характеристики.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	13
1. Анализ корректирующих устройств САУ .....	14
1.1 Линейные корректирующие устройств.....	14
1.2 Нелинейные корректирующие устройства.....	14
2. Исследование свойств системы управления высотой полета с регулятором с динамической амплитудной коррекцией.....	17
2.1 Математическая модель САУ высоты беспилотного летательного аппарата .....	17
2.2 Исследование системы управления высотой полета БПЛА при изменении свойств объекта управления.....	20
2.3 Исследование системы при изменении постоянной времени корректирующего устройства .....	32
2.4 Исследование системы при ограничениях на параметры БПЛА и при учёте ветрового возмущения .....	32
2.5 Постройка корректирующего устройства .....	35
3. Программная реализация регулятора с корректирующим устройством	35
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	37
4.1. Планирование научно-исследовательских работ .....	37
4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	37
4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	38
4.2. Бюджет научно-технического исследования.....	42
4.2.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	42
4.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	43
4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	46
4.4. Выводы по разделу .....	50
5. Социальная ответственность .....	53
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	53
5.2. Производственная безопасность .....	55

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования при эксплуатации и внедрении.....	55
5.2.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	57
5.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего) .....	58
5.3. Экологическая безопасность .....	63
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	64
5.5. Заключение.....	66
Заключение.....	68
Список использованных источников .....	69
Приложение А.....	70

## Введение

Одним из способов реализации систем управления объектами с нестационарными параметрами является способ, основанный на использовании в составе системы корректирующего устройства, параметры которого в процессе работы подстраиваются в зависимости от текущих свойств объекта управления.

Наиболее простой системой такого типа является система с псевдолинейным корректирующим устройством. АЧХ и ФЧХ таких устройств обладают слабой зависимостью при изменении их параметров. Именно это свойство позволяет реализовывать простые системы.

В ВКР исследована работа регулятора, в состав которого входит псевдолинейное корректирующее устройство с амплитудным подавлением. В процессе работы параметры регулятора подстраиваются в зависимости от величины перерегулирования. В качестве объекта управления рассмотрен беспилотный летательный аппарат.

## 1. Анализ корректирующих устройств САУ

Корректирующие устройства делятся на линейные и нелинейные [2].

### 1.1 Линейные корректирующие устройств

К числу линейных корректирующих устройств относятся:

- апериодическое КУ;
- интегрирующее КУ;
- дифференцирующее КУ;
- интегро-дифференцирующее КУ.

### 1.2 Нелинейные корректирующие устройства

Основными нелинейными корректирующими устройствами являются:

- КУ типа насыщения;
- КУ с зоной нечувствительности;
- КУ на основе отрицательного гистерезиса.

Системы управления нелинейными КУ являются достаточно сложными.

Разновидностью нелинейных КУ являются псевдолинейные корректирующие устройства. У данных устройств частотные характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала [2].

В настоящей работе используется КУ с амплитудным подавлением. Структурная схема такого устройства показана на рисунке 1.1.

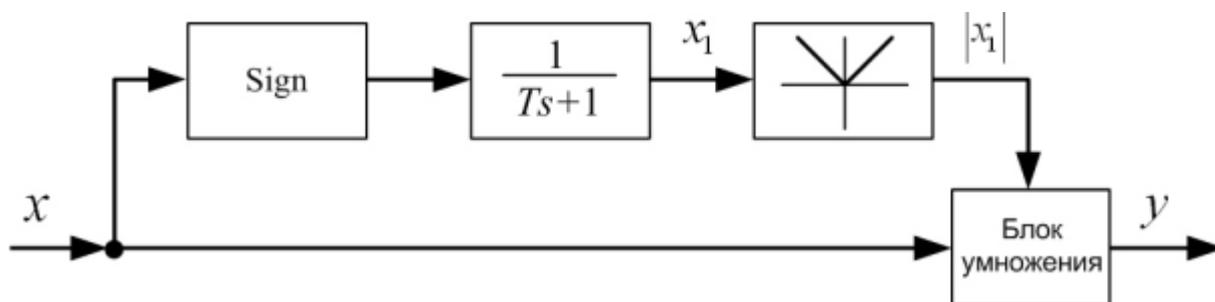


Рисунок 1.1 – Структурная схема ПКУ с амплитудным подавлением

Коэффициенты гармонической линеаризации корректирующего устройства с амплитудным подавлением определяются следующим образом:

$$a(\omega) = \frac{8}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left( 1 + \frac{1}{3} \cos 2\theta \right), \quad (1.1)$$

$$b(\omega) = \frac{8}{\pi^2 \sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left( \frac{1}{3} \cos 2\theta \right), \quad (1.2)$$

где

$$\theta = -\arctg \omega T.$$

Амплитудная характеристика определяется по формуле

$$q(\omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2}, \quad (1.3)$$

а фазовая характеристика определяется по формуле

$$\mu(\omega) = \arctg \frac{b(\omega)}{a(\omega)}. \quad (1.4)$$

Частотные характеристики данного устройства показаны на рисунках 1.2 и 1.3 соответственно. Кривые 1 ÷ 6 соответствуют значениям  $T$ , равным 5с, 10с, 20с, 30с, 40с, 50с.

Использование данного устройства в составе САУ позволяет создавать адаптивные системы.

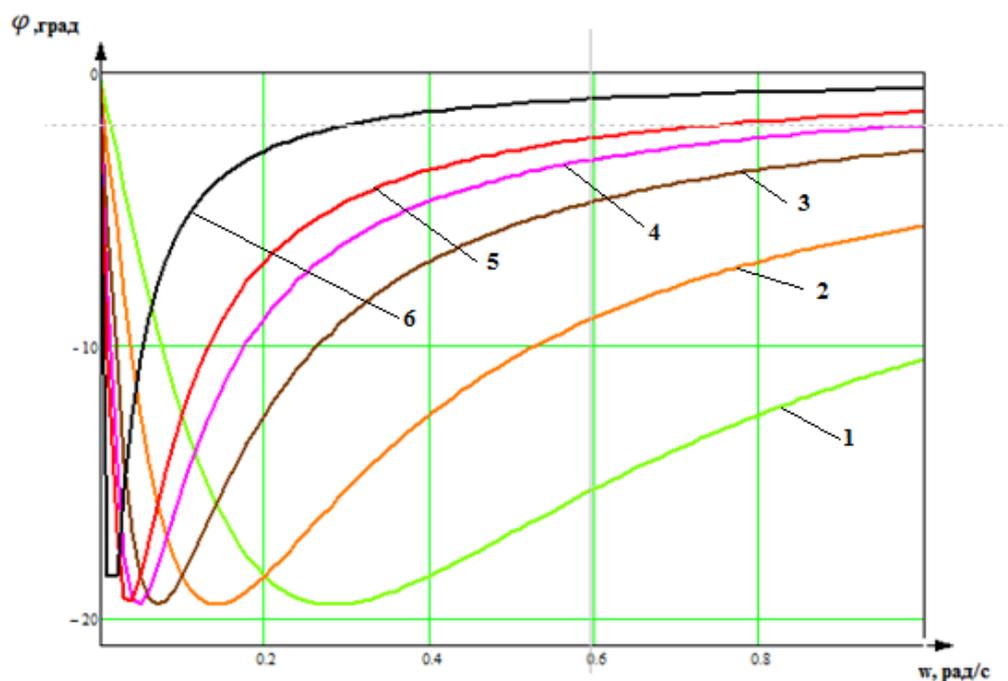


Рисунок 1.2 – Фазовые частотные характеристики

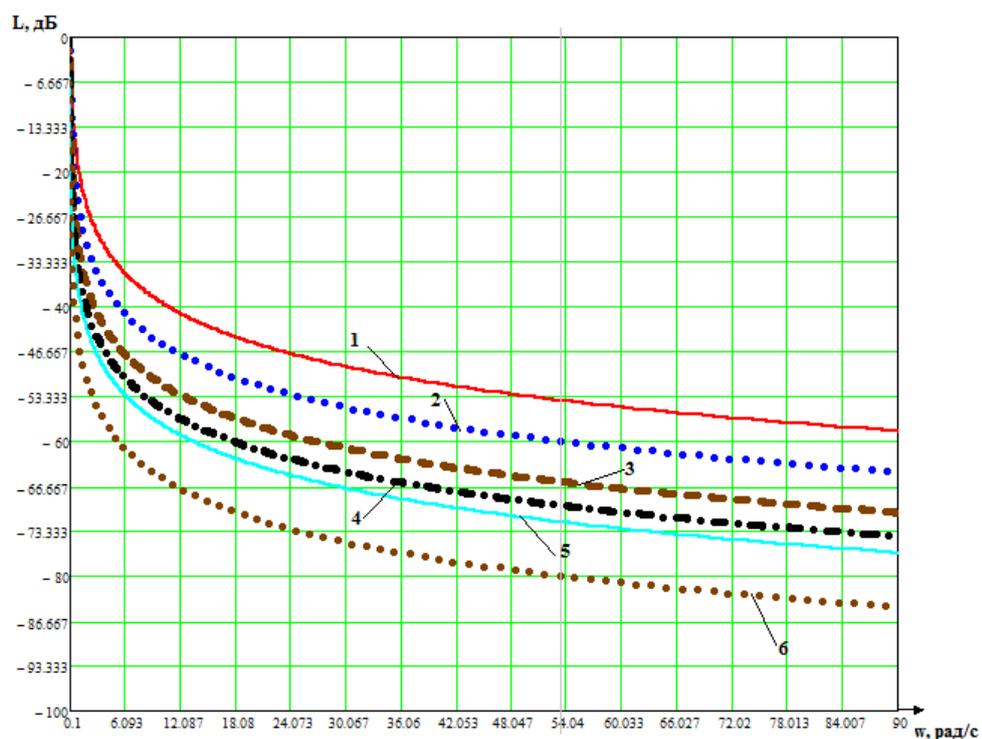


Рисунок 1.3 – Амплитудные частотные характеристики

В настоящей работе предложен регулятор, в состав которого входит псевдолинейное корректирующее устройство с амплитудным подавлением. Структурная схема такой системы изображена на рисунке 1.4.

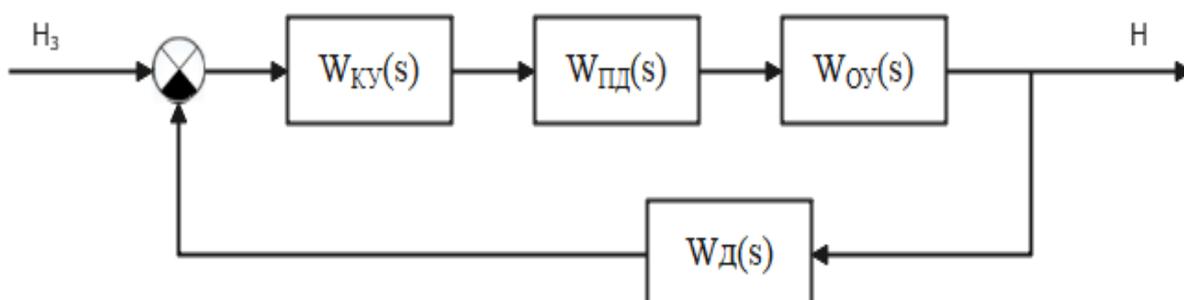


Рисунок 1.4 – Структурная схема системы автоматического регулирования

На рисунке использованы следующие обозначения:

$W_{кУ}(s)$  – передаточная функция корректирующего устройства;

$W_{пд}(s)$  – передаточная функция ПД-регулятора;

$W_{оу}(s)$  – передаточная функция объекта управления;

$W_{д}(s)$  – передаточная функция датчика высоты;

$H$  – высота полета;

$N_z$  – уставка по требуемой высоте полета.

## 2. Исследование свойств системы управления высотой полета с регулятором с динамической амплитудной коррекцией

В этом разделе рассматривается математическая модель системы управления высотой полета БПЛА. Проведено исследование свойств системы управления при изменении параметров БПЛА и параметров корректирующего устройства. Рассмотрено влияние на свойства системы управления ветрового возмущения.

### 2.1 Математическая модель САУ высоты беспилотного летательного аппарата

На рисунке 2.1 представлена схема беспилотного летательного аппарата ракетного типа.

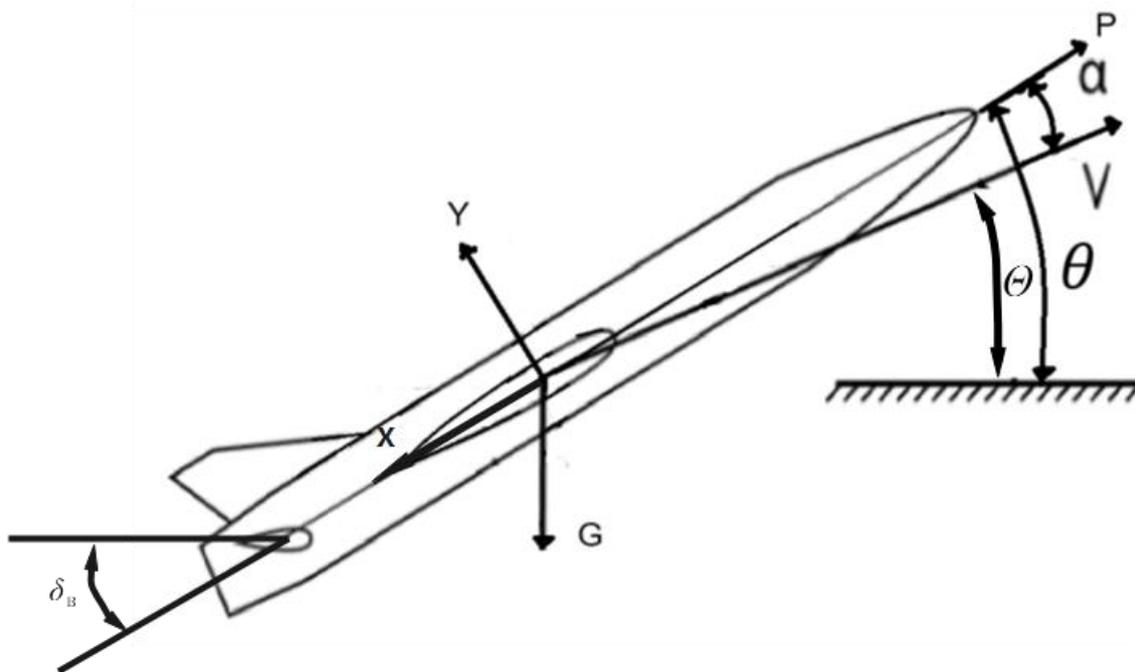


Рисунок 2.1 – Схема беспилотного летательного аппарата ракетного типа

На рисунке использованы следующие обозначения:

$\theta$  – угол тангажа;

$\alpha$  – угол атаки;

$\Theta$  – угол наклона траектории;

$\delta_v$  – угол поворота рулей высоты;

$P$  – сила тяги двигателя;

$V$  – скорость движения;

$Y$  – подъемная сила;

$X$  – лобовое сопротивление воздуха;

$G$  – сила тяжести.

Анализ литературы показал, что САР высоты полета БПЛА наиболее часто используется передаточная функция, четвертого порядка с колебательным и интегрирующими звеньями [5,6,7]. Структурная схема такой модели представлена на рисунке 2.2.

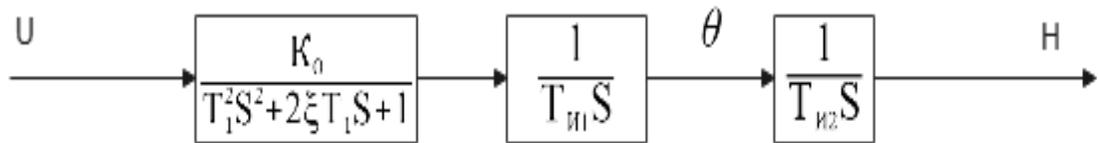


Рисунок 2.2 – Структурная схема модели

Передаточная функция имеет вид

$$W(s) = \frac{K_0}{(T_1^2 S^2 + 2\xi T_1 S + 1) T_{И1} T_{И2} S^2} \quad (2.1)$$

В литературных источниках [6] рассматривается математическая модель БПЛА с обратной связью по углу тангажа. Такая математическая модель канала управления высотой БПЛА представлена на рисунке 2.3.

