

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

Институт Кибернетики

Направление подготовки 27.04.04 Управление в технических системах

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Адаптация настроечных параметров регуляторов в условиях изменяющейся нагрузки котла

УДК 621.182.13

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Фирсов Иван Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Ефимов Семён Викторович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Менеджмента	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АИКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

	Результаты
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики

Направление подготовки управление в технических системах

Кафедра автоматики и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8АМ41	Фирсов Иван Сергеевич

Тема работы:

Адаптация настроечных параметров регуляторов в условиях изменяющейся нагрузки котла

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 701/с от 04.02.2016 г.
---	--------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Существующая модель регулирования уровня воды в барабане котла.
--------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Проведение аналитического обзора. Исследование поведения модели при различных нагрузках и их изменениях. Исследование настроек регулятора при фиксированной нагрузке. Исследование поведения модели при различных видах подаваемого сигнала нагрузки (линейный, экспоненциальный и ступенчато возрастающий). Исследование зависимости настроечных коэффициентов регулятора от амплитуды и характера изменяющейся нагрузки системы. Связь посредством OPC сервера модели в Simulink и программы Codesys. Визуализация процесса регулирования уровня. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность. Выводы по результатам работы.
Перечень графического материала	Существующая модель, графики изменения уровня при различных изменениях нагрузки
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры Менеджмента, к.э.н. Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Доцент кафедры ЭБЖ, к.т.н. Анищенко Ю. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Результаты проведенного исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС ИК	Ефимов С.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Фирсов Иван Сергеевич		

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) 27.04.04 Управление в технических системах

Уровень образования Магистратура

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.05.16	Основная часть	60
24.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
28.05.16	Социальная ответственность	10
25.05.16	Обязательное приложение на иностранном языке	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Ефимов С.В.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АИКС	Фадеев А. С.	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ и РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Фирсову Ивану Сергеевичу

Институт	ИК	Кафедра	АИКС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 Управление в технических системах

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>Расчет затрат на разработку НИРС</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>НДС – 18%, зачисления на заработную плату – 30%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Менеджмента	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Фирсов Иван Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8АМ41	Фирсову Ивану Сергеевичу

Институт	Кибернетики	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	220400 Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>В работе исследовано влияние изменяющейся нагрузки котла на качество управления его параметрами. Построена модель управления котлоагрегатом. Предложено решение для стабилизации работы котла в условиях изменяющейся нагрузки. Работа проводилась на персональном компьютере в программном продукте Matlab Simulink. Возможной областью применения являются промышленные котлоагрегаты.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации модели управления:</i> – производственный шум; – некомфортные метеоусловия; – электромагнитные поля; – недостаточная освещенность; – напряженность труда. <i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: Опасные факторы:</i> – электрический ток
2. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия процесса исследования на литосферу (отходы) – защита селитебной зоны
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– ЧС техногенного характера
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Фирсов Иван Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 99 листов, 38 рисунков, 23 таблицы, 24 источника литературы и 2 приложения.

Ключевые слова: барабанный котел, уровень воды, регулирование, адаптация.

Объектом исследования является парогенератор ВВЭР-1000.

Целью работы является исследование изменения уровня воды в барабане котла при изменяющейся нагрузке расходом пара.

В процессе исследования было исследовано влияние различных видов сигнала нагрузки на изменение уровня, выявлен оптимальный вид сигнала нагрузки, рассчитаны наборы коэффициентов регулятора.

В результате исследования была реализована адаптация настроечных коэффициентов регулятора в режиме реального времени, а также разработана визуализация процесса регулирования уровня.

Результаты работы опробованы и представлены на Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.

Область применения: АСУ ТП котельных.

Обозначения и сокращения

- САР – система автоматического регулирования;
- АСР – автоматическая система регулирования;
- ПГ – парогенератор;
- АФЧХ – амплитудно-фазовая частотная характеристика;
- ПИД-регулятор – Пропорционально-Интегрально-Дифференциальный регулятор;
- ОУ – объект управления;
- ТЭС – тепловая электростанция;
- АЭС – атомная электростанция;
- И – инженер;
- НИР – научно-исследовательская работа;
- НР – научный руководитель;
- ППП – пакет прикладных программ;
- СНиП – санитарные нормы и правила;
- ЭМП – электромагнитное поле;
- ЭСП – электростатическое поле;
- ЭП и МП ПЧ – электрические и магнитные поля промышленной частоты.

Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературы	13
1.1 Регулирование питания барабанных котлов	13
1.1.1 Требования, предъявляемые к уровню воды в барабане котла.....	13
1.1.2 Схемы регулирования уровнем воды в барабане котла.....	14
1.2 Адаптивные системы управления	16
1.2.1 Определение и классификация адаптивных систем.....	16
1.2.2 Методы автонастройки регуляторов.....	17
1.2.3 Алгоритмы адаптации регуляторов	19
2 Объект и методы исследования	21
3 Результаты проведенных исследований	23
3.1 Исследование ступенчатой нагрузки	23
3.2 Исследование различных видов сигналов нагрузки.....	25
3.3 Исследование изменения настроек регулятора в режиме реального времени и реализация визуализации процесса.....	32
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
4.1 Организация и планирование работ	44
4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	50
4.3 Оценка экономической эффективности проекта	55
5 Социальная ответственность	60
5.1 Производственная безопасность	60
5.2 Производственная санитария	61
5.3 Анализ выявленных опасных проявлений факторов производственной среды.....	67
Заключение	74
Список публикаций.....	75
Список использованных источников	76
Приложение А	79
Приложение Б.....	94

Введение

Поддержание материального баланса в парогенераторе между отводом пара и подачей воды является главной целью регулирования питания котельных агрегатов, а уровень воды в барабане котла – параметр, который характеризует материальный баланс.

Надежность работы котельного агрегата во многом определяется качеством регулирования уровня. Снижение уровня ниже допустимых пределов может привести к нарушению циркуляции в экранных трубах, в результате чего произойдет повышение температуры стенок обогреваемых труб и их пережог. Значительное повышение уровня воды в барабане также может привести к аварийным последствиям, так как при повышенном уровне возможен заброс воды в пароперегреватель и турбину, что вызовет занос пароперегревателя солями и поломку турбины [1].

Вследствие этого поддержание уровня воды в барабане котла является актуальной задачей, и требует дальнейшего научного исследования.

Целью работы является поддержание требуемого уровня воды в барабане котла при помощи адаптации настроечных коэффициентов регулятора в условиях изменяющейся нагрузки системы.

1 Обзор литературы

1.1 Регулирование питания барабанных котлов

1.1.1 Требования, предъявляемые к уровню воды в барабане котла

Условия протекания любого технологического процесса характеризуются рядом параметров. Так, например, работу парового котла характеризуют его нагрузка, давление и температура пара, экономичность сжигания топлива, разрежение в топке и т. п.

В [1] описана цель автоматического регулирования питания барабанного котла. Уровень воды в барабане является одним из основных параметров, определяющих работу котельного агрегата. Поддержание уровня воды в барабане в определенных пределах необходимо по условиям безопасности и надежности работы котла и турбины.

Для большинства современных типов котлов производительностью свыше 20 т/ч отклонения уровня от среднего положения не должны превышать +75—100 мм.

Значительное превышение нормального уровня (так называемая перепитка» котла) влечет за собой повышение влажности пара, а иногда и заброс воды в пароперегреватель и турбину. Наоборот, слишком низкий уровень в результате так называемого «упуска» воды может привести к нарушению циркуляции отдельных экранных труб котла и их пережогу. Исходя из данных фактов, можно сказать, что регулирование уровня воды в барабане котла является важной составляющей в стабильной работе котельного агрегата.

В [2] рассмотрены основные причины, приводящие к изменению уровня воды в барабане. Во-первых, первой причиной является изменение расхода питательной воды, во-вторых, изменение расхода пара, в-третьих, изменение температуры питательной воды.

Также в [2] объясняется причина возникновения так называемого эффекта «набухания» уровня. Отличительной особенностью регулирования уровня в

барабане котла является то, что происходит регулирование уровня двухфазной среды. Разность удельных весов пара и воды приводит к отклонению уровня в ту или иную сторону. Отклонение уровня воды в барабане котла при нарушении стационарного режима в сторону, противоположную знаку материального небаланса, получило название «набухания» уровня. Так, например, увеличение парообразования в экранных трубах при материальном балансе приведет к вытеснению некоторого количества воды из экранных труб и повышению уровня в барабане. И наоборот, снижение паропроизводительности котла повлечет к уменьшению парового объема в экранных трубах и соответственно к понижению уровня [2].