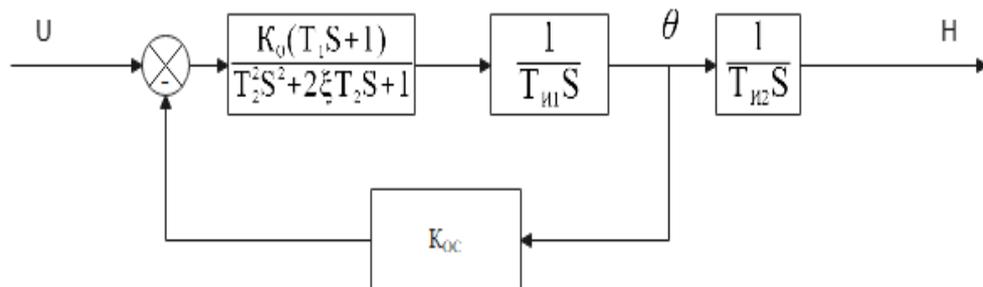


Рисунок 2.3 – Математическая модель канала управления высотой БПЛА

На рисунке использованы следующие обозначения:  $T_2$ -постоянная времени по углу атаки,  $K_0$ -статический коэффициент передачи,  $T_{И1}$ ,  $T_{И2}$ -постоянные времени интегрирующих звеньев,  $K_{oc}$ - коэффициент обратной связи по тангажу.

Структура схема САР высоты состоит из последовательного соединения колебательного звена второго порядка, охваченного обратной связью, и двух интегрирующих звеньев.

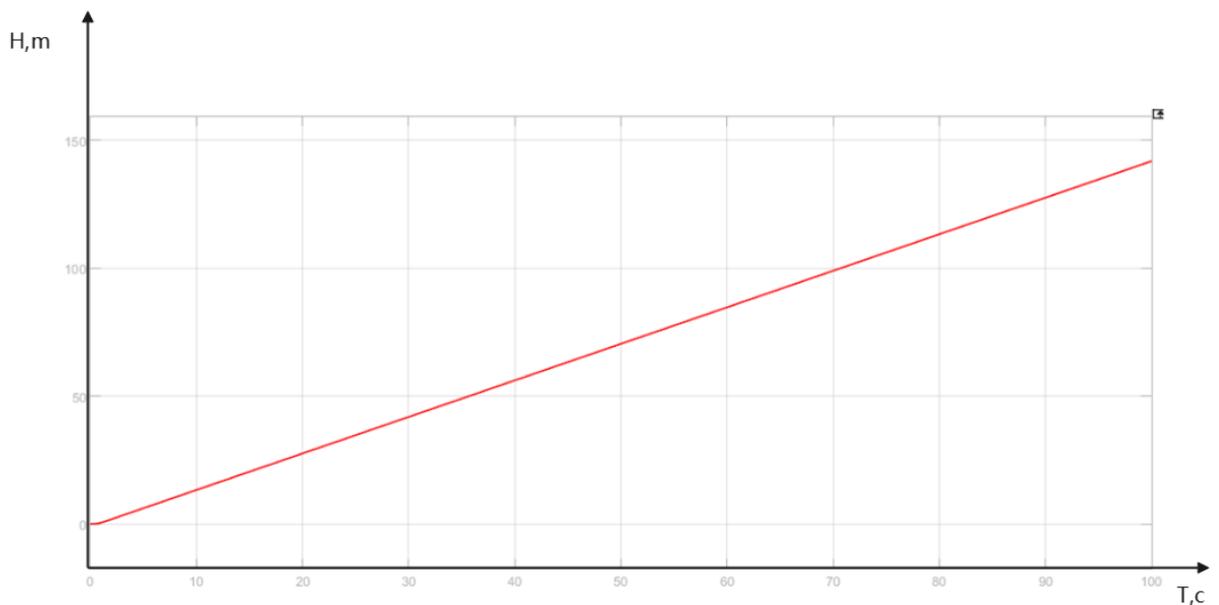
Коэффициенты передаточной функции (2.2) зависят от ряда параметров. К числу относятся величина подъемной силы, величина скоростного напора воздуха, скорость полёта, площадь поверхности крыла, сила лобового сопротивления воздуха, положение руля высоты, масса БПЛА, момент инерции БПЛА и ряда других параметров.

Передаточная функция, соответствующая структуре, представленной на рисунке 2.3, имеет следующий вид.

$$W_{Oy}(s) = \frac{K_0(T_1s+1)}{T_{И1}T_{И2}T_2^2s^4 + 2\xi T_{И1}T_{И2}T_2s^3 + (T_{И1}T_{И2} + K_{OC}K_0T_1T_{И2})s^2 + K_0K_{OC}T_{И2}s} \quad (2.2)$$

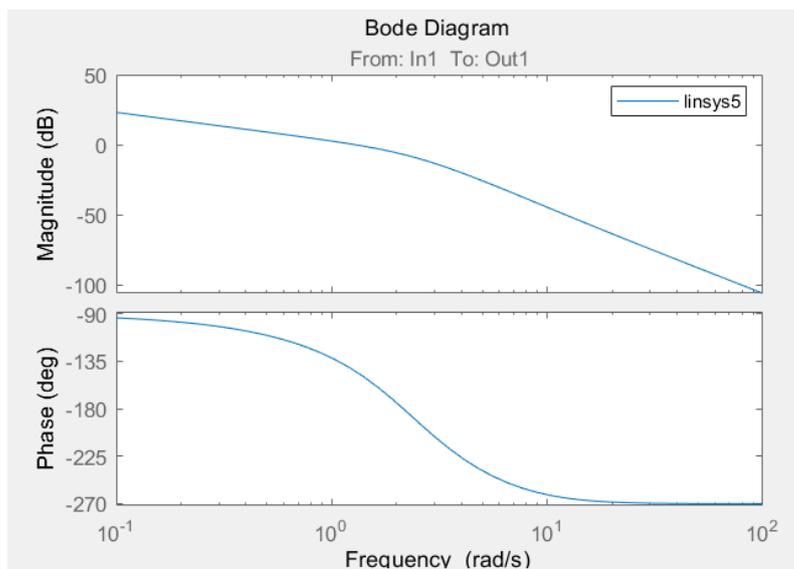
На рисунке 2.3 представлена переходная характеристика при следующих параметрах:

$$K_0=2; K_{OC}=0,7; T_1=0,1; T_2=0,2; T_{И1}=1; T_{И2}=1; \xi = 1$$



Рисунке 2.4 – Переходная характеристика канала управления высотой БПЛА

На рисунке 2.5 представлены логарифмические частотные характеристики.



Рисунке2.5 – Логарифмические частотные характеристики

В процессе полета параметры БПЛА могут существенно изменяться. К числу факторов, влияющих на параметры БПЛА относятся:

1. Величина скоростной напор воздуха.
2. Скорость полёта.
3. Площадь поверхности крыла.
4. Сила лобового сопротивления воздуха.

Изменение свойств БПЛА моделировалось изменением статического коэффициента передачи, постоянных времени и изменением декремента затухания.

## 2.2 Исследование системы управления высотой полета БПЛА при изменении свойств объекта управления

С учётом наличия в составе регулятора высоты полета корректирующего устройства, структура регулятора состоит из последовательного соединения корректирующего устройства и ПД-регулятора. Структурная схема регулятора представлена на рисунке 2.6.

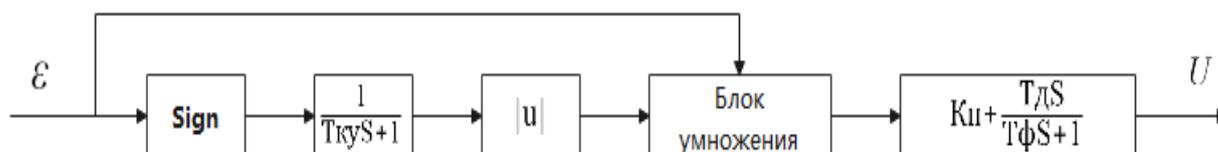


Рисунок 2.6 – Структурная схема регулятора

Структурная схема системы стабилизации высоты полета беспилотного летательного аппарата представлена на рисунке 1.4.

На рисунке 2.7 представлены модели в ПП Matlab, предназначенные для исследования САР высоты полёта с ПИД-регулятором и с ПД-регулятором совместно с корректирующим устройством. В связи с тем, что состав САР высоты входят интегрирующие звенья, используется ПД регулятор. В этом случае система будет астатической, но с меньшим отрицательным фазовым сдвигом.

Исследование свойств САР высотой полета БПЛА проводилось при следующих параметрах БПЛА:

$$K_0=2; T_{КУ}=0.1с; \zeta=1с; T_1=0,1с; T_2=0,2с; K_{OC}=1; T_{\Phi}=0,5с; T_{И1}=1с; T_{И2}=1с.$$

Исследование проводилось для оценки влияния корректирующего устройства на устойчива и качество САР.

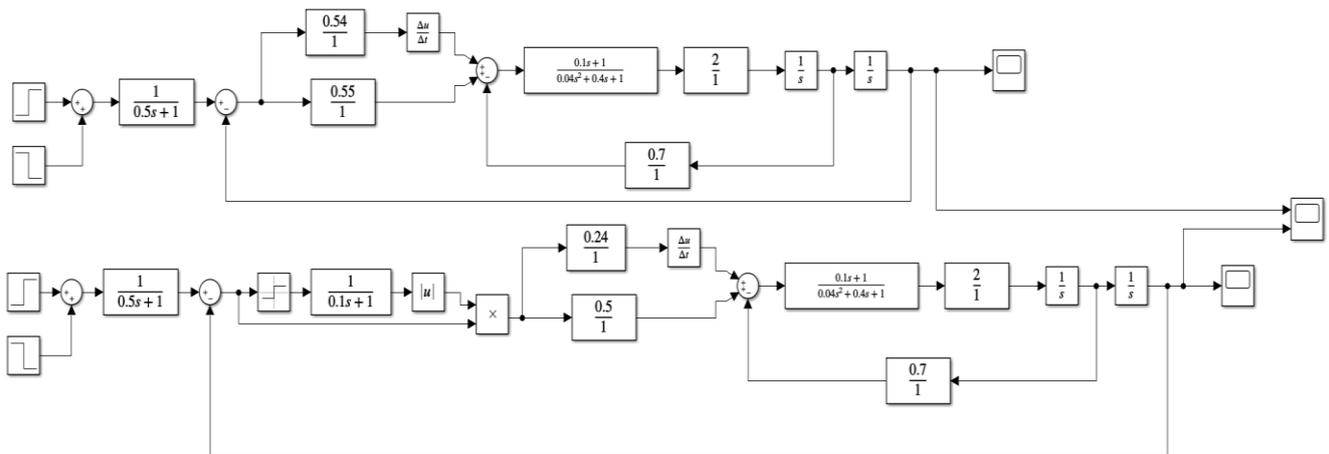


Рисунок 2.7 – Модель для исследования свойств систем управления

Настройка регулятора проводилась на основе корневого метода. Для настройки регулятора определена передаточная функция замкнутой системы. Данная передаточная функция имеет вид:

$$W(s) = \frac{A_1 s^2 + A_2 s + A_3}{B_1 s^5 + B_2 s^4 + B_3 s^3 + B_4 s^2 + B_5 s + B_6}, \quad (2.3)$$

где  $A_1 = K_0 T_1 T_{\Phi}$ ;  $A_2 = K_0 T_1 + K_0 T_{\Phi} + T_D$ ;  $A_3 = K_0$ ;

$B_1 = T_{И1} T_{И2} T_2^2 T_{\Phi}$ ;  $B_2 = 2\xi T_{И1} T_{И2} T_2 T_{\Phi} + T_{И1} T_{И2} T_2^2$ ;

$$B_3 = T_{И1}T_{И2}T_{\Phi} + K_{OC}K_0T_1T_{И2}T_{\Phi} + 2\xi T_{И1}T_{И2}T_2;$$

$$B_4 = K_0K_{OC}T_{И2}T_{\Phi} + T_{И1}T_{И2} + K_{OC}K_0T_1T_{И2} + K_0T_1T_{\Phi};$$

$$B_5 = K_0T_1 + K_0T_{\Phi} + T_D + K_0K_{OC}T_{И2}; \quad B_6 = K_0.$$

Характеристический полином САР высота полета имеет вид:

$$D(s) = B_1s^5 + B_2s^4 + B_3s^3 + B_4s^2 + B_5s + B_6. \quad (2.4)$$

Корни характеристического уравнения определялись для системы со следующими параметрами  $K_0=2$ ;  $\zeta=1$ ;  $T_1=0,1$ ;  $T_2=0,2$ ;  $K_{OC}=1$ ;  $T_{\Phi}=0,5$ ;  $T_{И1}=1$ ;  $T_{И2}=1$ .

В процессе настройки коэффициент пропорциональности  $K_p$  менялся в диапазоне от 0.1 до 1, а постоянная времени регулятора  $T_D$  менялась в диапазоне от 0.5 до 2с.

В результате наилучшими параметрами регулятора являются следующие:  $K_p=0.55$ ;  $T_D=0.54$ с. При этом корни характеристического уравнения принимают следующие значения:

$$S_1=-0.5296; \quad S_2=-5.066+5.603i; \quad S_3=-5.066-5.603i; \quad S_4=-0.6687+1.692i; \quad S_5=-0.6687-1.692i.$$

Расположение корней на комплексной плоскости корней представлено на рисунке 2.8.

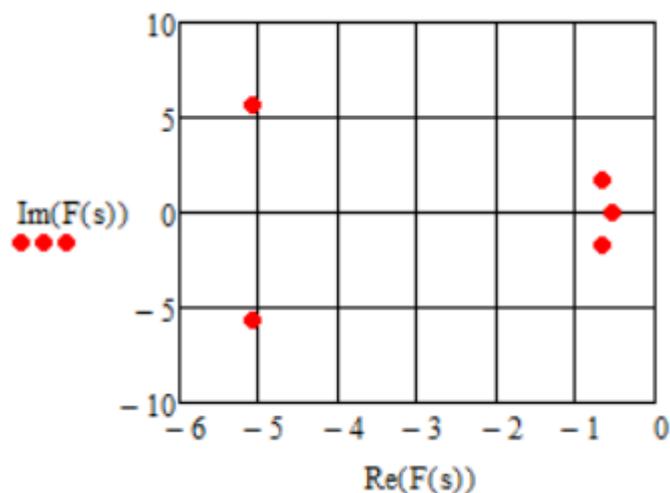


Рисунок 2.8- Расположение корней характеристического полинома

Для данных параметров характеристическое уравнение имеет вид:

$$D(s) = 0.02s^5 + 0.24s^4 + 1.6s^3 + 2.98s^2 + 4.94s + 2. \quad (2.5)$$

В данной работе рассматривается режим полета БПЛА с огибанием рельефа местности. В этом случае при движении БПЛА происходят изменения задающего воздействия в зависимости от рельефа местности. Реакцию БПЛА на изменение задающего воздействия можно использовать для оценки состояния летательного аппарата и качества системы управления. А также оценки необходимости подстройки регулятора.

При использовании спутниковой системы навигации необходимо пользоваться глобальной спутниковой системой навигации. Эта система должна быть доступной на всем маршруте полета, что не всегда обеспечивается.

При использовании экстремально-корреляционной системы навигации необходимо электронная карта местности, по которой пролегает маршрут. При необходимости оперативно изменить маршрут могут возникать ситуации, при которых БПЛА может оказаться в районах, для которых электронной карты местности нет.

В большинстве случаев используется не одна, а несколько навигационных систем.

Уставки регулятора высоты полета могут меняться по различным законам. Законы могут быть линейными, ступенчатыми и др.

На рисунке 2.9 представлена траектория облета препятствия с изменением высоты по линейному закону.

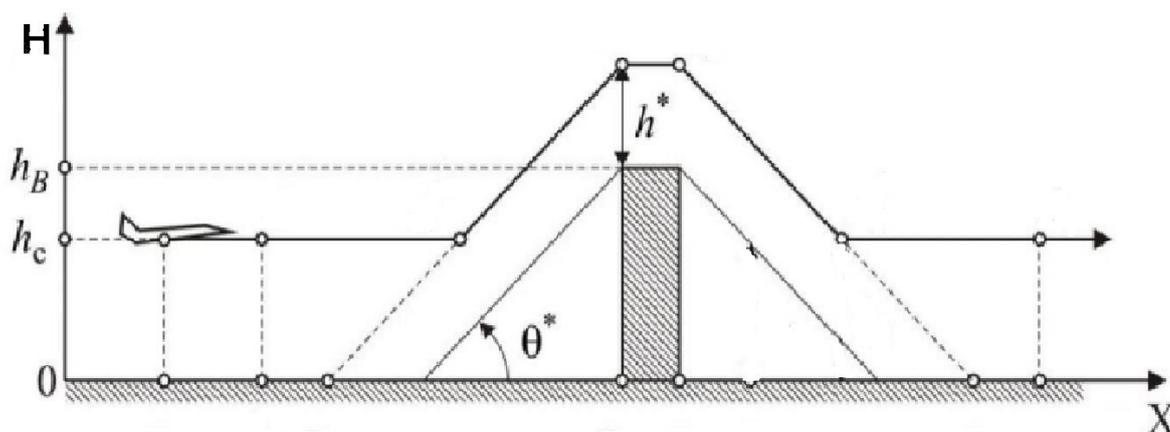


Рисунок 2.9 – Траектория облета препятствия БПЛА

Для оценки эффективности использования регулятора с корректирующим устройством проведем исследование в ПП Matlab свойств САУ высота полета БПЛА с данным регулятором и ПД-регулятором в условиях, когда меняются параметры передаточной функции.