1.1.2 Схемы регулирования уровня воды в барабане котла

Существуют различные системы регулирования уровня воды в барабане котла.

В [1] приводятся типы регуляторов, к ним относятся одноимпульсный, двухимпульсный и трехимпульсный.

Простейшим типом регулятора уровня воды в барабане парового котла является одноимпульсный регулятор. Он находит применение при автоматизации питания паровых котлов малой мощности, у которых на поведение уровня в барабане незначительно сказывается набухание котловой воды.

Двухимпульсный регулятор устанавливается на котлах с резко выраженным набуханием.

Трехимпульсный регулятор устанавливается на котлах, у которых изменение уровня воды в барабане обусловлено как изменением расхода пара из котла, так и изменениями перепада давлений на регулирующем клапане.

В свою очередь в [3] приводится пример выбора схемы и закона регулирования, а также объясняется принцип работы выбранной схемы. Применение пропорционально-интегрального (ПИ) закона регулирования для

астатического объекта с явлением "набухания" не обеспечивает требуемого качества регулирования (длительные слабо затухающие колебания уровня при ступенчатом входном возмущении). Интегральный (И) закон также дает плохую устойчивость системы. Пропорциональный (П) закон не допустим из-за статической ошибки регулирования. Поэтому для регулирования уровня применяют комбинированную АСР: регулирование по отклонению с П-регулятором и контуром инвариантности по основному возмущающему воздействию - расходу пара.

Двухимпульсная схема регулирования не применяется по следующим причинам:

- 1) расход питательной воды через регулирующий питательный клапан зависит не только от положения клапана, но и от перепада давления на нем, который в процессе эксплуатации может изменяться;
- 2) в дифманометрах-расходомерах прежних лет выпуска выходной сигнал был пропорционален корню квадратному из перепада давления.

Указанные недостатки 2-контурной АСР устраняются введением в регулятор третьего импульса по расходу питательной воды от дифманометра-расходомера. Такая 3-импульсная АСР изображена на рисунке 1.1.

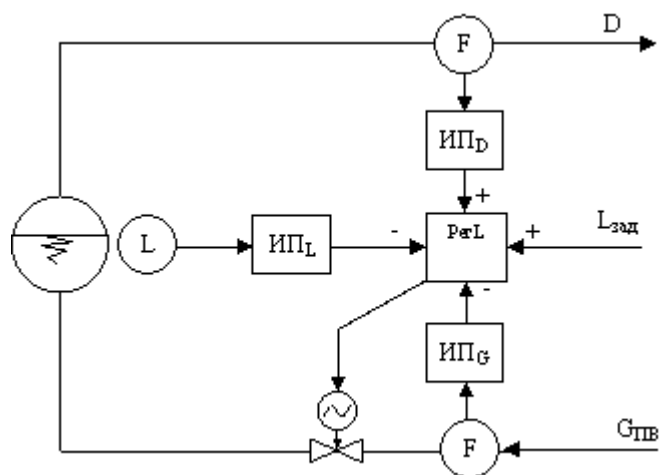


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема трехимпульсная АСР

Принцип работы АСР следующий. Сигналы по расходу пара и питательной воды вводятся в регулятор с противоположными знаками. В установившемся состоянии эти сигналы равны, противоположны по знаку и,

следовательно, компенсируют друг друга.

Сигнал по уровню воды в ПГ компенсируется сигналом задания. При изменении расхода пара мгновенно изменяется соответствующий сигнал на входе в регулятор и последний пропорционально изменяет расход питательной воды, не дожидаясь изменения уровня.

В регуляторе используется ПИ-закон регулирования, однако вследствие ввода в регулятор практически безинерционной отрицательной обратной связи по расходу питательной воды в нем реализуется П-закон регулирования (аналогия жесткой обратной связи по положению регулирующего органа). Статическая неравномерность П-регулятора устраняется корректирующим сигналом по расходу пара.

1.2 Адаптивные системы управления

1.2.1 Определение и классификация адаптивных систем

Система управления называется адаптивной, если она автоматически определяет необходимый закон управления с помощью анализа поведения при текущем управлении.

В различных источниках по теории адаптивных систем приводятся разнообразные классификации, к тому же они не являются идеальными. К примеру, в [4] приводится классификация в следующем виде:

- а) пассивные адаптивные системы (выполняет функции даже при значительных внешних воздействиях без изменения структуры и параметров);
- б) системы с адаптацией по входному сигналу (параметры подстраиваются к свойствам входных сигналов);
- в) экстремальные системы (поисковыми процедурами подстраиваются к экстремумам функций или функционалов);
- г) системы с адаптацией переменных системы;

д) системы с адаптацией характеристик системы (осуществляют коррекцию изменений передаточных характеристик).

Однако в [5] говорится, что приведенная классификация в [4] далека от совершенства. Первые 2 класса целесообразно объединить, так как классификация не должна в пределах одного перечня классов содержать классы, формируемые по разным признакам. Так, к классу (б) относятся системы, осуществляющие адаптацию по входному сигналу, т. е. по признаку используемого источника информации. К классу (г) и (д) отнесены системы по принципу воздействия на системы, т. е. одна и та же система может быть одновременно отнесена и к классу (б), и к классу (г) или (д).

Также в [5] предлагается следующая классификация адаптивных систем:

- а) системы с адаптацией по помехе (или иным сигналам, косвенно или прямо описывающим изменение параметров объекта или условий его действий);
- б) со стабилизацией свойств основного контура без идентификации объекта;
- в) с эталонной моделью объекта (неуточняемой);
- г) с идентификатором объекта или с уточняемой его моделью;
- д) с блоком прогноза выхода объекта;
- е) системы с адаптацией по ошибке управления;
- ж) экстремальные системы, переводящие систему в состояние вблизи экстремума.

Наибольший практический интерес вследствие наибольшей универсальности и наилучшего эффекта представляют системы со стабилизацией основного контура и системы с идентификатором или с уточняемой моделью объекта [5].

1.2.2 Методы автонастройки регуляторов

Согласно [6] можно выделить 2 подхода:

- а) автонастройка по переходной характеристике ОУ.

В данном подходе параметры ПИД-регулятора выбираются на основе анализа переходной характеристики ОУ, полученной в результате ступенчатого воздействия. Недостатком этого подхода является то, что входной сигнал ступенчатой формы должен быть достаточной величины для того, чтобы на фоне помех и внешних возмущений можно было выделить составляющую переходного процесса;

б) автонастройка с помощью автоколебаний.

Данный подход подразумевает искусственное создание автоколебаний в контуре управления, что позволяет идентифицировать так называемую критическую точку (точку пересечения годографа АФЧХ замкнутой системы с отрицательной действительной осью $(-1;0j)$) путем измерения амплитуды и частоты автоколебаний, и использования формул пересчета для определения коэффициентов ПИД-регулятора.

По сравнению с [6], в [5] говорится о процедуре настройке регулятора. Настройкой регулятора называют все действия, которые разработчик осуществляет после того, как система в целом уже готова, но параметры регулятора еще не вычислены [5]. В результате представленных выше действий, происходит определение параметров регулятора. Особенностью данного этапа является возможное отсутствие ограничительных требований к функционированию объекта в ходе его настройки. Также важно отметить, что разработчик может позволить себе реализовывать различные режимы вплоть до полной потери устойчивости исследуемой системы, но при таком условии, что данные действия не должны продолжаться бесконечно, а обязательно должны закончиться предоставлением приемлемой системы путем определения наилучшей настройки регулятора.

В итоге настройки математическая модель не обязательно должна стать известной. Разработчику ставится задача настроить систему, а не исследовать объект, исследование объекта – это лишь путь решения задачи.

Также существуют приближенные формулы оптимальных настроек регуляторов. Они основаны на аналитических исследованиях Козна-Куна, Чина,

Хронса и Ресвика [7]. Зная параметры объекта регулирования, нетрудно рассчитать коэффициенты ПИД-регулятора. При подстановке найденных коэффициентов в исходную САУ получается незатухающий колебательный процесс. Следовательно, приближенные формулы не позволяют адекватно настроить ПИД-регулятор [8].

1.2.3 Алгоритмы адаптации регуляторов

Алгоритм работы некоторых известных ПИД-регуляторов с автоматической адаптацией состоит из следующих этапов [9]: идентификация параметров объекта регулирования, вычисление (уточнение) коэффициентов ПИД-регулятора, ввод (уточнение) коэффициентов в ПИД-регулятор.

Также в [9] рассматривается использование численных методов для поиска оптимальных параметров настройки ПИД-регулятора с применением модели САР. В этой работе предлагается вместо приближенной параметрической модели использовать измеренную характеристику реального объекта управления без её представления в аналитической форме, т. е. табличную модель переходной характеристики и интеграл Дюамеля [10]. При этом этап параметрической идентификации исключается полностью, а расчет коэффициентов регулятора выполняется методами численного моделирования. Сочетание численных методов с точной непараметрической моделью позволяет отказаться от упрощающих допущений при расчете коэффициентов регулятора.

В работе [6] выделяются 2 группы алгоритмов адаптации:

а) прямые адаптивные системы.

В прямых алгоритмах адаптивного управления параметры регулятора обновляются непосредственно, по определенному закону, который зависит от состояния замкнутой системы;

б) не прямые алгоритмы адаптации.

Также в [6] выделяется несколько не прямых алгоритмов адаптации, таких как:

- идентификации критической точки;
- использование нескольких идентификаторов совместно с узкополосными фильтрами, что позволит повысить гибкость алгоритма адаптации;
- метод наименьших квадратов, позволяющий идентифицировать различные модели ОУ;
- алгебраические методы синтеза и оптимизации;
- алгоритм адаптации по реакции системы на ступеньку;
- алгоритмы адаптации, использующие релейный подход;
- частотное адаптивное управление.

2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является парогенератор ВВЭР-1000. Номинальный уровень воды в барабане данного парогенератора равен 2450 мм от внутренней образующей корпуса, а колебание уровня в статических режимах работы не должно превышать значение ± 50 мм [7] от номинального значения, а в динамике ± 150 мм от номинального значения (с учетом нечувствительности регулятора).

На практике трехимпульсная система автоматического регулирования (САР) уровня воды в барабане котла и ее модификации получили широкое распространение на ТЭС и АЭС [11]. Например, в [3] для трехимпульсной модели САР питания парогенератора, представленной на рисунке 2.1, коэффициенты ПИ-регулятора $K_{pi}=1$ и $T_{pi}=4$ не обеспечивают требуемого качества поддержания уровня воды, а позволяют лишь подавлять скачкообразные возмущения расхода пара только до 18 кг/с без выхода уровня за допустимое значение 50 мм. В связи с данным фактом ставится задача вычисления коэффициентов ПИ-регулятора, которые будут обеспечивать требуемый уровень воды в парогенераторе при различных возмущениях расходом пара. Структурная схема модели трехимпульсной САР питания парогенератора представлена в приложении Б.

Проведение исследований по диссертационной работе будет включать в себя три этапа:

- а) исследование ступенчатой нагрузки;
- б) исследование различных видов сигналов нагрузки;
- в) исследование изменения настроек регулятора в режиме реального времени и реализация визуализации процесса.

Исследования будут проводиться в ППП Matlab 2016, модель реализована в программном компоненте Simulink.

На первом этапе нагрузка расходом пара принимается как ступенчатое воздействие от 0 до искомого значения. На данном этапе ставится задача

вычисления коэффициентов настроек регулятора при различных подаваемых нагрузках, которые будут обеспечивать требования, предъявляемые к уровню воды в барабане.

На втором этапе сигнал подаваемой нагрузки будет рассматриваться в виде следующих воздействий: линейное, экспоненциальное, ступенчатое постепенное увеличение сигнала с определенной длительностью. Аналогично первому этапу, ставится задача вычисления настроек регулятора для каждого вида подаваемой нагрузки и для различных значений нагрузки. Также требуется найти такие значения коэффициентов регулятора, при превышении которых уровень будет превышать допустимые значения. В завершении второго этапа необходимо провести сравнительный анализ полученных результатов и выбрать наиболее оптимальный вид подаваемой нагрузки.

На третьем этапе задачей исследования ставится реализация перехода от одних настроек регулятора к другим без выхода уровня за допустимые отклонения, а также осуществление связи модели Simulink и программы Codesys для визуализации процесса.

3 Результаты проведенных исследований

3.1 Исследование ступенчатой нагрузки

При проведении первого этапа было принято решение ввести в схему модели двух демпфирующих устройств, как показано на рисунке 3.1, для регулирования расходов пара и питательной воды.

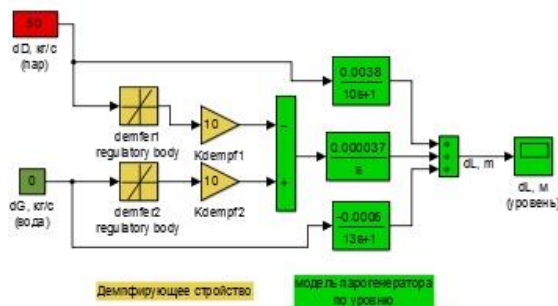


Рисунок 3.1 – Модель с демпфирующими устройствами

Наличие модели позволило вычислить значения коэффициентов регуляторов K_{pi} , T_{pi} , K_{demp1} и K_{demp2} с учетом требований по уровню воды в парогенераторе. Полученные данные представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значения коэффициентов регулятора при различных расходах пара

Название параметра	Расход пара, dD, кг/с			
	50	200	300	400
1. Значения коэффициентов регуляторов	$K_{pi}=0,1$; $T_{pi}=0,8$; $K_{reg1}=$ $K_{reg2}=10$	$K_{pi}=0,089$ $T_{pi}=0,82$ $K_{reg1}=$ $K_{reg2}=10$	$K_{pi}=0,089$ $T_{pi}=0,948$ $K_{reg1}=$ $K_{reg2}=10$	$K_{pi}=0,093$ $T_{pi}=0,95$ $K_{reg1}=$ $K_{reg2}=10$
2. Максимальное отклонение уровня от номинального значения, dL, м	0,0158	0,0356	-0,023	0,0374

На рисунке 3.2 представлены графики переходных процессов при различных возмущениях расходом пара. Согласно данным рисунка 3.2 имеют

место колебательные процессы со временем регулирования уровня, не превышающим 150 с. и максимальными отклонениями уровня не более 50 мм, что не превышает допустимые значения отклонений при расходах пара до 400 кг/с.