На рисунке 2.10 представлена модели системы управления высота полета БПЛА. Верхняя модель – это модель с ПД-регулятором, а нижняя – с регулятором, в состав которого входит псевдолинейное корректирующее устройство с амплитудным подавлением. При исследовании постоянная времени корректирующего устройства принята равной одной десятой секунду.

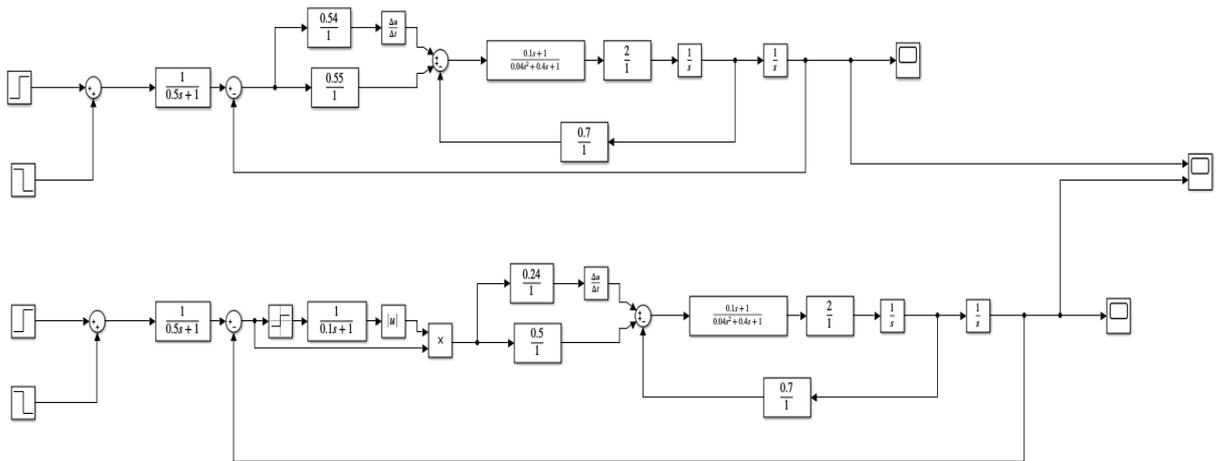


Рисунок 2.10 – Модель для исследования системы при  $T_{кУ}=0.1$ с

Данная модель позволяет одновременно исследовать систему стабилизации высоты полета с пропорционально-дифференциальным регулятором и систему с ПД-регулятором, работающим совместно с корректирующим устройством.

По результатам моделирования можно оценить эффективность применения корректирующего устройства.

На рисунках 2.11-2.17 представлены кривые переходных процессов для системы регулятором с амплитудной динамической коррекцией и классическим ПД регулятором. Верхняя кривая соответствует системе с ПД-регулятором, а нижняя кривая – системе с ПД-регулятором, работающем совместно с корректирующим устройством. Кривые получены при различных значениях коэффициента передачи  $K_0$ .

На рисунке 2.11 представлены кривые переходных процессов для систем, имеющих следующие параметры:

Для САР с ПД-регулятором  $K_p=0,55$  и  $T_d=0,54$ .

Для САР с ПД-регулятором, дополненным корректирующим устройством, проводилось при  $K_p=0,5$ ;  $T_d=0,24$ ;  $T_{ку}=0,1$ с;  $\zeta=1$ с;  $T_1=0,1$ с;  $T_2=0,2$ с;  $K_{ос}=1$ ;  $T_\phi=0,5$ с;  $T_{и1}=1$ с;  $T_{и2}=1$ с.

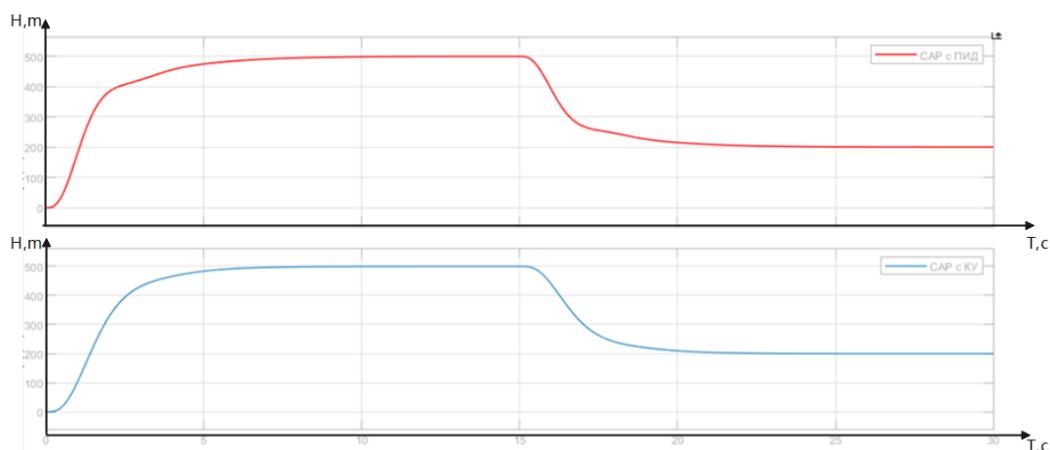


Рисунок 2.11 –Кривые переходных процессов при  $T_{ку}=0.1$ с

Кривые переходного процесса имеют два участка, соответствующие высотам 500 и 200 метрам.

Показатель качества систем следующие: перерегулирование равно нулю, время переходного процесса для САР с КУ и ПД равно 8.7с и 11.2с.

На рисунках 2.12-2.17 представлены кривые переходных процессов для различных значений статического коэффициента передачи объекта управления. Кривые переходных процессов получены для объекта с параметрами  $T_{ку}=0.1$ с;  $\zeta=1$ с;  $T_1=0,1$ с;  $T_2=0,2$ с;  $K_{ос}=1$ ;  $T_\phi=0,5$ с;  $T_{и1}=1$ с;  $T_{и2}=1$ с. Статический коэффициент передачи  $K_o$  изменялся в диапазоне от 2 до 30.

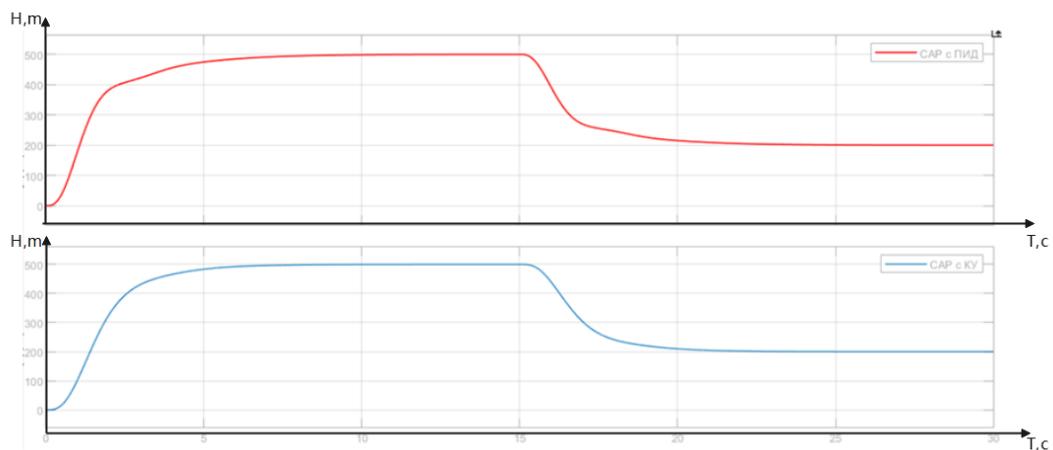


Рисунок 2.12 – Кривые переходных процессов системы стабилизации высоты БПЛА при  $K_0=2$

Анализ кривых переходных процессов показывает, что они являются монотонными, статическая ошибка обеих систем равна нулю. Данные системы отличаются быстродействием. Система с КУ обладает меньшим быстродействием. Время переходных процессов равно соответственно 8.7с и 11.2с.

На рисунке 2.13 представлены кривые переходных процессов при  $K_0=4$ .

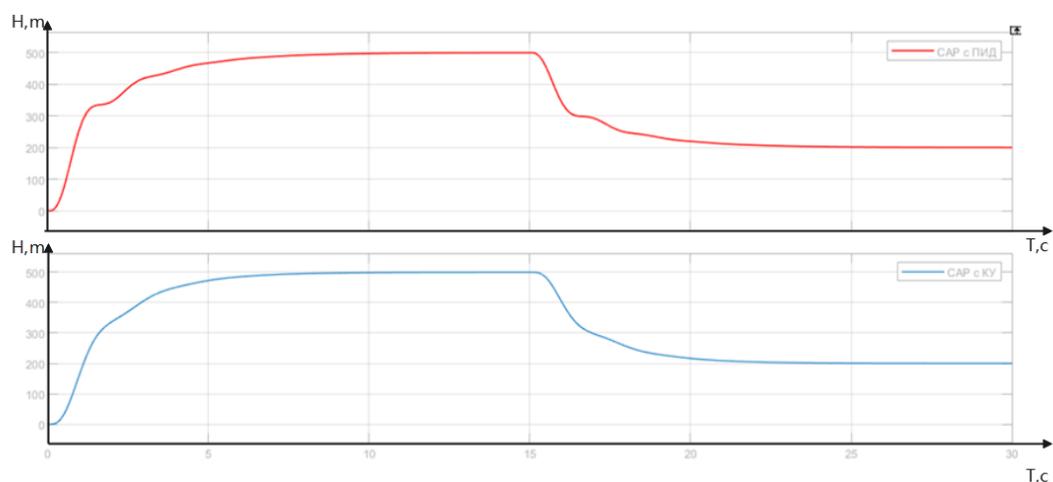


Рисунок 2.13 – Кривые переходных процессов системы стабилизации высоты БПЛА при  $K_0=4$

Время переходного процесса для САР с КУ и без КУ равно 10.5с, 12.4с.

На рисунке 2.14 представлены кривые переходных процессов при  $K_0=8$ .

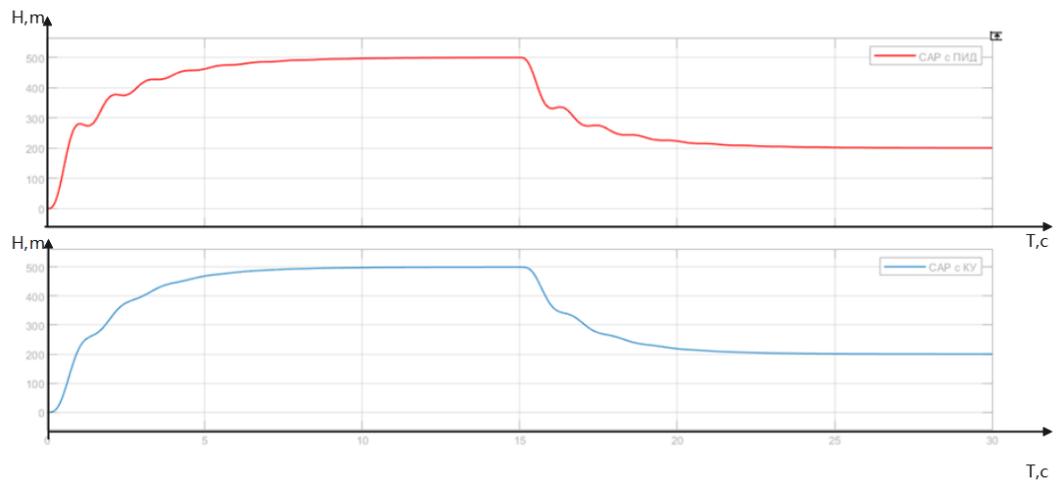


Рисунок 2.14 – Кривые переходных процессов системы стабилизации высоты  
БПЛА при  $K_o=8$

Время переходного процесса для САР с КУ и без КУ равно 11.1с, 12.8с.

На рисунке 2.15 представлены кривые переходных процессов при  $K_o=10$ .

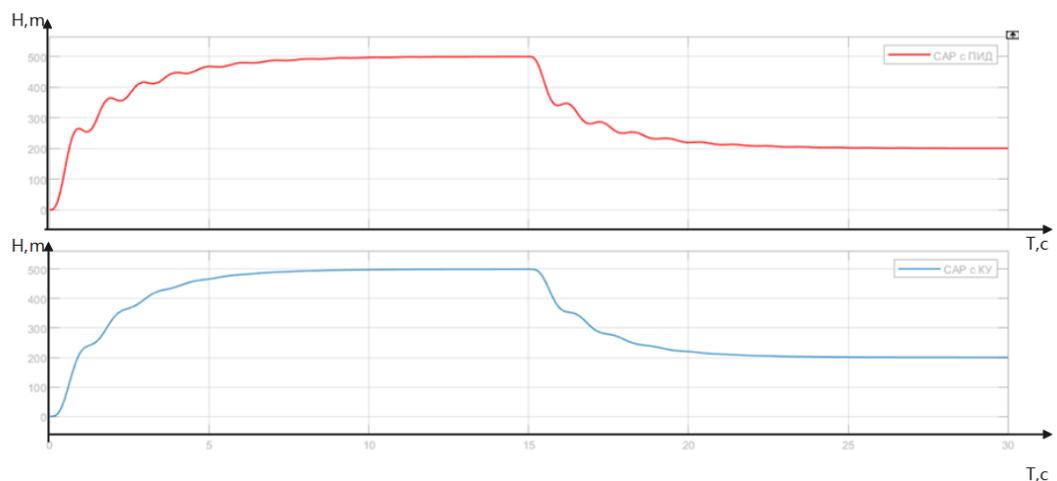


Рисунок 2.15 – Кривые переходных процессов системы стабилизации высоты  
БПЛА при  $K_o=10$

Время переходного процесса для САР с КУ и без КУ равно 11.2с, 13с.

На рисунке 2.16 представлены кривые переходных процессов при  $K_o=20$ .

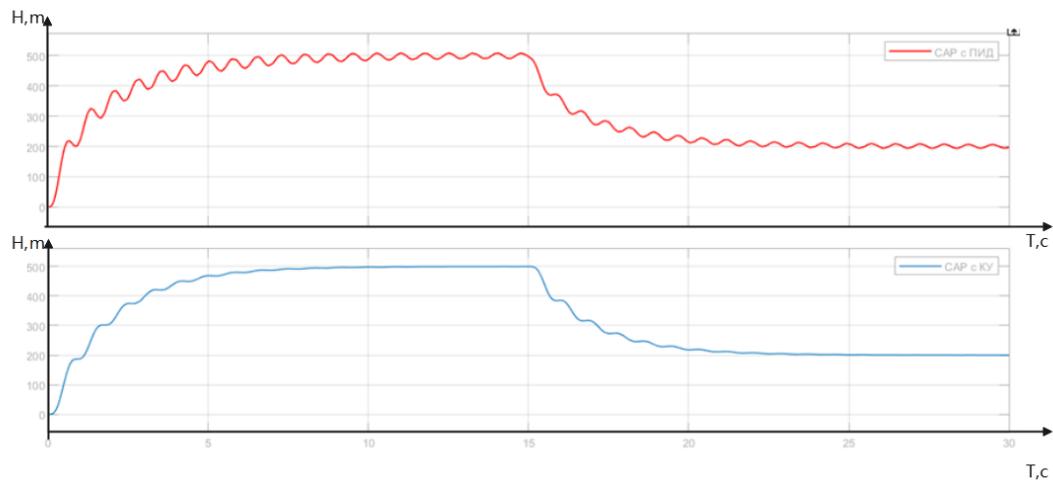


Рисунок 2.16 – Кривые переходных процессов системы стабилизации высоты БПЛА при  $K_o=20$

Время переходного процесса для САР с КУ равно 11.5с.