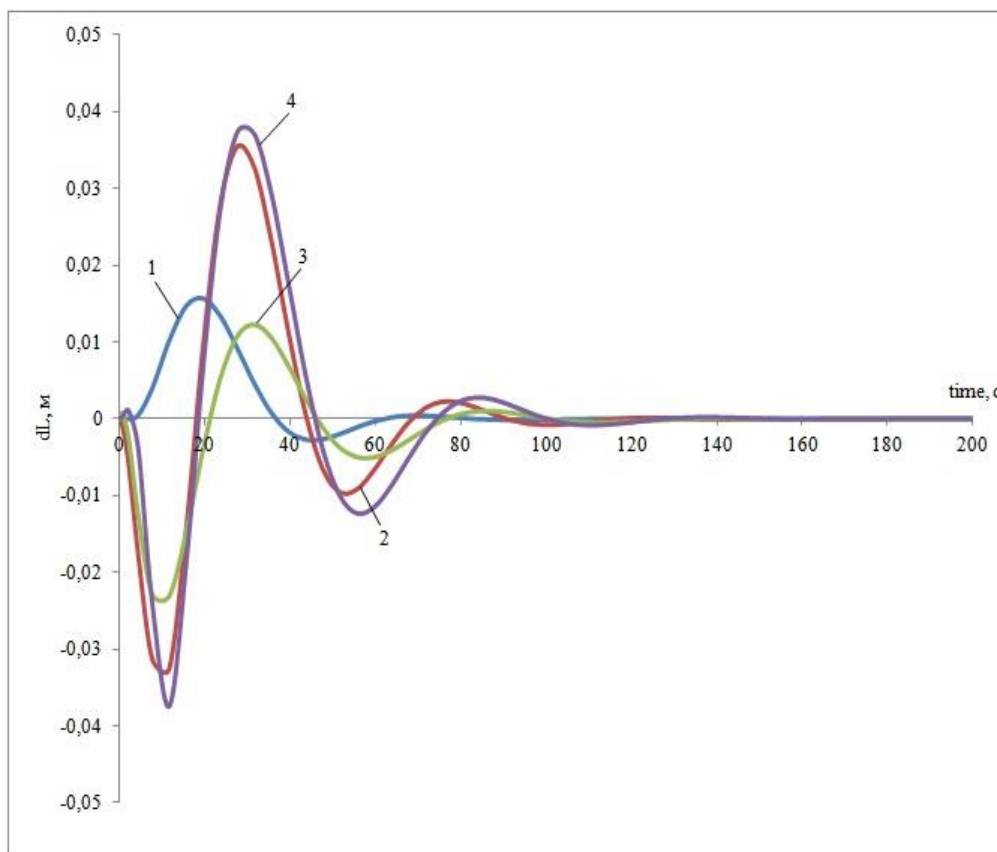


Рисунок 3.2 – Графики переходных процессов изменения уровня при подаче ступенчатого возмущения расходом пара:

1 – расход пара $dD=50$ кг/с; 2 – расход пара $dD=200$ кг/с; 3 – расход пара $dD=300$ кг/с; 4 – расход пара $dD=400$ кг/с

В результате проведенного моделирования были получены настроечные параметры регулятора уровня воды с учетом изменения нагрузки расходом пара. Результаты показали, что трехимпульсная САР уровня воды в парогенераторе котлоагрегата обеспечивает необходимые требования, предъявляемые к уровню. Но добавление в модель демпфирующего устройства связано с дополнительными затратами, поэтому проведем еще одну серию экспериментов без введения в модель дополнительных устройств.

3.2 Исследование различных видов сигналов нагрузки

Исследуем зависимость уровня воды в барабане котла от вида сигнала нагрузки. Для этого будем изменять вид подаваемого сигнала (возмущение расходом пара) – линейный, экспоненциальный, ступенчато возрастающий. Рассмотрим изменение уровня для различных нагрузок до 300 кг/с.

Для подачи линейного сигнала будем использовать блоки Simulink, представленные на рисунке 3.3.

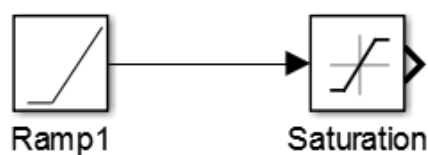


Рисунок 3.3 – Блоки Simulink для формирования линейного сигнала

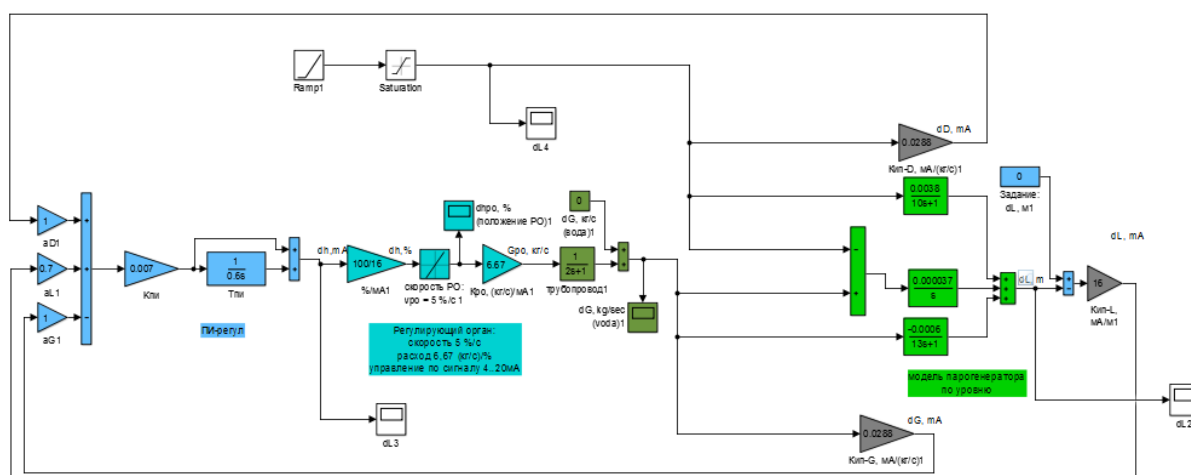


Рисунок 3.4 – Структурная схема модели для проведения второго этапа исследования

В качестве параметра score в блоке Ramp примем 1. Длительность сигнала будет равна 200 секунд. Настройки регулятора примем $K_i = 1$ и $K_p = 0,015$. Реакция модели представлена на рисунке 3.5.

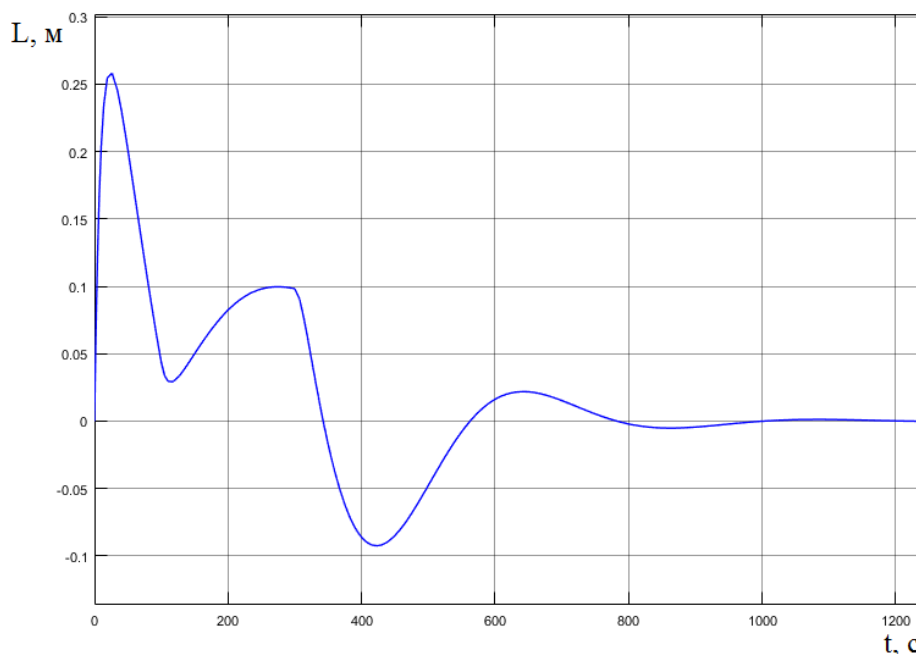


Рисунок 3.5 – Изменение уровня при подаче линейно возрастающего сигнала длительностью 200 секунд

Как видно из рисунка 3.5, уровень превышает допустимые значения. Следовательно, проведем еще серию экспериментов, задав большую длительность нагрузки.

Длительность подаваемого сигнала примем 500 секунд, для этого зададим значение параметра Score = 0,2 в блоке Ramp. В блоке Saturation задаем нижний и верхний уровень сигнала.

Далее на рисунках 3.6, 3.7, 3.8 представлены переходные процессы изменения уровня при линейной нагрузке.

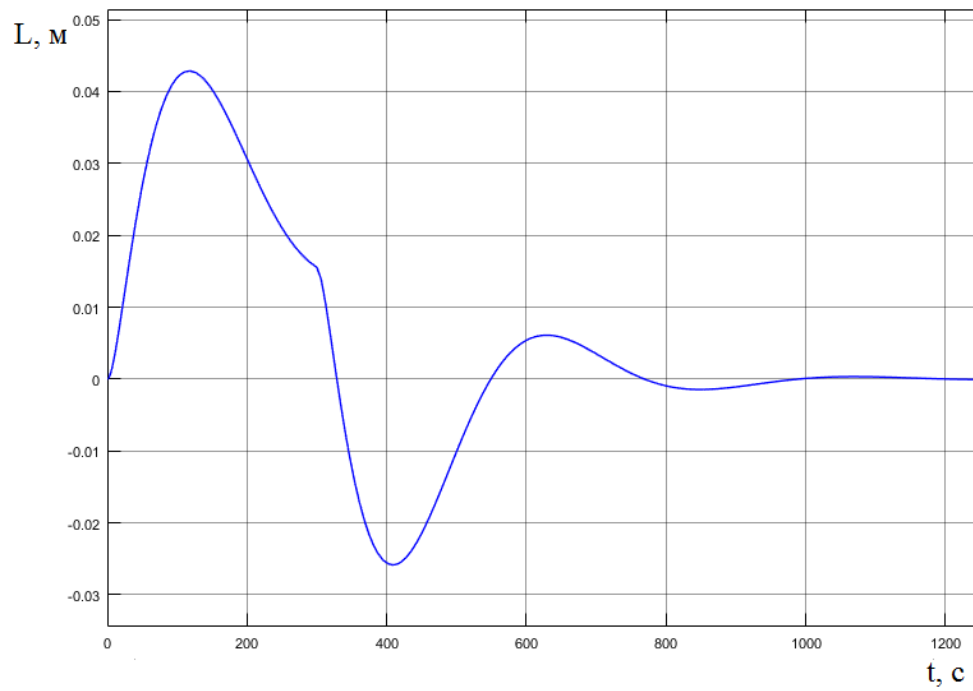


Рисунок 3.6 – Изменение уровня при подаче линейно возрастающей нагрузки от 0 до 23 кг/с (параметры регулятора – $K_p = 0,018$, $K_i = 1$, $L_{\max} = 0,04286$ м)

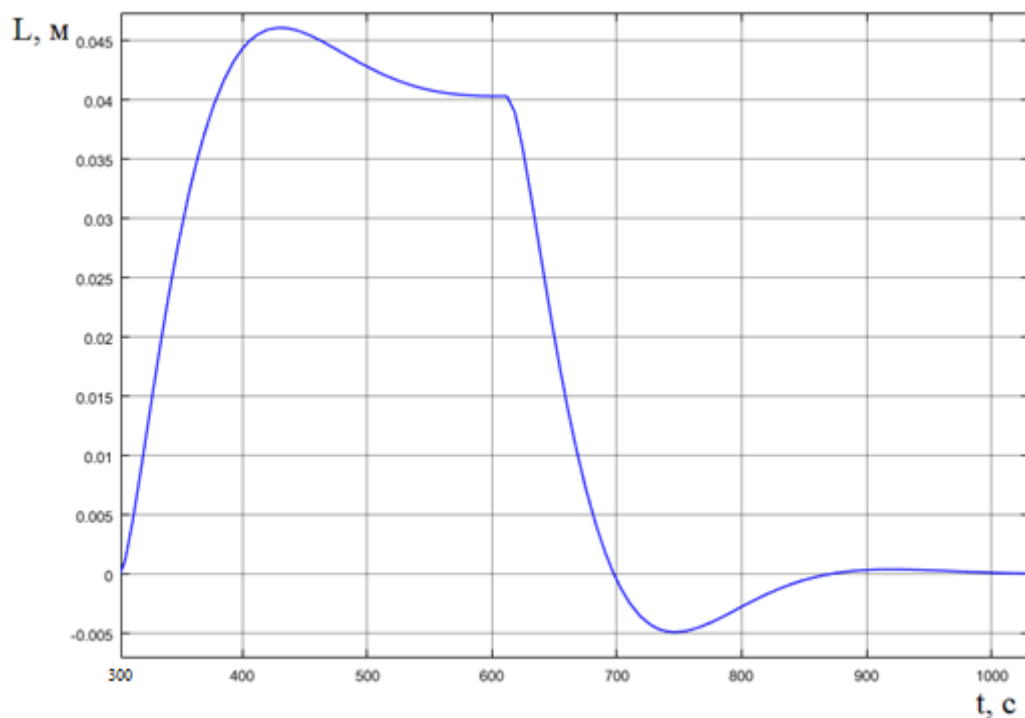


Рисунок 3.7 – Изменение уровня при подаче линейно возрастающей нагрузки от 24 до 153 кг/с (параметры регулятора – $K_p = 0,018$, $K_i = 0,5$, $L_{\max} = 0,0452$ м)

Так как при нагрузке от 75 до 153 кг/с начальным значением является 75, то модель рассматривает это как ступенчатое воздействие от 0 до 75, поэтому

необходимый график изменения уровня в зависимости нагрузки от 75 до 153 рассматривается, начиная с 300 секунды.

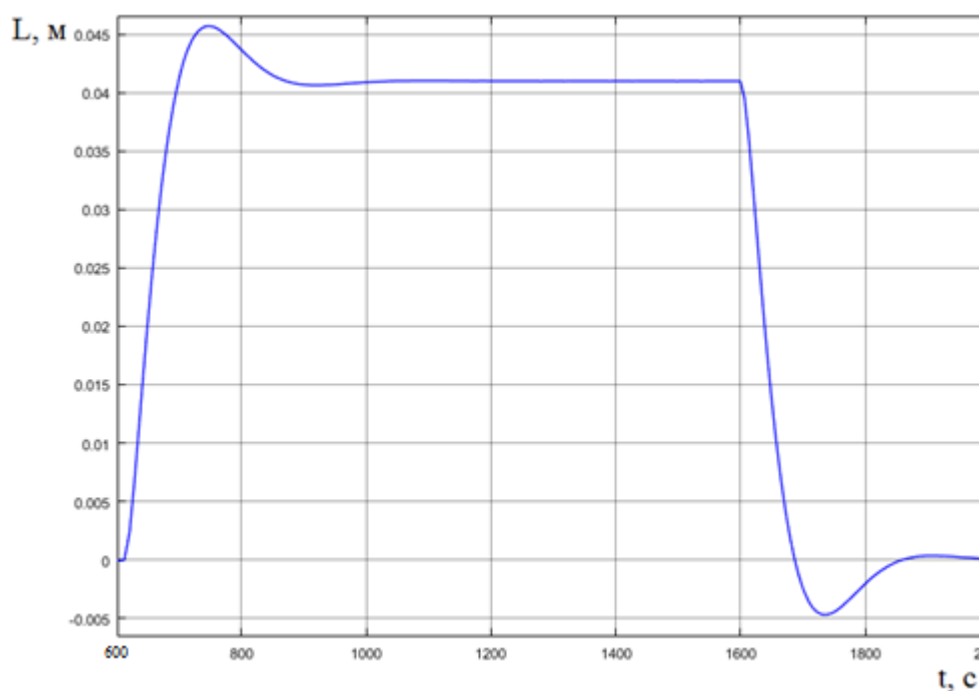


Рисунок 3.8 – Изменение уровня при подаче линейно возрастающего сигнала от 153 до 400 кг/с (параметры регулятора – $K_p = 0,011$, $K_i = 0,3$, $L_{\max} = 0,0457$ м)

Так как при нагрузке от 153 до 400 кг/с начальным значением является 153, то модель рассматривает это как ступенчатое воздействие от 0 до 153, поэтому график изменения уровня в зависимости нагрузки от 153 до 400 рассматривается, начиная с 600 секунды.

Как видно из полученных графиков, удалось вычислить такие настройки параметров регулятора, при которых уровень не превышает допустимые значения.

Далее рассмотрим экспоненциально возрастающий сигнал нагрузки.

Для подачи экспоненциального сигнала будем использовать блоки Simulink, которые представлены на рисунке 3.9.

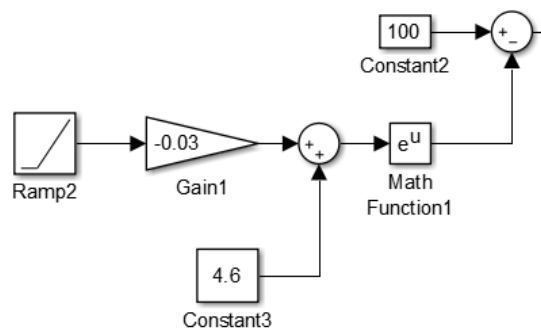


Рисунок 3.9 – Блоки Simulink для формирования экспоненциального сигнала

Далее на рисунках 3.10, 3.11 представлены переходные процессы изменения уровня при экспоненциально возрастающих нагрузках.