На рисунке 2.17 представлены кривые переходных процессов при  $K_o=30$ .

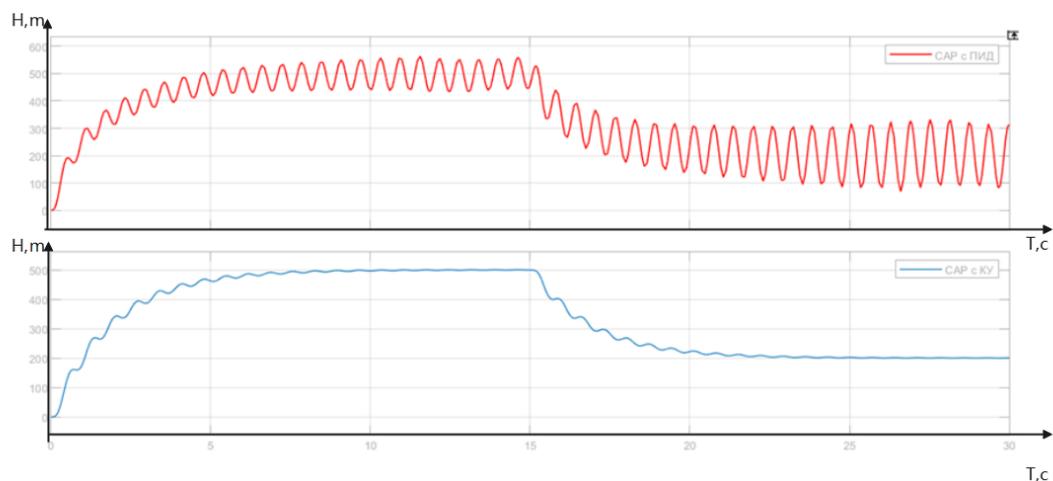


Рисунок 2.17 – Кривые переходных процессов системы стабилизации высоты БПЛА при  $K_o=30$

Время переходного процесса для САР с КУ равно 14с.

Перерегулирование для обеих систем для коэффициента, равного 2, 4, 8, 10, равно нулю. При коэффициенте, равном 20, у системы без КУ появляется перерегулирование, равное 1.6%, а при  $K_o=30$  САУ без КУ становится неустойчивой. В тоже время САР с корректирующим устройством сохранять устойчивость.

Результаты исследования показывают, что регулятор с псевдолинейным корректирующим устройством обеспечивает устойчивость в достаточно широком диапазоне изменения статического коэффициента передачи.

Данный диапазон существенно больше диапазона, в котором сохраняет САР с ПД-регулятором.

Быстродействие САР с корректирующим устройством несколько выше по сравнению с САР без КУ.

Кроме исследования работы САР при изменении статического коэффициента передачи проведено также исследование свойств САР при различных декрементах затухания.

Исследования проведены при следующих значениях параметров САУ:

$K_0=2$ ;  $T_{КУ}=0.1\text{с}$ ;  $\zeta=1\text{с}$ ;  $T_1=0,1\text{с}$ ;  $T_2=0,2\text{с}$ ;  $K_{OC}=1$ ;  $T_\Phi=0,5\text{с}$ ;  $T_{И1}=1\text{с}$ ;  $T_{И2}=1\text{с}$ .

Декремент затухания изменялся в диапазоне от 1 до 0.2. На рисунках 2.18-2.23 представлены кривые переходных процессов для значений декремента затухания 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.3, 0.2 соответственно.

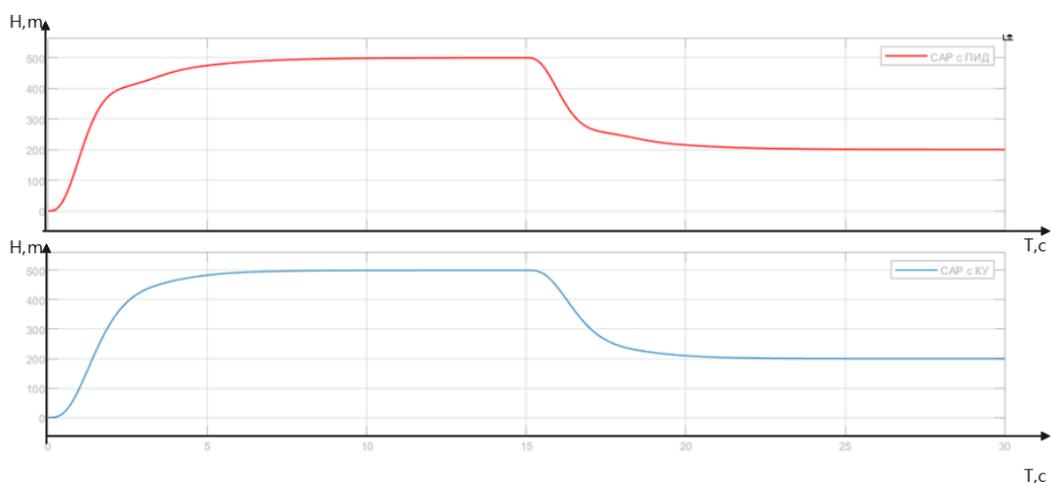


Рисунок 2.18 – Переходные процессы при  $\zeta=1$

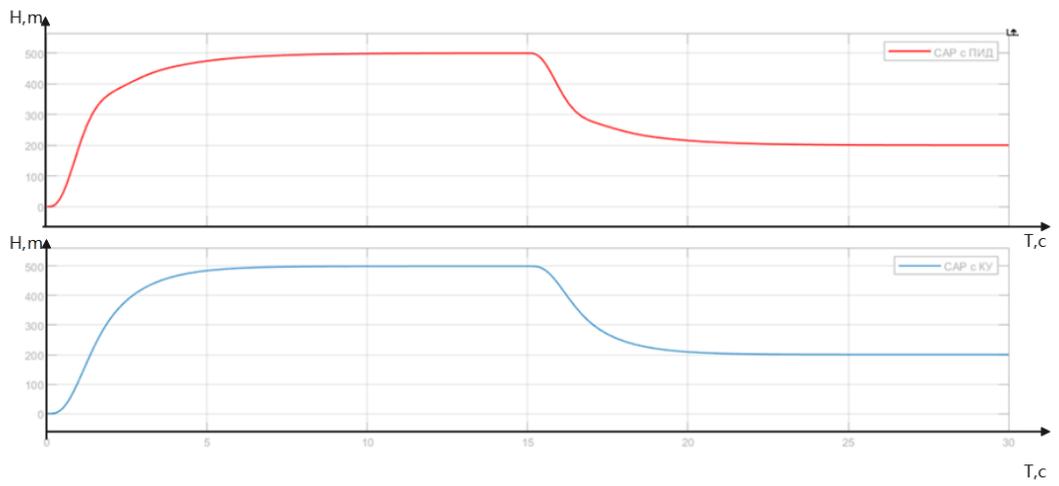


Рисунок 2.19 – Переходные процессы при  $\zeta=0.8$

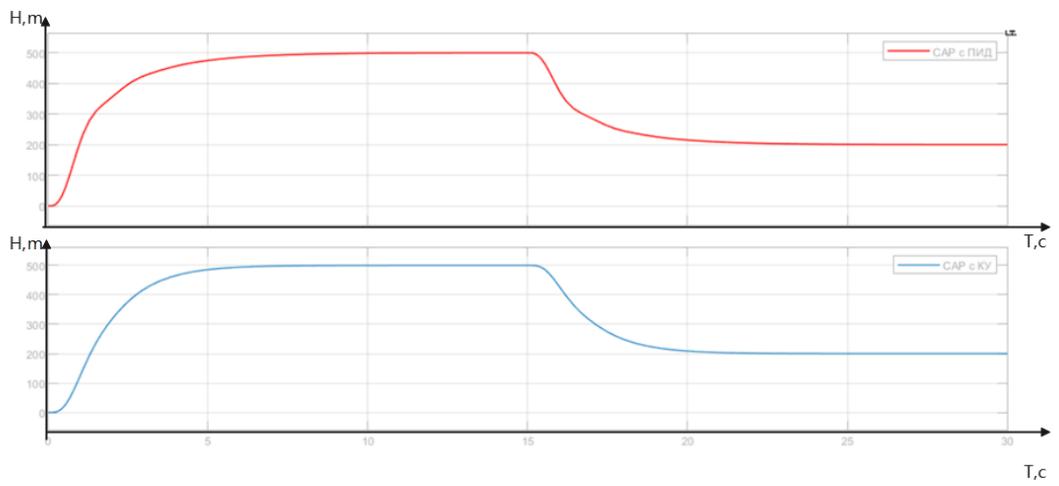


Рисунок 2.20 – Переходные процессы при  $\zeta=0.6$

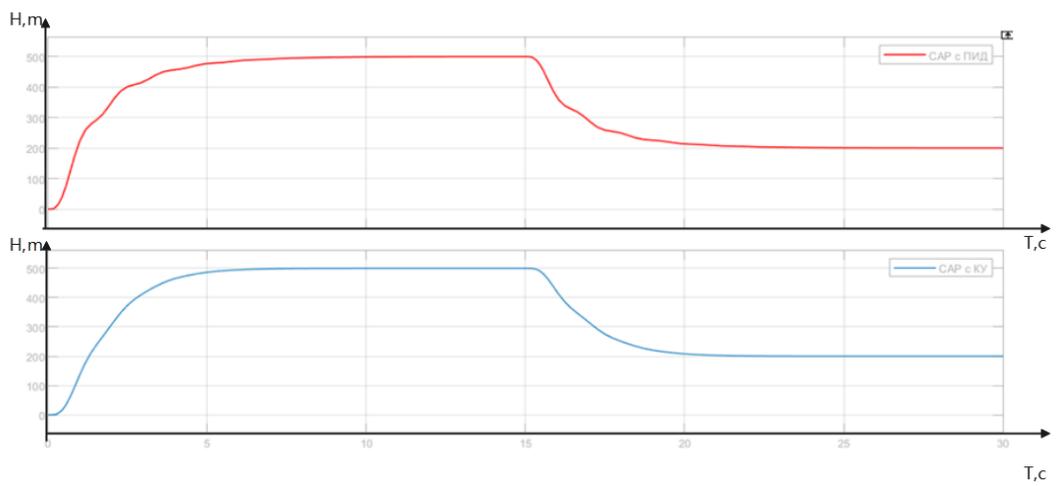


Рисунок 2.21 – Переходные процессы при  $\zeta=0.4$

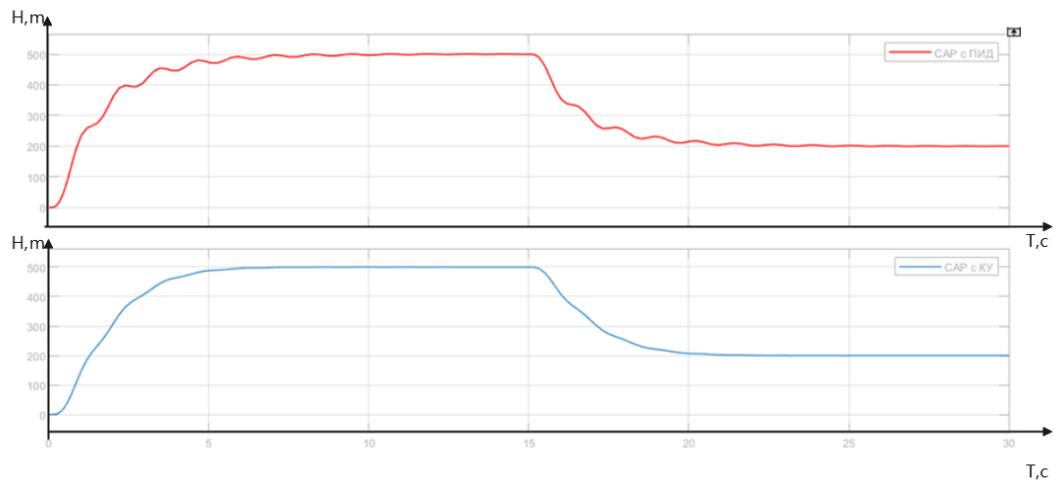


Рисунок 2.22 – Переходные процессы при  $\zeta = 0.3$

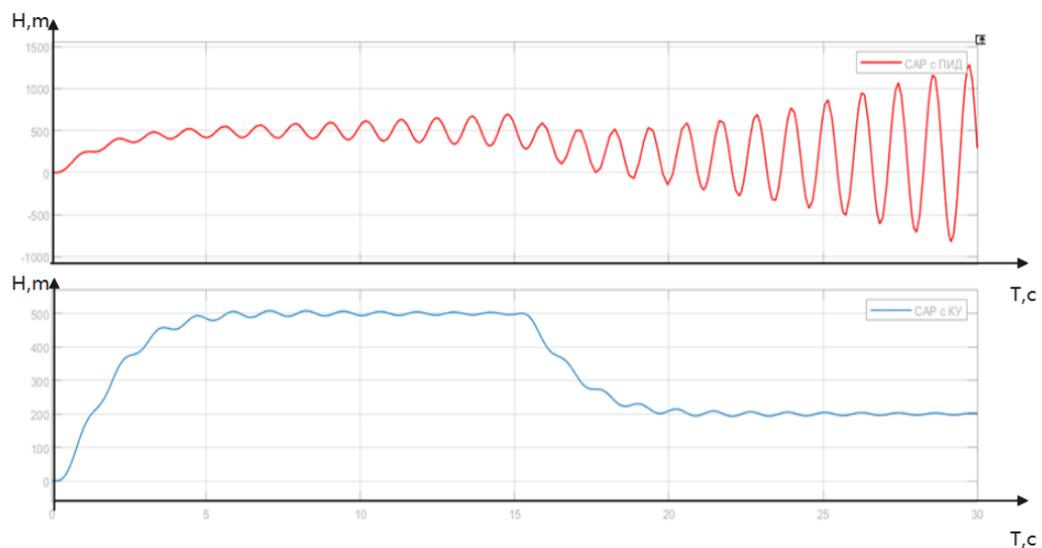


Рисунок 2.23 – Переходные процессы при  $\zeta = 0.2$

Время переходных процессов САР с ПД-регулятором при различных значениях декремента затухания 11.2с, 11.1с, 11с, 10.9с,  $\sigma=0.14\%$  соответственно. Время переходных процессов САР с ПД-регулятором и корректирующим устройством при различных значениях декремента затухания 8.6с, 8.4с, 8.1с, 7.5с, 8.4с,  $\sigma=0.72\%$  соответственно.

Анализ кривых переходного процесса показывает, что перерегулирование в системе с КУ во всем диапазоне изменения декремента затухания не превышает 1%. Система без КУ при значении декремента менее 0.25 становится неустойчивой.

Результаты исследования при изменении статического коэффициента передачи и декремента затухания показывают, что САУ с регулятором с

псевдолинейным корректирующим устройством имеет монотонные переходные процессы в гораздо большем диапазоне изменения этих параметров по сравнению с САУ с ПД-регулятором. Быстродействие системы автоматического регулирования с КУ выше чем системы без КУ.

### 2.3 Исследование системы при изменении постоянной времени корректирующего устройства

### 2.4 Исследование системы при ограничениях на параметры БПЛА и при учёте ветрового возмущения

При выполнении ВКР проводилось исследование системы управления высота с учётом ограничений на угол поворота рулей высоты и тангажа. На рисунке 2.31 представлена структурная схема САУ с учётом этих ограничений.

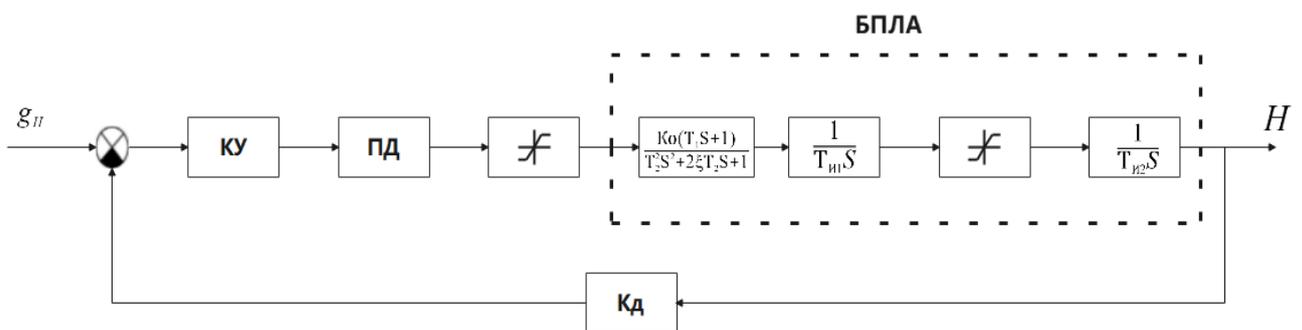


Рисунок 2.31 – Структурная схема САУ с ограничениями на параметры БПЛА

На рисунке 2.32 представлена модель для исследования системы с ограничениями.