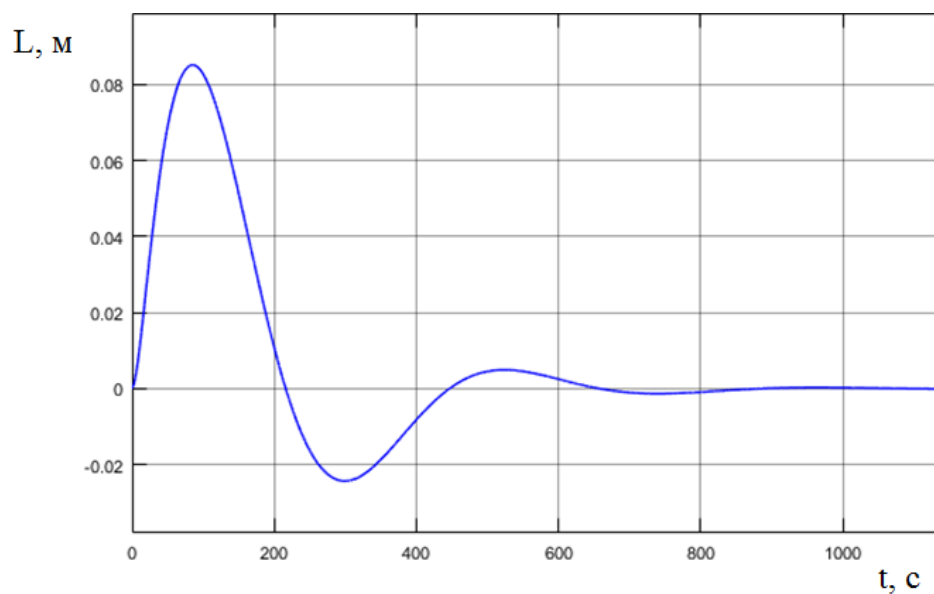


Рисунок 3.10 – Изменение уровня при подаче экспоненциально возрастающего сигнала от 0 до 50 кг/с (параметры регулятора – $K_p = 0,015$, $K_i = 1$, $L_{\max} = 0,08515$ м)

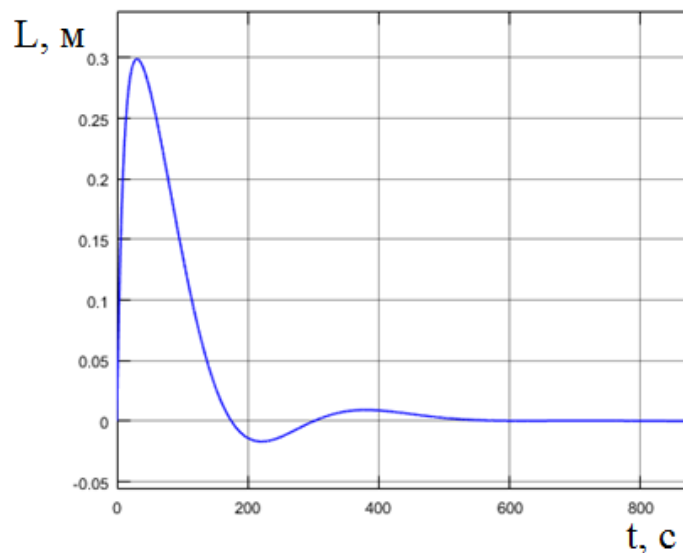


Рисунок 3.11 – Изменение уровня при подаче экспоненциально возрастающего сигнала от 0 до 50 кг/с (параметры регулятора – $K_p = 0,011$, $K_i = 0,5$, $L_{\max} = 0,2991$ м)

Как видно из рисунков 3.10 и 3.11, при подаче экспоненциально возрастающего сигнала нагрузки не удастся рассчитать таких настроек регулятора, при которых уровень не будет выходить за допустимые значения.

Далее рассмотрим ступенчато возрастающий сигнал возмущения расходом пара от 0 до 100 кг/с длительностью 800 секунд и длительностью каждого подаваемого сигнала 200 с. Для моделирования данного вида сигнала используются блоки Simulink, представленные на рисунке 3.12, а результат реакции модели можно видеть на рисунке 3.13.

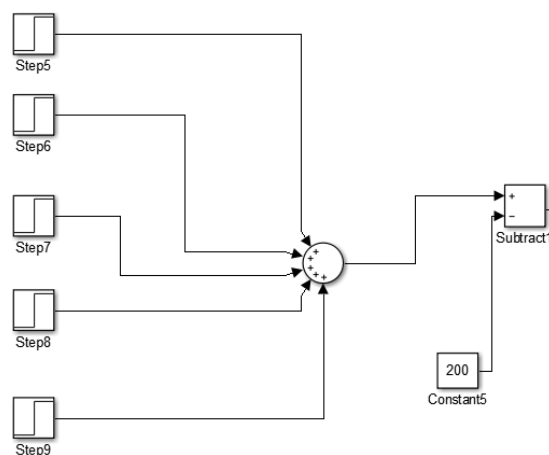


Рисунок 3.12 – Блоки Simulink для формирования ступенчато возрастающего сигнала

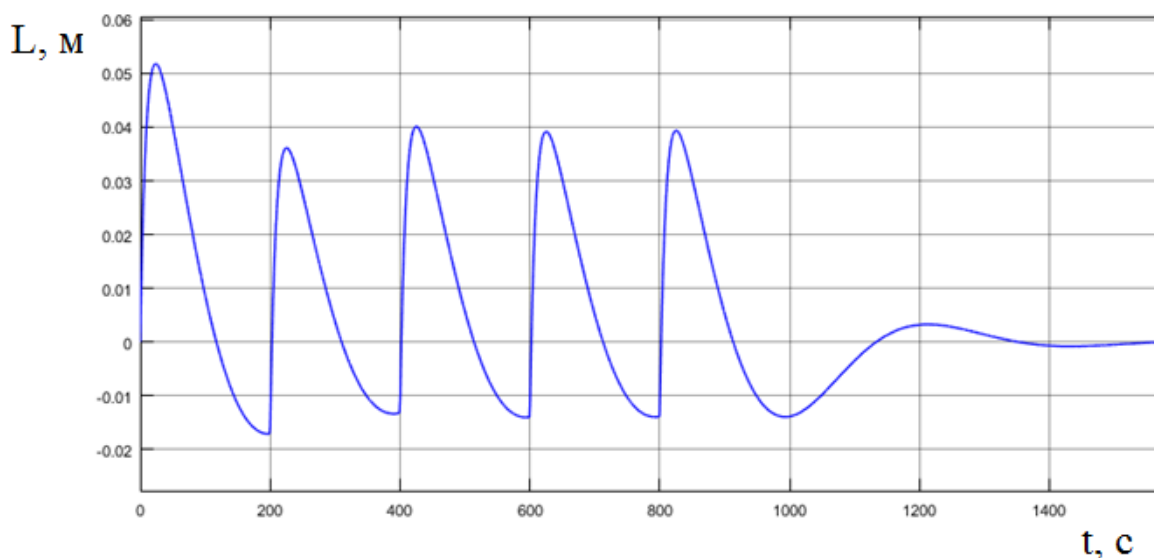


Рисунок 3.13. Изменение уровня при подаче ступенчато возрастающего сигнала от 0 до 100 кг/с (параметры регулятора – $K_p = 0,015$, $K_i = 1$, $L_{\max} = 0.04286$ м)

Из рисунка 3.13 видно, что уровень, во-первых, превышает допустимое значение и при каждом ступенчатом переходе колебание уровня стремится к максимально допустимому значению, во-вторых, переходный процесс изменения уровня имеет высокую колебательность.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что изменение расхода пара, представляющее линейно возрастающее воздействие, является самым оптимальным, по сравнению к экспоненциально возрастающим и ступенчато возрастающим воздействиями. Далее в работе будет рассматриваться только линейно возрастающий сигнал.

Полученные значения параметров настроек регулятора при линейно возрастающем воздействии представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения параметров регулятора при линейно возрастающем воздействии при различных расходах пара

Название параметра	Расход пара, dD, кг/с		
	0-75	76-153	154-400
1. Значения коэффициентов регуляторов	$K_p=0,018$; $K_i=1$	$K_p=0,018$; $K_i=0,5$	$K_p=0,011$; $K_i=0,3$
2. Максимальное отклонение уровня от номинального значения, dL, м	0,04286	0,0452	0,0457

3.3 Исследование изменения настроек регулятора в режиме реального времени и реализация визуализации процесса

На третьем этапе исследований задачей исследования ставится реализация перехода от одних настроек регулятора к другим без выхода уровня за допустимые отклонения, а также осуществление связи модели Simulink и программы Codesys. Поэтому необходимо реализовать изменение настроек регулятора в режиме реального времени. Для этого создадим переменные K_p и K_i в рабочем пространстве Matlab Workspace как показано на рисунке 3.14, далее заменим числовые значения в блоках регулятора в модели Simulink на созданные переменные.



Рисунок 3.14 – Переменные K_p и K_i в рабочем пространстве Matlab Workspace

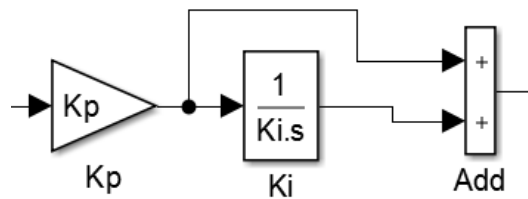


Рисунок 3.15 – Блоки регулятора в Simulink с переменными

Исследуем влияние вида переключения параметров регулятора на изменение уровня воды в барабане парогенератора при линейно возрастающем сигнале нагрузки от 0 до 200 кг/с.

Для реализации «ударного» переключения настроек регулятора в реальном времени создадим скрипты m-file. Текст скриптов показан на рисунках 3.16 и 3.17.

```

1 function y = change_kil(value)
2 if value <= 75
3     y = 1;
4 end
5 if (value>75) && (value <=153)
6     y = 0.5;
7 end
8 if (value>153)
9     y = 0.3;
10 end

```

Рисунок 3.16 – Листинг программы «ударного» изменения коэффициента K_i

```

1 function y = change_kp1(value)
2 if value <= 153
3     y = 0.018;
4 end
5 if (value>153)
6     y = 0.011;
7 end

```

Рисунок 3.17 – Листинг программы «ударного» изменения коэффициента K_p

В программах скриптов происходит проверка текущего значения нагрузки, если значение нагрузки попадает в первый интервал, то применяется первый комплект настроек, если во второй – второй комплект и так далее.

На рисунке 3.18 представлен график изменения уровня при «ударном»

изменении коэффициентов регулятора.

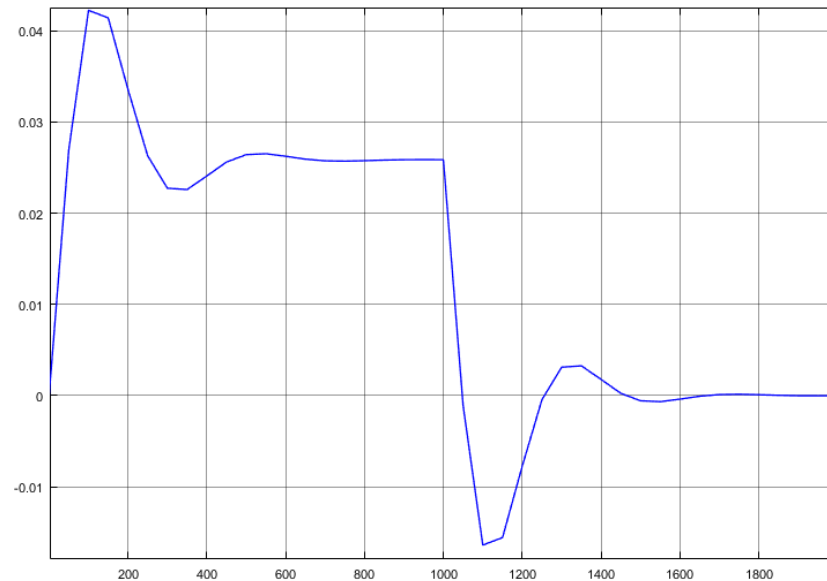


Рисунок 3.18 – График изменения уровня при «ударном» изменении коэффициентов регулятора

Для реализации «безударного» переключения настроек регулятора в реальном времени создадим скрипты m-file. Текст скриптов показан на рисунках 3.19 и 3.20.

```
1 function y = change_ki(value)
2     if value <= 3
3         y = 1;
4     end
5     if (value>3) && (value<=13)
6         y = 0.9;
7     end
8     if (value>13) && (value <=23)
9         y = 0.8;
10    end
11    if (value>23) && (value <=33)
12        y = 0.7;
13    end
14    if (value>33) && (value <=43)
15        y = 0.6;
16    end
17    if (value>43) && (value <=153)
18        y = 0.5;
19    end
20    if (value>153) && (value <=163)
21        y = 0.4;
22    end
23    if value>163
24        y = 0.3;
25    end
```

Рисунок 3.19 – Листинг программы изменения коэффициента Ki

```

1 function y = change_kp(value)
2 if value <= 153
3     y = 0.018;
4 end
5 if (value>153) && (value <=155)
6     y = 0.017;
7 end
8 if (value>155) && (value <=157)
9     y = 0.016;
10 end
11 if (value>157) && (value <=159)
12     y = 0.015;
13 end
14 if (value>159) && (value <=161)
15     y = 0.014;
16 end
17 if (value>161) && (value <=163)
18     y = 0.013;
19 end
20 if (value>163) && (value <=165)
21     y = 0.012;
22 end
23 if (value>165)
24     y = 0.011;
25 end

```

Рисунок 3.20 – Листинг программы переключения коэффициента K_p

На рисунках 3.21 и 3.22 графически показано изменение коэффициентов K_i и K_p .

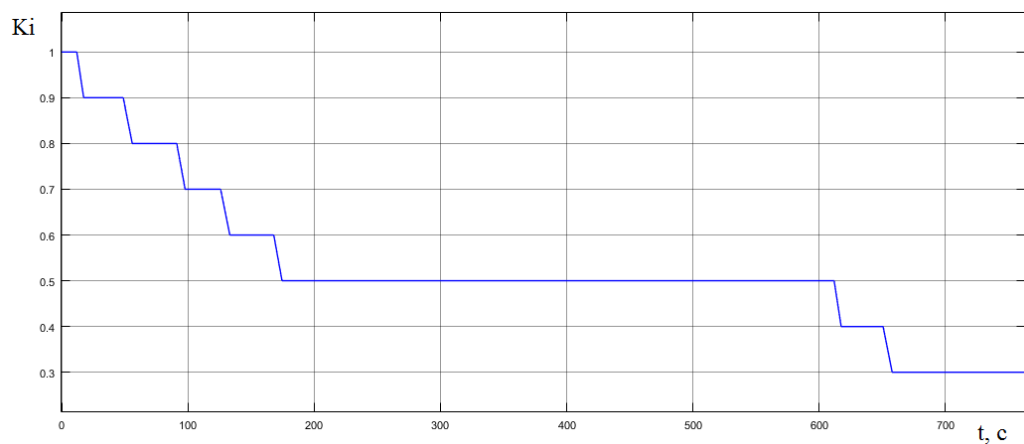


Рисунок 3.21 – График изменения коэффициента K_i

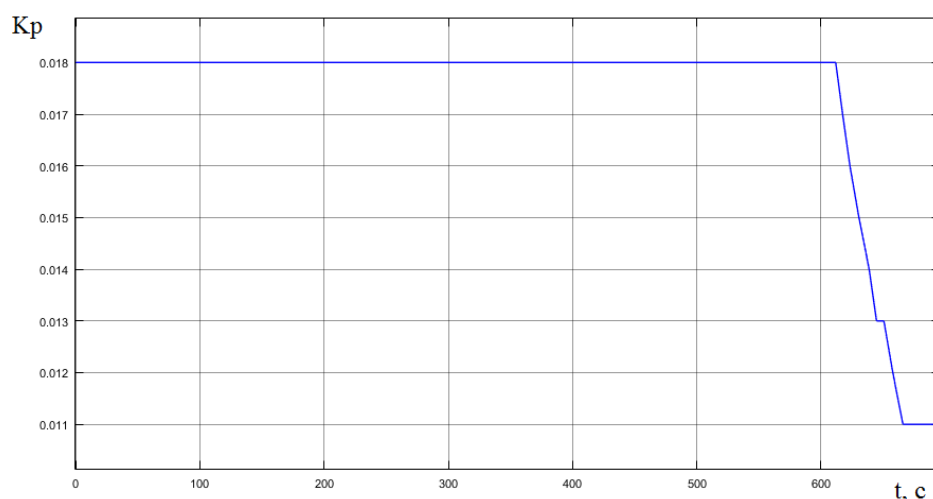


Рисунок 3.22 – График изменения коэффициента K_p

На рисунке 3.23 представлен график изменения уровня при «безударном» изменении коэффициентов регулятора.