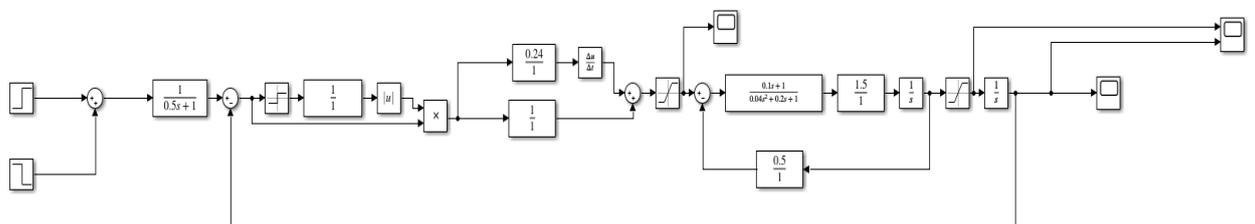


Рисунок 2.32 – Модель для исследования системы с ограничений при  $T_{ку}=0с$

На рисунке 2.33 представлены характер изменения во времени управляющего воздействия и кривая переходного процесса. Угол тангажа

системе ограничивался 40 градусов. Постоянная времени корректирующего устройства была принята, равной нулю.

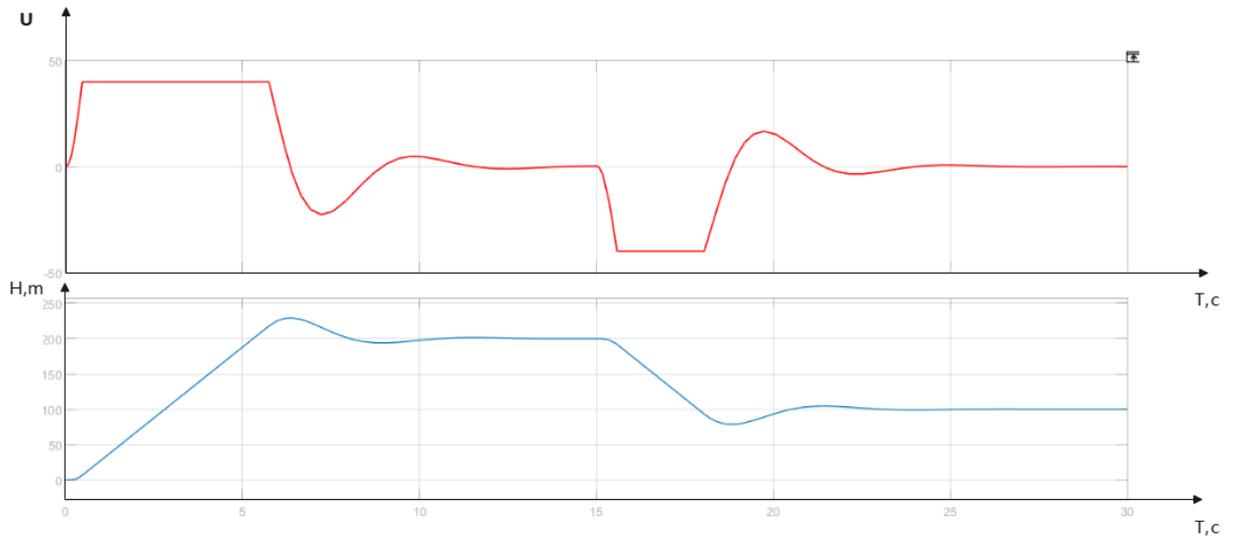


Рисунок 2.33 – Характер изменения во времени управляющего воздействия и кривая переходного процесса при  $T_{ку}=0c$

На рисунке 2.34 представлен характер изменения этих параметров при  $T_{ку}$  равным 15 секундам.

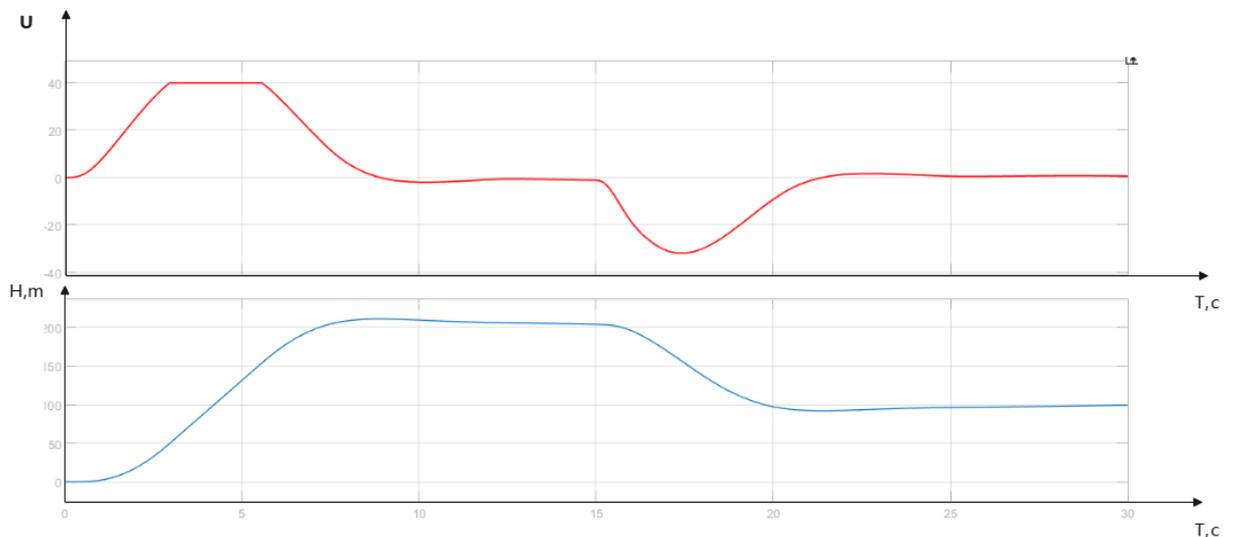


Рисунок 2.34 – Характер изменения во времени управляющего воздействия и кривая переходного процесса при  $T_{ку}=15c$

Таким образом, система с корректирующим устройством обеспечивает устойчивость и монотонность переходных процессов и при учёте ограничений на параметры БПЛА.

В процессе выполнения ВКР проведено исследование работы САР высота при наличии ветрового возмущения. В [3] представлена передаточная функция звена, которым описывается влияние ветрового возмущения на БПЛА. Передаточная функция такого звена имеет вид:

$$W_{ВН}(s) = \frac{K}{T_B s + 1} \quad (2.6)$$

Влияние ветрового возмущения описывается аperiodическим звеном первого порядка [3]. Структурная схема САР высоты с учётом ветрового возмущения приведена на рисунке 2.35.

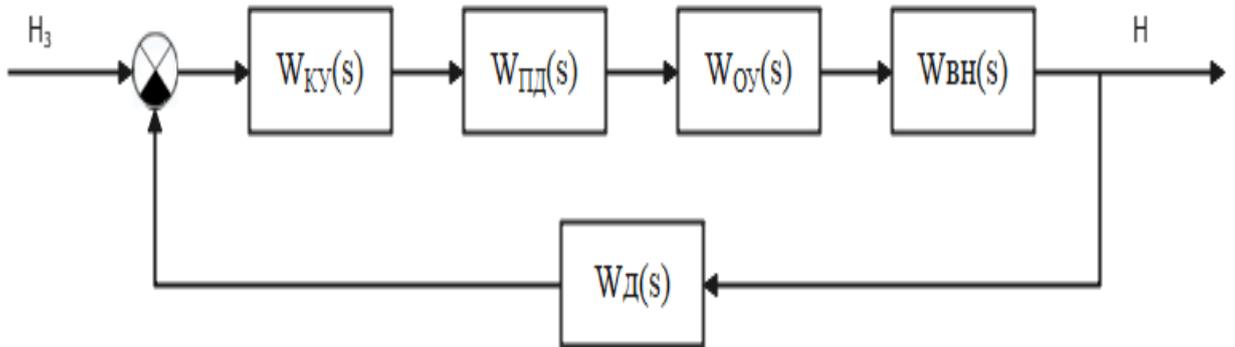


Рисунок 2.35 – Структурная схема САР высоты с учётом ветрового возмущения приведена

На рисунке 2.36 представлена модель исследования САР с учётом ветрового возмущения.

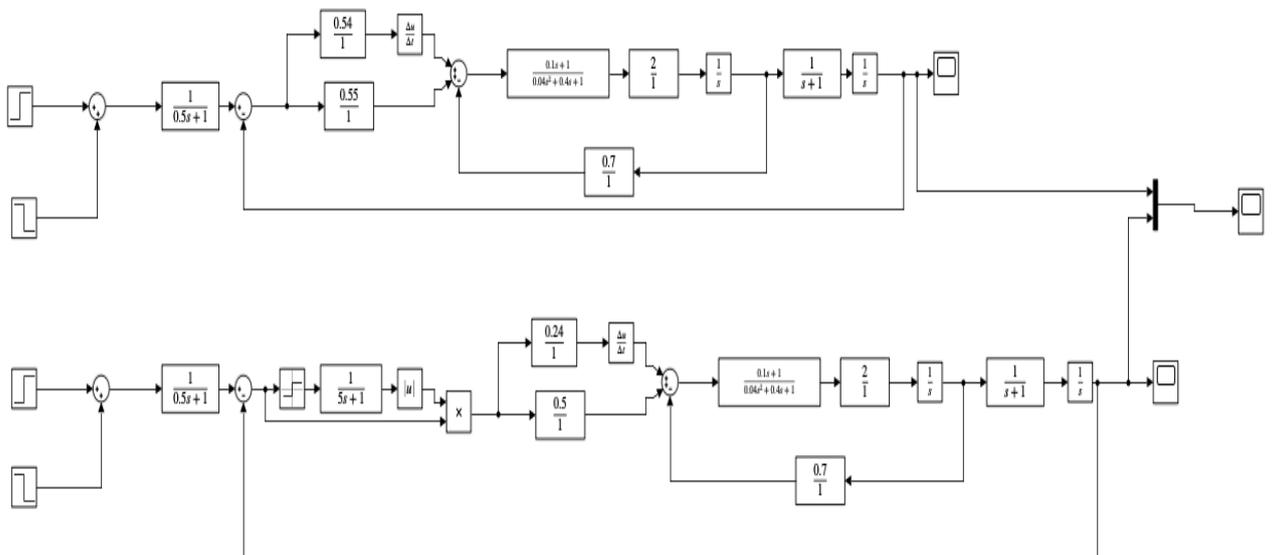


Рисунок 2.36 – модель исследования САР с учётом ветрового возмущения

На рисунке 2.37 представлены кривые переходных процессов в САР без КУ(красная кривая) и с КУ(зелёная кривая).

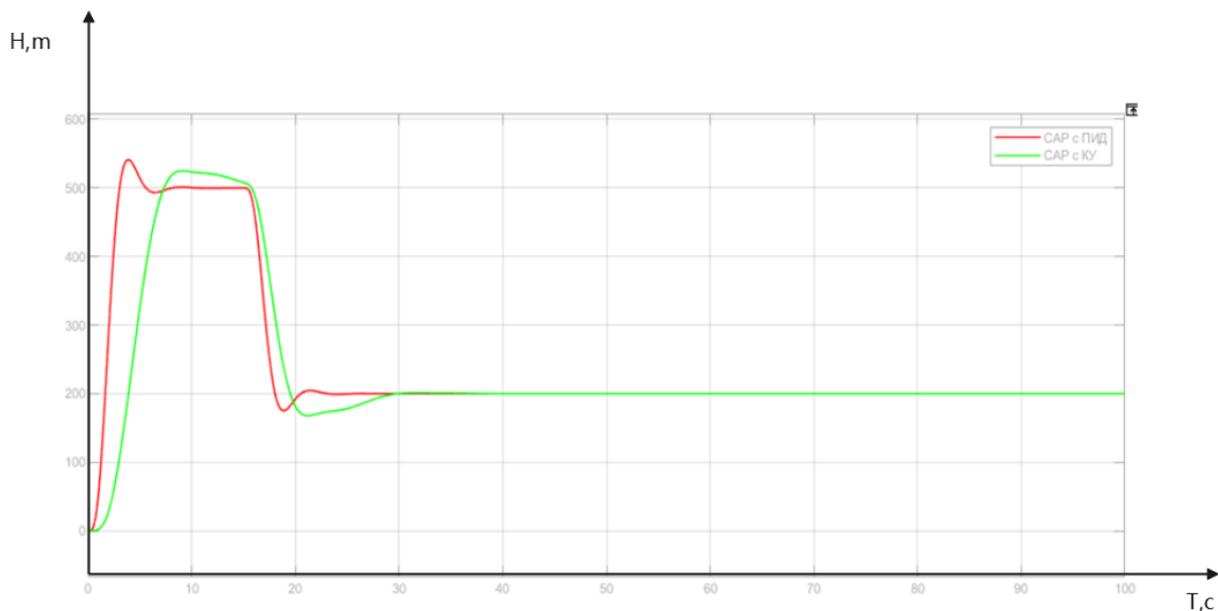


Рисунок 2.37 – Кривые переходных процессов с учётом ветрового возмущения

Таким образом, САР с КУ существенно лучше САР без такого устройства.

## 2.5 Постройка корректирующего устройства

### 3. Программная реализация регулятора с корректирующим устройством

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
158Т91	Жэнь Юйфэй

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>И. Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление /специальность</b>	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- коэффициент дополнительной заработной платы -1,12; - накладные расходы – 16%; - норма амортизации – 5-20%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>Единый тариф страховых взносов - 30%.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Планирование и формирование бюджета	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Диаграмма Ганта
2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
158Т91	Жэнь Юйфэй		

## 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1. Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования

Так как исполнителей два человека, а именно научный руководитель проекта (НР) и инженер (И), предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные виды выполняемых работ сведены в таблицу:

Таблица 4.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инженер
	3	Календарное планирование работ	НР
	4	Исследование модуля высоты полета беспилотного летательного аппарата	Инженер
	5	Проведение лабораторных работ регулятора высоты полета беспилотного летательного аппарата	Инженер
	6	Обработка полученных данных	НР, инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности результатов	НР
Разработка технической	8	Разработка структуры схема САУ, передаточная функция	Инженер

документации и проектирование	9	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инженер
	10	Внесение исправлений в чертежи и доработка описания к ним.	Инженер
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{минi} + 2 \cdot t_{маxi}}{5},$$

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

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

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

Продолжительность каждой работы, учитывающую параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни:

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

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

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

Коэффициент календарности:

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

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

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

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

В таблице 4.2 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях $T_{pi}$		Длительность работ в кал. днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	НР	1,4	-	2,07	-
Поиск и изучение литературы по выбранной теме	1	4	2,2	Инж.	-	2,2	-	3,26
Календарное планирование работ	1	2	1,4	НР	1,4	-	2,07	-
Исследование модуля высоты полета беспилотного летательного аппарата	3	5	3,8	Инж.	-	3,8	-	5,62
Исследование модуля высоты полета беспилотного летательного аппарата	10	20	14	Инж.	-	14	-	20,72

Обработка полученных данных	2	6	3,6	НР, инж.	1,8	1,8	2,66	2,66
Оценка эффективности результатов	1	5	2,6	НР	2,6	-	3,85	-
Разработка структуры схема САУ, передаточная функция	3	10	5,8	Инж.	-	5,8	-	8,58
Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	5	10	7	Инж.	-	7	-	10,36
Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	3	10	5,8	Инж.	-	5,8	-	8,58
Составление пояснительной записки	5	8	6,2	Инж.	-	6,2	-	9,18
Итого	35	82	53,8	-	7,2	46,6	10,6 5	68,96

Таблица 4.3 - График Ганта

№	Вид работы	Исполнитель	$T_{ki}$ , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Апрель			Май			Йюнь				
				10	20	30	10	20	30	10	20	30		
1	Составление и утверждение технического задания	НР	2,07											
2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инж	3,26											
3	Календарное планирование работ	НР	2,07											
4	Подготовка композиционного жидкого топлива для проведения исследований	Инж	5,62											
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	Инж	20,72											
6	Обработка полученных данных	НР, инж	2,66											
7	Оценка эффективности результатов	НР	3,85											
8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Инж	8,58											
9	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним.	Инж	10,36											

Продолжение таблицы 4.3

№	Вид работы	Исполнители	T <sub>ki</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Апрель			Май			Йюнь					
				10	20	30	10	20	30	10	20	30			
10	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инж	8,58												
11	Составление пояснительной записки	Инж	9,18												

■ -Научный руководитель;

■ -Инженер

## 4.2. Бюджет научно-технического исследования

### 4.2.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Таблица 4.4 – Материальные затраты

Наименование материала	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
USB Flash Drive 4	1	500	500
Ручка	1	20	20
Бумага для принтера формата А4	700	1	700
<b>Итого</b>			<b>1220</b>

#### 4.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Расчет затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования t <sub>ОБ</sub> , час	Потребляемая мощность РОБ, к	Затраты Э <sub>ОБ</sub> , руб
Персональный компьютер	350	0,6	1103,96
Контроллер КРОСС	250	0,3	394,26
Итого			1498,22

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{ОБ} * t_{РФ} * n}{F_D}$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{ОБ}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования.

Для ПК (250 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять  $F_D = 250 * 4 = 1000$  часа;

Для контроллера КРОСС  $F_D = 1000$  часов;

trф – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта.

Для ПК trф = 350 часа.

Для контроллера КРОСС ФД trф = 300 часа.

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для определения НА следует обратиться к постановлению правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Оно позволяет получить рамочные значения сроков амортизации (полезного использования) оборудования СА.

Для ПК возьмем СА= 2,5 года. Далее определяется НА как величина обратная СА, в данном случае это  $1/2,5 = 0,4$ .

Для контроллера КРОСС СА= 2,5 года НА= 0,4;

$САМ(ПК) = (0,4 * 90000 * 350 * 1) / 1000 = 12600$  руб;

$САМ(К) = (0,4 * 45000 * 300) / 1000 = 5400$  руб.

Итого начислено амортизации 18000 руб.

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата (ЗПдн-т) рассчитывается по формуле:

$$ЗПдн-т = МО/24,$$

учитывающей, что в году 250 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.4. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.1. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

$$КПР = 1,1; К_{доп.ЗП} = 1,188; Кр = 1,3.$$

Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ . Вышеуказанное значение  $K_{доп.ЗП}$  применяется при шестидневной рабочей неделе.

Таблица 4.6 - Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фондз/плата руб.
НР	25000	1041,67	7	1,699	12388,58
И	12000	500,00	47	1,699	39926,5
Итого					52315,08

$$\text{Отчисления во внебюджетные фонды} = 52315,08 * 0,3 = 15694,52 \text{ руб.}$$

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$\text{Спроч.} = (\text{Смат} + \text{Сзп} + \text{Ссоц} + \text{Сэл.об.} + \text{Сам} + \text{Снп}) \cdot 0,1.$$

$$\text{Для нашего примера это Спроч.} = (1220,00 + 52315,08 + 15694,52 + 1498,22 + 18000,00) \cdot 0,1 = 8872,78 \text{ руб.}$$

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Программно-методическое обеспечение для изучения цифровых регуляторов, построенных на нечеткой логике».

Таблица 4.7 Смета затрат на разработку проект

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	Смат	1220,00
Основная заработная плата	Сзп	52315,08
Отчисления в социальные фонды	Ссоц	15694,52
Расходы на электроэнергию	Сэл.об.	1498,22
Амортизационные отчисления	Сам	18000,00
Прочие расходы	Спроч.	8872,78
Итого		97600,6

#### **4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат исполнения научного исследования. Интегральный финансовый показатель разработки определяется

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проект.

$$I_{\text{финр-текущая-разработка}} = 97600,6/109000 = 0,8954$$

$$I_{\text{финр-вариант-исполнения}} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_p = \sum a * b$$

где  $I_p$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a$  – весовой коэффициент;

b – балльная оценка, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Таблица 4.8 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Оценка	
		Текущий проект	Вариант исполнения
1. Уровень новизны	0,3	4	2
2. Теоретический уровень	0,1	2	2
3. Возможность реализации	0,6	4	4
Итого	1	3,8	3,2

Интегральный показатель эффективности определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{текущая-разработка}} = \frac{I_p}{I_{\text{финр}}} = 3,8$$

$$I_{\text{вариант-исполнения}} = \frac{I_p}{I_{\text{финр}}} = 3,2$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$Э_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{фа}}^p}{I_{\text{фб}}^p}$$

где Э<sub>ср</sub>– сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{фа}}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{\phi^b}^P$  – интегральный технико-экономический показатель аналога

$$\text{Эср} = 3,8 / 3,2 = 1,19$$

Отразим результаты расчета сравнительной эффективности разработки в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Исп1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,0078	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3,2
3	Интегральный показатель эффективности	3,77	3,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,19	

Оценивая бюджет исследования и определяя консолидированные финансовые показатели, можно сделать вывод, что рассчитанные финансовые показатели и консолидированные показатели эффективности показали, что проект является эффективным.

Программа может показать процесс разработки регулятора высоты полета беспилотного летательного аппарата и тем самым повысить уровень знаний студентов в соответствующих областях исследования современных систем автоматизации.

Поэтому проект не ориентирован на экономический результат, а направлен на обеспечение дополнительной программно-методической поддержки студентов по направлению 15.03.04.

#### **4.4. Выводы по разделу**

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 116 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 18 дней.

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 97600,6 руб.

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы: значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0.8954, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
158Т91	Жэнь Юйфэй

<b>ШКОЛА</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОРА</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление /специальность</b>	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

**Тема дипломной работы: «Разработка и программная реализация регулятора высоты полета беспилотного летательного аппарата»**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения)
- Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**
- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
  - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Объект исследования – беспилотный летательный аппарат  
Область применения – робот

Приводится перечень НТД, используемой в данном разделе.

1. Безопасность жизнедеятельности/Под ред. С.В. Белова. - М.: Высш.шк.,1999.
2. Охрана окружающей среды /Под ред.С.В.Белова.-М.:Высш.шк.,1991 г. 9 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы". Утверждены 30.05.2003.
3. Давыдов, Борис Ильич. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В. Антипов. — Москва: Энергоатомиздат, 1984. — 177 с.: ил.: 21 см.
4. Авраамов, Ю. С. Защита человека от электромагнитных воздействий / Ю. С. Авраамов, Н. Н. Грачев, А. Д. Шляпин. — Москва: Изд-во МГИУ, 2002. — 232 с.: ил. — Это важно знать!. — Библиогр.: с. 227-231
5. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
6. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». 22.Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2013. – 671с.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Производственная безопасность</b>  <b>Анализ показателей шума и вибрации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>установление соответствие показателей нормативному требованию;</li> </ul> <p><b>Анализ показателей микроклимата</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>показатели температурные, скорости движения воздуха, запыленности.</li> </ul> <p><b>Анализ освещенности рабочей зоны</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>типы ламп, их количество, соответствие нормативному требованию освещенности;</li> <li>при расчете освещения указать схему размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.</li> </ul> <p><b>Анализ электробезопасности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>наличие электроисточников, характер их опасности;</li> <li>установление класса электроопасности помещения, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления.</li> <li>при расчете заземления указать схему размещения заземлителя согласно проведенному расчету.</li> </ul> <p><b>Анализ пожарной безопасности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>присутствие горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности.</li> <li>категории пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение.</li> <li>Разработать схему эвакуации при пожаре.</li> </ul>	<p><b>Для всех случаев вредных и опасных факторов</b> на рабочем месте указать ПДУ, ПДД, допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты;</li> <li>привести классы электроопасности помещений, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления,</li> <li>категорию пожароопасности помещения,</li> <li>марки огнетушителей, их назначение.</li> </ul> <p>При отклонении показателя предложить мероприятия.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>защита селитебной зоны</li> <li>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Наличие отходов (металлическая стружка, абразивная пыль, черновики бумаги, отработанные картриджи принтера, обрезки электромонтажных проводов) потребовали разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов.</p> <p>Наличие радиоактивных отходов также требует разработки их утилизации.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Рассматриваются 2 ситуации ЧС:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>природная – сильные морозы зимой;</li> <li>техногенная – исключить несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (большая вероятность проведения диверсии).</li> </ol> <p>Предусмотреть мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Сечин Александр Иванович	Д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т91	Жэнь Юйфэй		

## **5. Социальная ответственность**

Целью этой работы является изучение высокоскоростных регуляторов полёта беспилотника и анализ модели с использованием программного обеспечения Matlab, а также реализация программного обеспечения с использованием ISaGRAF и Matlab. Разработка и прохождение квалификационной работы в Томском политехническом университете, 10 корпус, комната 113. Был написан соответствующий программный код и экспериментирован на контроллере, чтобы гарантировать правильность программного кода.

В этой работе был разработан комплекс организационных, правовых, технических и институциональных мер по минимизации негативного воздействия длительного рабочего времени на компьютеры, а также рассмотрены вопросы техники безопасности, экологической и пожарной безопасности и даны рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

Негативного социального или экологического воздействия, связанного с данным проектом, нет, однако в ходе работы по программированию могут образовываться твердые отходы, такие как бумага, лампочки, пищевые отходы и отходы личной гигиены, а также отходы от канцелярских принадлежностей.

### **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Рабочее место должно отвечать требованиям техники безопасности.

Рабочее место – это часть пространства, в котором инженер осуществляет свою трудовую деятельность и проводит большую часть своего рабочего времени.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78, конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места; достаточное рабочее

пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения; необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач; уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное по пространству, форме и размерам, обеспечивает работнику удобное рабочее положение и высокую производительность труда при наименьшем физическом и умственном напряжении.

Работа в вычислительном центре относится ко 2 классу - допустимые условия труда, при которых уровень факторов внешней среды и трудовых процессов не превышает уровней, установленных гигиеническими нормами рабочего места, и изменения конечного функционального состояния организма восстанавливаются во время планового отдыха. или в начале следующей смены. Федеральная инспекция труда, государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости (Минтруд России) Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека существо (Госсанэпид).

Основополагающими можно считать следующие положения ТК РФ, касающиеся организации труда:

1. Организация рабочих мест.
2. Регулировка трудовых отношений.
3. Рабочее время и свободное время сотрудников.
4. Оплата и нормирование труда.
5. Ответственность за нарушение законодательства о труде и иных актов, содержащих нормы трудового права.

Основными элементами рабочего места программиста или оператора являются стол и стул. Основное рабочее положение сидя.

В лаборатории соблюдены все вышеперечисленные организационные требования, кроме возможности регулировки спинки кресла.

Удачной компоновкой рабочей зоны является размещение информационных панелей вдоль одной из стен помещения с размещением оператора на вершине угла (не более  $90^\circ$ ), образованного линиями, начинающимися с концов панели. В самом деле, при взгляде на показания прибора сбоку разрешенный угол обзора составляет  $45^\circ$  по отношению к нормали к панели; большие углы приводят к значительным искажениям.

Человек, работающий за ПК, должен сидеть прямо, опираясь на спинку в области нижнего края лопаток, не сутулясь, с небольшим наклоном головы вперед (до  $5-7^\circ$ ). Предплечья должны опираться на поверхность стола, что способствует снятию статического напряжения с плечевого пояса и рук.

Рабочее место должно быть оборудовано подножкой шириной не менее 300 мм, глубиной не менее 400 мм, регулировкой по высоте до 150 мм и углом наклона поверхности подножки до  $20^\circ$ . Поверхность подставки для ног должна быть рифленой и иметь выступ на переднем крае высотой 10 мм.

## **5.2. Производственная безопасность**

### **5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования при эксплуатации и внедрении**

Работы по исследованию и реализации корректирующего устройства относятся к категории работ, связанных опасными и вредными производственными факторами.

Анализ выявленных опасных и вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого объекта приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Вредные и опасные факторы в регуляторах с динамической коррекцией амплитуды

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Вредные факторы: 1.Микроклимат.	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
2.Недостаток освещения.	СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение; ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
3.Повышенный уровень шума и вибрации.	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность
4.Вредные вещества.	ГОСТ 12.1.007-76, Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
5.Психофизические факторы – физические нервно-психические перегрузки, перенапряжение анализаторов, монотонность труда.	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности».
Опасные факторы: 1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных	ГОСТ EN 407-2012 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты рук. Перчатки для

объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;	защиты от повышенных температур и огня. Технические требования.
2. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов.	ГОСТ 12.0.230-2007. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования.
3.Повышенная напряжённость электрического поля.	ГОСТ 12.1.038-82* "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.
4.Короткое замыкание.	ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
5.Статическое электричество.	ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.

Выявленные факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмо-опасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

### 5.2.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

#### 1) источник возникновения фактора

Нестандартное освещение, нестандартные параметры микроклимата, чрезмерный шум, излучение и токи, запыленность и загазованность воздуха в рабочей зоне, вибрация, движущиеся детали машин и механизмов, образование промышленных отходов, взрыво- и пожароопасность и другие чрезвычайные ситуации.

#### 2) воздействие фактора на организм человека

Нестандартное освещение может вызвать зрительное напряжение и усталость у экспериментатора; чрезмерный шум, излучение и токи, пыль и загрязнение воздуха в рабочей зоне могут вызвать слуховое и психическое напряжение у экспериментатора; вибрация, движущиеся детали машин и механизмов, образование промышленных отходов, опасность взрыва и пожара и другие чрезвычайные ситуации потенциально могут создать угрозу личной безопасности экспериментатора.

3) приведение допустимых норм с необходимой размерностью, а также при возможности проводится анализ на соответствие нормам

С целью предупреждения вредного необходимо, чтобы его уровень на рабочих местах с ПК не превышал допустимых значений (50дБА), установленных СП 51.13330.2011.

Для уменьшения шума в помещении с ПК, как правило, применяют метод акустической обработки помещений, используя для облицовки ограждающих поверхностей звукопоглощающие материалы с максимальными коэффициентами звукопоглощения ( $\alpha$ ) в интервале частот (63 – 8000) Гц.

4) предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные) для минимизации воздействия фактора

Режим работы оборудования был рационализирован за счет применения электронных приборов с низким уровнем излучения, использования специально организованного освещения, а также выдачи персоналу лаборатории спецодежды, защитных масок и защитной обуви.

### **5.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)**

#### **5.2.3.1 Анализ условий труда на рабочем месте.**

Рабочее место располагается на 1 этаже в Томском политехническом университете, корпусе 10, комнате 113. помещение представляет собой комнату размером 10 м на 5 м, высотой 3 м, 2 окон выходящих на запад, в помещении находится 8 единиц технологического оборудования

К числу опасных факторов следует отнести:

1. Излучение и статическое электричество, возникающие при работе оборудования;
2. Пыль, образующаяся при работе машин и оборудования;
3. Неестественный свет от работы компьютеров и другого электронного оборудования.

Коллективная и индивидуальная защита от всех вредных и опасных элементов на рабочем месте:

1. При проведении тестов надевайте перчатки, защитную маску, защитную обувь и т.д.;
2. Во время работы добавляйте в лабораторию естественное освещение;
3. Сократите продолжительность одного сеанса.

### 5.2.3.2 Анализ показателей микроклимата

Требования к параметрам микроклимата определяются согласно СанПин 2.2.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения (значительные или незначительные тепловыделения). Допустимые параметры микроклимата, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Микроклимат производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура окружающих поверхностей, °С	Скорость движения воздуха, м/с	Относительная влажность воздуха, %
Холодный	23-25	21-25	0.1	40-60
Теплый	20-22	22-26	0.1	40-60

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях

соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

### 5.2.3.3 Анализ показателей шума и вибрации

Машинный шум, превышающий нормальные пределы, влияет на центральную нервную систему человека, вегетативную нервную систему и органы слуха. Он ослабляет внимание, ухудшает память, снижает реакцию и увеличивает количество операционных ошибок. На рабочем месте шум создается следующими источниками: системой охлаждения ПК и печатающим механизмом принтера.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда и ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

В таблице 5.3 приведены максимальные уровни шума в зависимости от категории тяжести и интенсивности труда, безопасные для здоровья и работоспособности.

Таблица 5.3 Допустимые уровни звукового давления и уровня звука на рабочих местах

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в активной полосе частот, Гц								Уровни звука, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
А	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50дБА. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены ПЭВМ, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами.

Согласно GOST 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Задачей обеспечения вибрационной безопасности является предотвращение условий, при которых воздействие вибрации могло бы привести к ухудшению состояния здоровья работников, в том числе к

профессиональным заболеваниями, а также к значительному снижению комфортности условий труда (особенно для лиц профессий, требующих при выполнении производственного задания исключительного внимания во избежание возникновения опасных ситуаций, например водителей транспортных средств).

Вибрация, создаваемая машинами, механизированным инструментом и оборудованием (далее - машины), способна привести как к нарушениям в работе и выходу из строя самих машин, так и служить причиной повреждения других технических и строительных объектов. Это может повлечь за собой возникновение аварийных ситуаций и, в конечном счете, неблагоприятных воздействий на человека, получение им травм.

Мы можем решить эту проблему, например, следующим образом, применить энергоэффективные комплектующие, провести настройку и снизить напряжения, избавиться от классических HDD и большинства вентиляторов. Например, установить процессор со сниженным тепловыделением и систему жидкостного охлаждения с огромным радиатором и низкооборотистыми вертушками. В контур жидкостного охлаждения можно добавить и видеокарту, а шумные винчестеры заменить на современные твердотельные накопители.

#### **5.2.3.4 Анализ освещенности рабочей зоны**

При длительной работе в условиях недостаточной освещенности или нарушении параметров световой среды, происходит негативное воздействие на организм человека, такое как: развитие близорукости, головная боль, ухудшение зрения и пр.

Согласно СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение и ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.:

1. Минимальное естественное освещение должно быть  $E_n = 1,2$  К.Е.О.
2. Минимальная освещенность при работе ПЭВМ составляет  $E_t = 300$  лк.

3. Освещенность рабочего стола должна быть не менее 300 лк, что может достигаться установкой местного освещения.

4. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. Следует ограничивать отраженную блесккость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура) за счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>.

5. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

### 5.2.3.5 Анализ электробезопасности

Электромагнитные поля оказывают специфическое воздействие на ткани человека. Ткани человека при воздействии полей с интенсивностью выше предельно допустимого уровня испытывают нарушения сердечно-сосудистой и нервной систем, органов дыхания и нервной системы. Нарушения сердечно-сосудистой и нервной систем, органов дыхания и нервной системы при воздействии интенсивности выше предельно допустимого уровня.

Источники электромагнитного излучения. Источниками электромагнитного излучения являются компьютеры, блоки питания, трансформаторы, сетевое оборудование, источники индуцированных токов и т.д.

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, (В/м) <sup>2</sup> × ч	По магнитной составляющей, (А/м) <sup>2</sup> × ч	По плотности потока энергии (мкВт/см <sup>2</sup> ) × ч
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	-
3 - 30 МГц	7000,0	Не разработаны	-
30 - 50 МГц	800,0	0,72	-
50 - 300 МГц	800,0	Не разработаны	-
300 МГц - 300 ГГц	-	-	200,0

### 5.2.3.6 Анализ пожарной безопасности

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения пожарной безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются следующие задачи:

возгорание; локализация возникших пожаров; защита людей и материальных ценностей; предотвращение пожаров; тушение пожара.

Для предотвращения пожаров необходимо:

1. Рабочие должны быть проинструктированы о мерах предосторожности и проведены инструктажи.

2. В каждом цехе должны быть предусмотрены меры по эвакуации.

3. Обязаны присутствовать средства пожаротушения (в качестве первичных средств пожаротушения пенные огнетушители ОХВП-10, углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5, и ОУ-8 1-у штуку на 700м<sup>2</sup> площади, ящики с песком 1-ин на 500м<sup>2</sup> площади).

4. Инструкции о том, что делать в случае пожара, должны быть вывешены в доступном месте с указанием последовательности действий и плана эвакуации номер телефона экстренной службы для сообщения о чрезвычайных ситуациях.

5. Должна быть предусмотрена звуковая пожарная сигнализация.

6. Система пожарной сигнализации должна быть интегрирована в систему циркуляционной пожарной сигнализации завода/рабочего мест.

### **5.3. Экологическая безопасность**

Воздействие на селитебную зону: При выполнении работ возникают шум, вибрация и другие вредные вещества. С учетом мероприятий по снижению вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека можно установить размеры ориентировочных санитарно-защитных зон: предприятия V класса — 50м;

Воздействие на литосферу: не разлагаемые твердые металлические или пластмассовые отходы, утилизация люминесцентных ламп, макулатуры и микросхем отработавшего оборудования;

Хранение и удаление отходов (в данном случае - люминесцентных ламп) осуществляются в соответствии с требованиями экологической безопасности. Наполненную тару с отходами закрывают герметически стальной крышкой, при необходимости заваривают и передают по договору специализированным

предприятиям, имеющим лицензию на их утилизацию. Программируемые логические контроллеры, могут утилизироваться, так как не содержат токсических материалов. Для безопасной с точки зрения охраны окружающей среды утилизации и удаления старых устройств необходимо обратиться к компании фирмы производителя, имеющей сертификат на утилизацию и удаления лома электронного оборудования.

По истечении срока службы ПК их можно отнести к отходам электронной промышленности. Пластиковые детали ПК проходят термообработку при высоких температурах без контакта с воздухом. Компьютерные компоненты и печатные платы, содержащие тяжелые металлы и антипирены, при горении могут выделять вредные диоксиды углерода. Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, способные утилизировать теплоту сгорания. Однако стоимость этого метода очистки высока, поэтому нельзя исключать возможность токсичных выбросов. Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах.

Воздействие на гидросферу: хладагент лабораторного оборудования сбрасывается в реки или озера, продукты жизнедеятельности персонала;

Происходит загрязнение воды и воздействие на водные ресурсы в результате образования отходов на производстве.

Нормативные требования должны соблюдаться отношения в области охраны водных ресурсов.

Для обеспечения безопасного использования водных объектов применяются следующие меры

1. Оснащение отдельных бытовых и коммерческих систем.
2. Раздельные системы санитарной и ливневой канализации.

При выполнении работы влияние на атмосферу не происходит.

#### **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация относится к серии опасных событий или событий или явлений, которые приводят к нарушению безопасности жизнедеятельности.

Эти события включают в себя: высокие и низкие температуры, физический стресс, чрезмерные токсические дозы сильнодействующих веществ, высокие дозы радиации, производственный шум и вибрация, и многое и многое другое может привести к нарушению жизнедеятельности людей.

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций носят, прежде всего, внутренний характер и включают в себя: физическое и устаревшее оборудование, низкая трудовая и техническая дисциплина, недостатки проектирования и конструирования, сложные технологии, недостаточная квалификация персонала. Во-вторых, внешние чрезвычайные ситуации, такие как стихийные бедствия, неожиданные отключения электроэнергии, нехватка воды и продовольствия, терроризм, война и стихийные бедствия, стихийные бедствия, неожиданные перебои с подачей электроэнергии, воды и продовольствия, терроризм и война.

### **Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Для предупреждения возгораний в помещении необходимо соблюдать следующие мероприятия:

1. соблюдать установленный режим эксплуатации электрических сетей, компьютеров и других устройств;
2. соблюдать противопожарные нормы и правила при установке оборудования;
3. проводить технические осмотры и планово-предупредительные ремонты оборудования и технических средств противопожарной защиты и пожаротушения (огнетушители) согласно утвержденного графика.

Рабочее место оператора поста управления, должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

В помещении должен быть установлен углекислотный огнетушитель типа ОУ-5 для тушения пожаров.

При возникновении пожара здание необходимо покидать в соответствии с планом эвакуации, которые размещены на каждом этаже (рисунок 5.1).

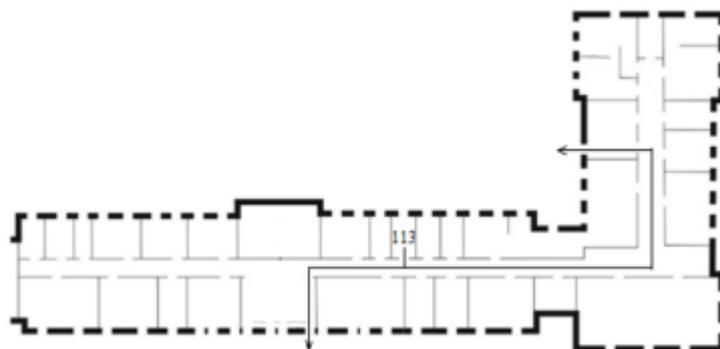


Рисунок 5.1.-План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещения учебного корпуса №10, пр. Ленина, 2 – 1 этаж, 113 аудитория

Для защиты жизни и здоровья персонала следует применять следующие основные мероприятия, являющиеся составной частью мероприятий ЧС:

1. эвакуацию из зон ЧС;
2. использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов;
3. проведение мероприятий медицинской защиты;
4. проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах ЧС;
5. выполнение эколого-защитных, отраслевых или ведомственных требований и правил;
6. проведение комплекса организационных, экономических, эколого-защитных, санитарно-гигиенических, санитарно-эпидемиологических и специальных мероприятий.

## 5.5. Заключение

В этом разделе рассматриваются вопросы социальной ответственности и юридической безопасности при проведении испытаний. В нем также

анализируются соответствующие положения законодательства и техники безопасности.

На исследованных рабочих местах все производственные факторы соответствуют стандартам. Согласно Правилам электробезопасности, категория помещения соответствует категории 1 - "нет помещений повышенной опасности". Согласно Правилам по охране труда, при эксплуатации электроустановок персонал должен иметь допуск по электробезопасности 1 группы. Тяжелые работы в лабораториях относятся к категории Ib согласно 1.2.3685-21 "Санитарные правила и требования к обеспечению безопасных и безопасных условий труда людей".

Пожар является наиболее типичной чрезвычайной ситуацией. Соблюдение правил и мер, рекомендованных в данном разделе, поможет избежать чрезвычайных ситуаций.

## Заключение

Предложен и исследован регулятор для системы управления высотой беспилотного летательного аппарата. Результаты исследования показали, что применение предложенного регулятора позволяет улучшить качество системы управления и обеспечить устойчивость САР при изменении свойств и параметров объекта управления.

Предложен способ подстройки регулятора. Работоспособность регулятора и способа подстройки проверены путем моделирования в ПП Matlab.

Разработано программное обеспечение регулятора в среде ISaGRAF для контроллера КРОСС 500.

### Список использованных источников

1. Хлыпало Е.И. Нелинейные системы автоматического регулирования (расчет и проектирование). - Л.: Энергия, 1967. – 450 с.
2. Хлыпало Е.И. Расчет и проектирование нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах. - Л.: Энергоиздат, 1982. – 271 с.
3. В.А. Малкин, И.В. Рожков, А.А. Санько. Влияние ветровых возмущений и нелинейностей сервопривода на контур стабилизации высоты полета беспилотного летательного аппарата. // Системный анализ и прикладная информатика. – 2019. – № 2. – С. 23-30.
4. Лобатый, А.А. Идентификация упрощенной математической модели беспилотного летательного аппарата / А.А. Лобатый, Ю.Ф.Яцына, С.С. Прохорович, Е.А. Хвилько // Системный анализ и прикладная информатика, 2020. № 2. С. 26–31.
5. Ю.В. Гриднев, А.Г. Иванов. Робастный автопилот канала тангажа беспилотного летательного аппарата. // Доклады БГУИР. – 2017. – № 3. – С. 40-44.
6. Куликов В.Е. Аналитический синтез контура траекторного управления самолетом методом формирования желаемых корней динамической звеньев в характеристическом полиноме замкнутой системы / В.Е. Куликов, В.В. Куликов // Системный анализ и прикладная информатика, 2015. № 11. С. 2–20.
7. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
8. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
9. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
11. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2013. – 671с.

## Приложение А

(Справочное)

Описание функциональных блоков

### DIN - Динамическое преобразование

Алгоритм применяется для динамической коррекции систем управления в тех случаях, когда требуется интегрально-дифференцирующее преобразование сигнала.

Описание алгоритма

Алгоритм реализует передаточную функцию:

$$W(p)=Y(p)/X(p)=K_m*(T_2*p+1)/(T_1*p+1);$$

где  $K_m$  коэффициент усиления;

$T_1$  и  $T_2$  постоянные времени.

Входы-выходы алгоритма DIN приведены в таблице П.1, функциональная схема - на рисунке П.1.

**Таблица П1. - Входы-выходы алгоритма DIN**

Номер	Тип	Обозначение	Вх-Вых	Назначение
01	REAL	X	Вход	Основной вход
02	REAL	$K_m$		Коэффициент усиления
03	REAL	$T_1$		Постоянная времени знаменателя
04	REAL	$T_2$		Постоянная времени числителя
01	REAL	Y	Выход	Основной выход

Функциональная схема алгоритма  
DIN - динамическое преобразование

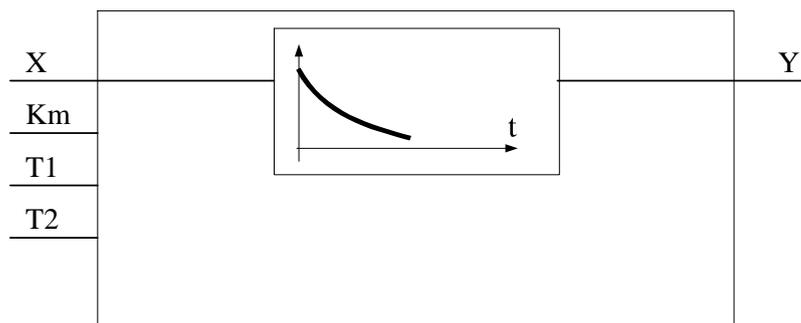


Рисунок П1-Функциональная схема

**CrAio - Алгоритм аналогового ввода-вывода**

Алгоритм CrAio предназначен для чтения значений на аналоговых входах и установки значений на аналоговых выходах модуля AIO1-8/4.

Входы-выходы алгоритма CrAio приведены в таблице П2.

**Таблица П2 -Входы-выходы алгоритмов ввода-вывода CrAio**

Номер	Тип	Обозначение	Вх- Вых	Назначение
01	INT	Addr	Вход	Адрес модуля
02	INT	Cell		Равен 0
03	MSG	Pars		Строка параметров
04 - 07	REAL	X1- X4		Значения выходных каналов модуля
01	INT	Err	Выход	Код ошибки
02 – 09	REAL	Y1 – Y8		Значения входных каналов модуля

**RAN - Регулирование аналоговое**

Алгоритм используется при построении ПИД регулятора, имеющего аналоговый выход. Алгоритм как правило сочетается с пропорциональным исполнительным механизмом (позиционером), либо используется в качестве ведущего в схеме каскадного регулирования.

Помимо формирования ПИД закона в алгоритме вычисляется сигнал рассогласования, этот сигнал фильтруется, вводится зона нечувствительности. Выходной сигнал алгоритма ограничивается по максимуму и минимуму.

Функциональная схема алгоритма содержит несколько звеньев. Звено, выделяющее сигнал рассогласования, вычисляет разницу двух входных сигналов.

Сигнал рассогласования  $\varepsilon$  на выходе этого звена равен:

$$\varepsilon = X_{zdn} - X_{in},$$

Зона нечувствительности не пропускает на свой выход сигналы, значения которых находятся внутри установленного значения зоны. Сигнал  $\varepsilon_2$  на выходе этого звена равен:

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= 0 && \text{при } |\varepsilon| \leq X_{dlt}; \\ \varepsilon_2 &= (|\varepsilon| - X_{dlt}) * \text{sign } \varepsilon && \text{при } |\varepsilon| > X_{dlt}, \end{aligned}$$

где  $X_{dlt}$  - зона нечувствительности.

ПИД-звено выполняет пропорционально-интегрально-дифференциальное преобразование сигнала и имеет передаточную функцию:

$$W(p) = K_p [1 + 1/(T_i * p) + K_d * T_i * p / (1 + 0.125 * K_d * T_i * p)^2],$$

где  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $K_d$  - соответственно коэффициент пропорциональности, постоянная времени интегрирования и коэффициент времени дифференцирования, равный  $K_d = T_d / T_i$ .

Алгоритм RAN может использоваться в качестве П, ПИ или ПД-регулятора.

Для получения П-регулятора следует установить  $T_i = \infty$  и  $K_d = 0$ .

Для получения ПИ-регулятора следует установить  $K_d = 0$ .

Для получения ПД-регулятора следует установить  $T_i = \infty$  (значение  $T_i > 819$  воспринимается как  $T_i = \infty$ ). В этом случае интегральная ячейка аннулируется и алгоритм формирует передаточную функцию:

$$W(p) = K_p [1 + 819 * K_d * p / (1 + 0.125 * 819 * K_d * p)^2],$$

при этом, если  $K_d \leq 1$ , то постоянная времени дифференцирования  $T_d = 819 * K_d$  (с); если  $K_d > 1$ , то  $T_d = \infty$ .

Ограничитель ограничивает выходной сигнал алгоритма по максимуму и минимуму. Уровни ограничения устанавливаются коэффициентами  $X_{max}$ ,  $X_{min}$ .

Помимо двух сигнальных входов  $X_{zdn}$  и  $X_{in}$ , алгоритм имеет 8 настроечных входов, которые задают параметры настройки алгоритма, и два управляющих входа для запрета изменения сигнала в большую или меньшую сторону. Диапазоны параметров настройки - стандартные для алгоритмов. Значение  $X_{dlt} < 0$  воспринимается алгоритмом соответственно как  $X_{dlt} = 0$ .

Алгоритм также содержит узлы статической и динамической балансировок.

Алгоритм имеет 5 выходов. Выход  $Y$  - основной выход алгоритма. На выходе  $Y_{ers}$  формируется отфильтрованный сигнал рассогласования. Выход  $Y_{zdn}$  отображает текущее задание. Два дискретных выхода  $D_{max}$  и  $D_{min}$  фиксируют момент наступления ограничения выходного сигнала  $Y$ . Логика формирования выходных дискретных сигналов определяется таблицей ПЗ (здесь  $Y1$  - сигнал на входе звена ограничения):

<b>Y1</b>	<b>Y</b>	<b>Dmax</b>	<b>Dmin</b>
$X_{min} < Y1 < X_{max}$	$Y = Y1$	0	0
$Y1 \geq X_{max}$	$Y = X_{max}$	1	0
$Y1 \leq X_{min}$	$Y = X_{min}$	0	1

Алгоритм будет правильно работать, только если  $X_{max} > X_{min}$ .

Рассмотрим режимы работы. Команда перехода в ручной режим поступает на вход  $S_{rush}$  алгоритма. Значение начальных условий  $Y_0$  – это значение на выходе  $Y$  непосредственно перед переключением в ручной режим. В ручном режиме работа алгоритма изменяется следующим образом:

Интегральная ячейка ПИД звена «заряжается» до значения  $Y_i = Y_0 - K_p * \epsilon_2$ .

Д - составляющая обнуляется.

На выход  $Y$  записывается значение со входа  $X_{ruch}$ , оно же транслируется в интегральную ячейку (как правило, на вход  $X_{ruch}$  подается значение с выхода алгоритма RUC или UPR).

При включенной статической ( $C_{sb} = 1$ ) или динамической ( $C_{db} = 1$ ) балансировке алгоритм работает следующим образом: в ручном режиме узел соответствующей балансировки вырабатывает сигнал компенсации, равный  $X_{in} - X_{zdn}$ , который затем при переключении в автоматический режим прибавляется к внешнему сигналу задания. Компенсированное значение задания подается на выход  $Y_{zdn}$ .

Таким образом, в первый момент после переключения выходной сигнал  $Y$  сохраняется неизменным. Затем, если включена динамическая балансировка, сигнал компенсации уменьшается (по модулю) до нуля с постоянной скоростью, задаваемой входом  $V_{db}$ , при этом выходной сигнал  $Y$  плавно (безударно) переходит к текущему (вычисленному) значению. Приоритетом обладает статическая балансировка.

В режим запрета алгоритм переходит в двух случаях:

по собственной инициативе, когда выходной сигнал ПИД-звена вышел за установленные пороги ограничения;

если команда запрета поступает извне на входы  $C_{zb}$  или  $C_{zm}$ .

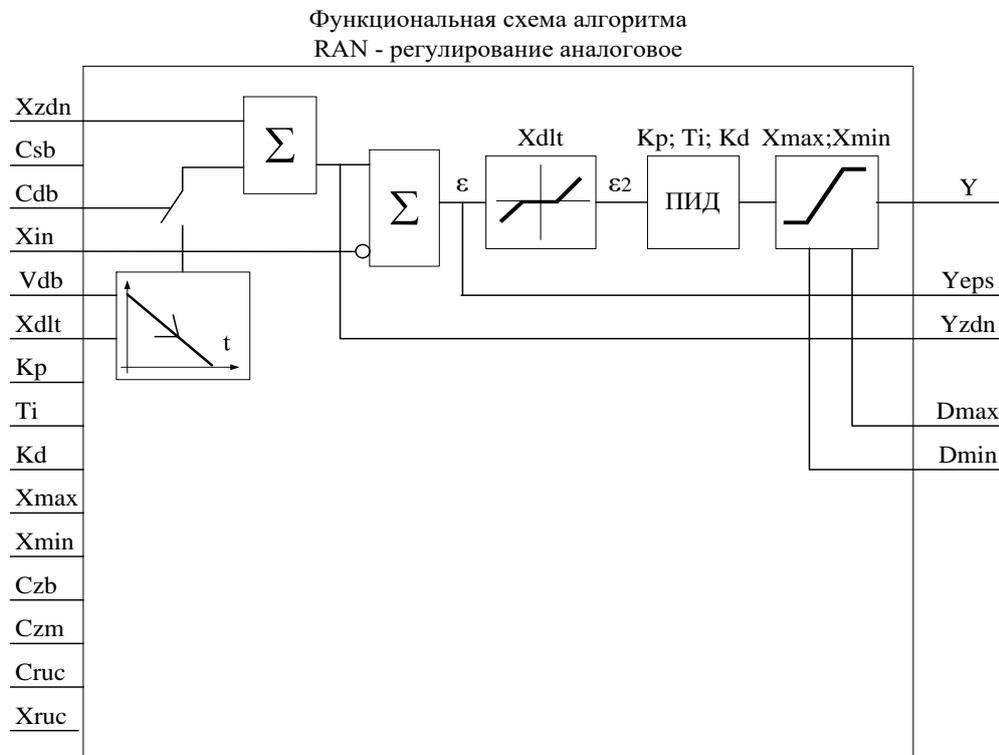
В любом случае в режиме запрета блокируется изменение выхода алгоритма в запрещенном направлении.

В остальном работа алгоритма в режиме запрета не изменяется.

При работе в ручном режиме сигнал  $X_{ruch}$ , «навязанный» алгоритму извне, может выйти за пороги ограничения. Ограничитель не препятствует этому, но после перехода в автоматический режим изменение выходного сигнала возможно лишь в направлении, приближающем выходной к установленным порогам ограничения.

После того, как выходной сигнал выйдет из области ограничения и вернется на линейный участок, выходной сигнал вновь может изменяться в обоих направлениях.

Функциональная схема алгоритма RAN приведена на рисунке П2.



**Рисунок П2-Функциональная схема алгоритма RAN(АналПИД)**

Входы-выходы алгоритма RAN приведены в таблице П3.

**Таблица П3 - Входы -выходы алгоритма RAN**

Номер	Тип	Обозначение	Вх-Вых	Назначение
01	REAL	Xzdn		Вход задания
02	BOO	Csb		Включение статической балансировки
03	BOO	Cdb		Включение динамической балансировки
04	REAL	Vdb		Скорость динамической балансировки

05	REAL	Xin	Вход	Вход параметра	
06	REAL	Xdlt		Зона нечувствительности	
07	REAL	Kp		Коэффициент пропорциональности	
08	REAL	Ti		Постоянная времени интегрирования	
09	REAL	Kd		Постоянная времени дифференцирования	
10	REAL	Xmax		Уровень ограничения по максимуму	
11	REAL	Xmin		Уровень ограничения по минимуму	
12	BOO	Czb		Сигнал запрета в направлении «Больше»	
13	BOO	Czm		Сигнал запрета в направлении «Меньше»	
14	BOO	Cruch		Включение ручного режима	
15	REAL	Xruch		Сигнал ручного задания	
01	REAL	Y		Выход	Основной выход алгоритма (каскадный)
02	REAL	Yeps			Сигнал рассогласования
03	REAL	Yzdn			Сигнал текущего задания
04	BOO	Dmax			Ограничение по максимуму
05	BOO	Dmin	Ограничение по минимуму		

## UMD - Умножение-деление

### Описание алгоритма

Алгоритм предназначен для выполнения математических операций умножения и (или) деления.

Алгоритм перемножает два числа и делит полученное произведение на третье число.

Выходной сигнал алгоритма равен:

$$Y=X1*X2/X3, \quad (7.2)$$

Если необходимо выполнить операцию умножения, на вход X3 задается константа, значение которой выполняет роль масштабного множителя. Если требуется выполнить операцию деления, константа задается на вход X2.

Входы-выходы алгоритма UMD приведены в таблице П4, функциональная схема - на рисунке П.2.

**Таблица П.4 - Входы-выходы алгоритма UMD**

Номер	Тип	Обозначение	Вх-Вых	Назначение
01	REAL	X1	Вход	Первый сомножитель
02	REAL	X2		Второй сомножитель
03	REAL	X3		Делитель
01	REAL	Y	Выход	Выход

Функциональная схема алгоритма UMD - умножение-деление

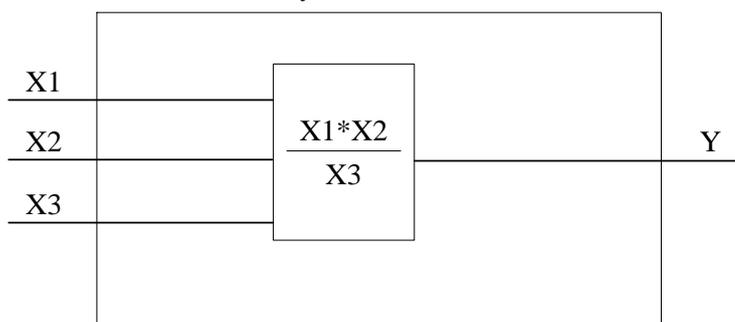


Рисунок П.2-Функциональная схема алгоритма

### **OGR – Ограничение**

#### **Назначение**

Алгоритм используется для ограничения верхней и (или) нижней границы диапазона изменения сигнала.

#### **Описание алгоритма**

Алгоритм содержит ограничитель верхнего и нижнего значения сигнала. На двух дискретных выходах  $D_{max}$  и  $D_{min}$  фиксируется достижение сигналом верхней и нижней границы ограничения. Работа алгоритма определяется таблицей П.5.

**Таблица П.5**

<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>D<sub>max</sub></b>	<b>D<sub>min</sub></b>
$X_{max} > X > X_{min}$	X	0	0
$X \geq X_{max}$	$X_{max}$	1	0
$X \leq X_{min}$	$X_{min}$	0	1

Алгоритм будет правильно работать, только если  $X_{max} > X_{min}$ .

Уровни ограничений задаются настроечными входами  $X_{max}$ ,  $X_{min}$ .

Входы-выходы алгоритма OGR приведены в таблице П.6.

**Таблица П.6 - Входы-выходы алгоритма OGR**

<b>Номер</b>	<b>Тип</b>	<b>Обозначение</b>	<b>Вх-Вых</b>	<b>Назначение</b>
01	REAL	X	Вход	Основной вход алгоритма
02	REAL	$X_{max}$		Верхняя граница ограничения
03	REAL	$X_{min}$		Нижняя граница ограничения
01	REAL	Y	Выход	Основной выход алгоритма
02	BOO	$D_{max}$		Достижение верхней границы
03	BOO	$D_{min}$		Достижение нижней границы

**KUS - Кусочно-линейная функция.**

**Назначение.**

Алгоритм применяется для линеаризации нелинейной зависимости (например, датчика или регулирующего органа). Алгоритм применяется также для искусственного введения нелинейности (например, зона нечувствительности релейной характеристики и т.п.).

### Описание алгоритма.

Выходной сигнал  $Y$  связан со значением сигнала на входе  $X$  зависимостью, показанной на рисунке. Алгоритм имеет 8 входов, задающих координаты первых четырех отрезков  $X_1, Y_1, \dots, X_4, Y_4$ . Для определения отрезков с номерами  $>4$  вход  $Nptr$  алгоритма KUS соединяется с выходом  $Nout$  алгоритма  $db4\_kus$ . В этом случае значения на входах  $X_1, Y_1, \dots, X_4, Y_4$  алгоритма  $db4\_kus$  определяют координаты отрезков с номерами  $5 \dots 8$  алгоритма KUS. Аналогично, если вход  $Nstr$  алгоритма  $db4\_kus$  соединить с выходом  $Nout$  следующего алгоритма  $db4\_kus$ , то значения на его входах определяют координаты отрезков  $9 \dots 12$ , и т.д.

### Входы-выходы алгоритма KUS

Таблица П7

Номер	Тип	Обозначение	Вх-Вых	Назначение
01	REAL	X	Вход	Основной вход алгоритма
02	INT	Nkol	“	Число участков
03	INT	Nptr	“	Указатель на модуль расширения $db4\_kus$
04	REAL	X1	“	Абсцисса 1-го участка
05	REAL	Y1	“	Ордината 1-го участка
06	REAL	X2	“	Абсцисса 2-го участка
07	REAL	Y2	“	Ордината 2-го участка
08	REAL	X3	“	Абсцисса 3-го участка

09	REAL	Y3	“	Ордината 3-го участка
10	REAL	X4	“	Абсцисса 4-го участка
11	REAL	Y4	“	Ордината 4-го участка
01	REAL	Y	Выход	Основной выход алгоритма
02	INT	Nuch	“	Номер текущего участка

## **EKS – Экстремум**

### **Назначение.**

Алгоритм применяется для поиска и фиксации максимального и /или) минимального значения меняющегося во времени сигнала. В частности, алгоритм используется в задачах оптимизации.

### **Описание алгоритма.**

Алгоритм содержит фильтр нижних частот и узел выделения экстремума ВЭК.

Входной сигнал подается на сигнальный вход алгоритма X и, пройдя через фильтр нижних частот, поступает на вход узла выделения экстремума ВЭК.

На выходах алгоритма  $Y_{\max}$ ,  $Y_{\min}$  фиксируется последнее соответственно максимальное и минимальное значение сигнал  $X_0$ , поступающее на вход ВЭК.

Алгоритм работает следующим образом (см.рис.) До тех пор, пока имеется команда сброса ( $C_{res} = 1$ ), поиск экстремума не ведется и выходные сигналы  $Y_{\max} = Y_{\min} = X_0$ . Когда сигнал сброса снимается ( $C_{res} = 0$ ), выходные сигналы  $Y_{\max}$  и  $Y_{\min}$  замораживаются и начинается поиск экстремума.

Как только найден максимум, выходной сигнал  $Y_{\max}$  становится равным максимальному значению  $X_0$ . Когда алгоритм фиксирует минимум, выходной сигнал  $Y_{\min}$  принимает значение, равное минимальному значению  $X_0$ . Выходы  $Y_{\max}$  и  $Y_{\min}$  остаются неизменными

плоть до обнаружения очередного экстремума - соответственно максимума или минимума.

В момент обнаружения максимума или минимума на время, равное времени цикла работы контроллера, на дискретных выходах соответственно  $D_{\max}$  или  $D_{\min}$  формируются дискретные сигналы  $D_{\max}=1$  или  $D_{\min}=1$ .

## **ODV – Одновибратор**

### **Назначение.**

Алгоритм применяется в тех случаях, когда необходимо сформировать одиночный импульс заданной длительности.

### **Описание алгоритма.**

Одновибратор запускается по переднему фронту сигнала на входе  $C_p$  (пуск), т.е. когда на входе  $C_p$  дискретный сигнал переходит из состояния лог.0 в состояние лог.1. Перед пуском выходной дискретный сигнал  $D$  отсутствует. После пуска появляется сигнал на выходе  $D$ , причем этот сигнал находится в состоянии лог.1 в течение времени  $t=T$ , где  $T$  - параметр настройки. По истечении времени  $T$  сигнал на выходе вновь переходит в нулевое состояние, после чего одновибратор можно вновь пустить.

На выходе  $T_i$  формируется текущее время, отсчитываемое от момента пуска. После обработки импульса  $T_i=0$ .

Если одновибратор должен запускаться по заднему фронту, сигнал на входе  $C_p$  инвертируется.

Сигнал на входе  $C_{res}$  (сброс) в любой момент времени обнуляет оба выхода ячейки и обнуляет счетчик времени. При наличии команды "сброс" алгоритм ячейки не может быть запущен. Алгоритм также не может быть повторно запущен командой "пуск" до тех пор, пока не закончится формирование выходного импульса.

Если в момент снятия команды "сброс" на выходе Ср сигнал равен лог.1, такая ситуация рассматривается как команда "пуск".

При  $T \leq 0$  выходной импульс не формируется.

Входы-выходы алгоритма ODV и функциональная схема ячейки приведены ниже.