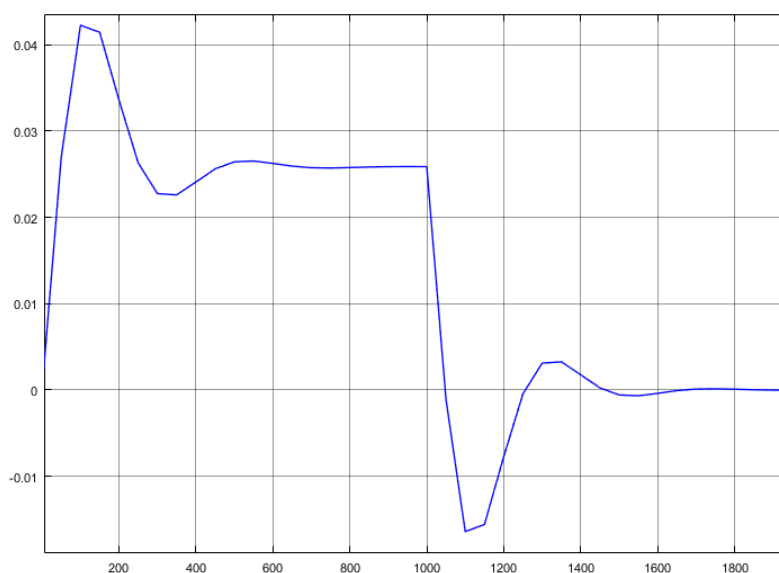


Рисунок 3.23 – График изменения уровня при «безударном» изменении коэффициентов регулятора

Как видно из рисунков 3.18 и 3.23 изменение уровня при «ударном» и «безударном» изменении коэффициентов регулятора идентично. Но, согласно [12], в ПИД-регуляторах могут существовать режимы, когда их параметры изменяются скачком. Например, когда в работающей системе требуется изменить постоянную интегрирования или, когда после ручного управления системой необходимо перейти на автоматический режим. В описанных случаях могут появиться нежелательные выбросы регулируемой величины. Поэтому

возникает задача плавного («безударного») переключения режимов работы или параметров регулятора. Следовательно, для стабильной работы парогенератора будем использовать «безударное» переключение коэффициентов регулятора.

Для проверки текущего значения нагрузки используются блоки, показанные на рисунке 3.24. Текущее значение уровня в роли аргумента для функций `change_ki` и `change_kp` передается с помощью блоков `Interpreted MATLAB Fcn`. Также здесь передаются текущие значения настроек регулятора в программу Codesys, где будет осуществляться управление уровнем воды с помощью встроенного блока ПИД регулятора, а также будет реализована визуализация.

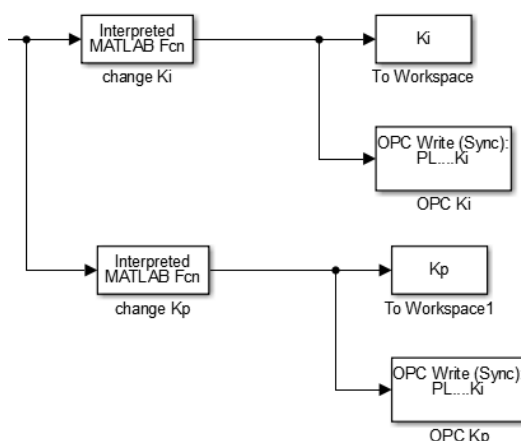


Рисунок 3.24 – Блоки модели Simulink для передачи текущего значения нагрузки в качестве аргумента функций `change_ki` и `change_kp`

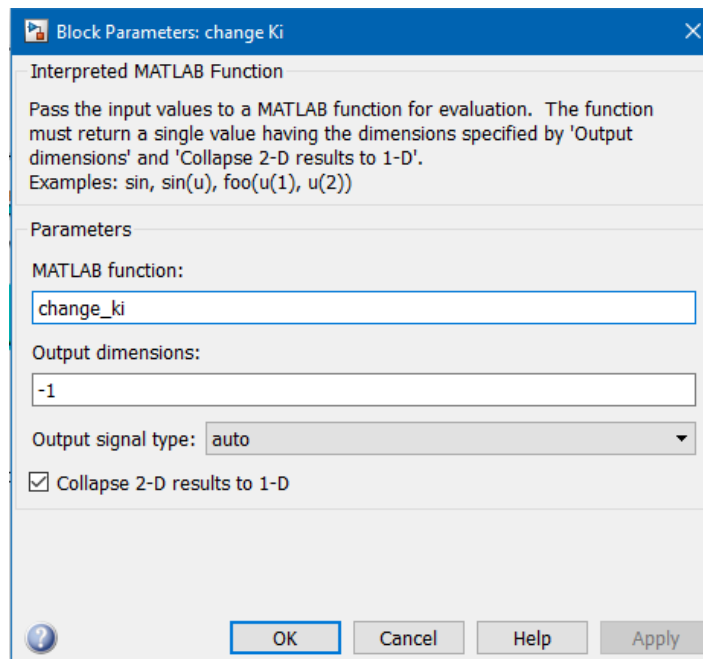


Рисунок 3.25 – Выбор параметров блока Interpreted MATLAB Fcn

В параметр MATLAB function записываем имя функций для расчета коэффициентов change_ki и change_kp.

Блоки OPC Ki и OPC Kp служат для передачи текущих значений коэффициентов Ki и Kp в программу PLC_PRG Codesys в виде входных значений блока PID. Настройка блока OPC Write представлена на рисунке 3.26.

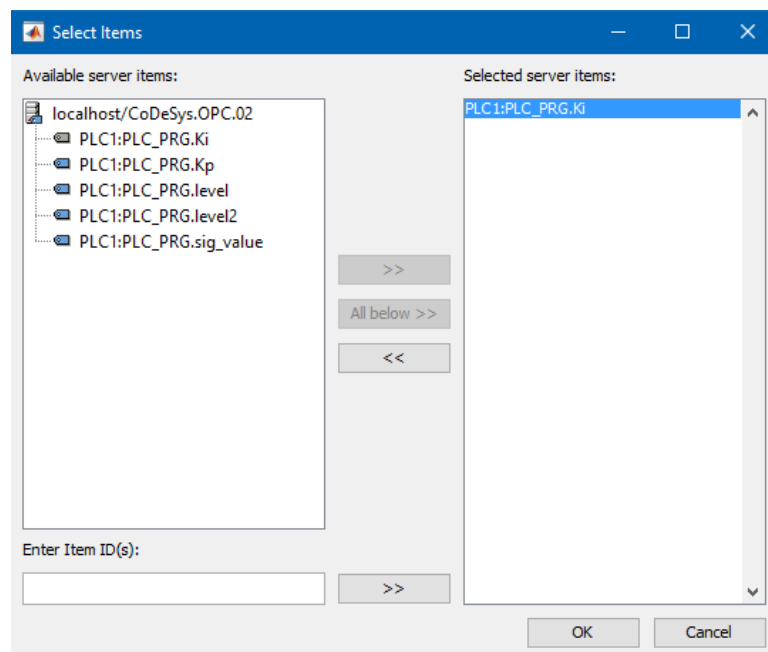


Рисунок 3.26 – Выбор переменных через OPC сервер

Для реализации передачи данных между Codesys и Simulink первым шагом запустим Codesys v2.3 и создадим новый проект, содержащий программу

PLC_PRG на языке FBD, с конфигурацией 3S Codesys SP PLCWinNT V2.4 для эмуляции контроллера. Чтобы настроить связь с контроллером, запустим OPC Configurator. Настройки OPC Configurator представлены на рисунке 3.27.

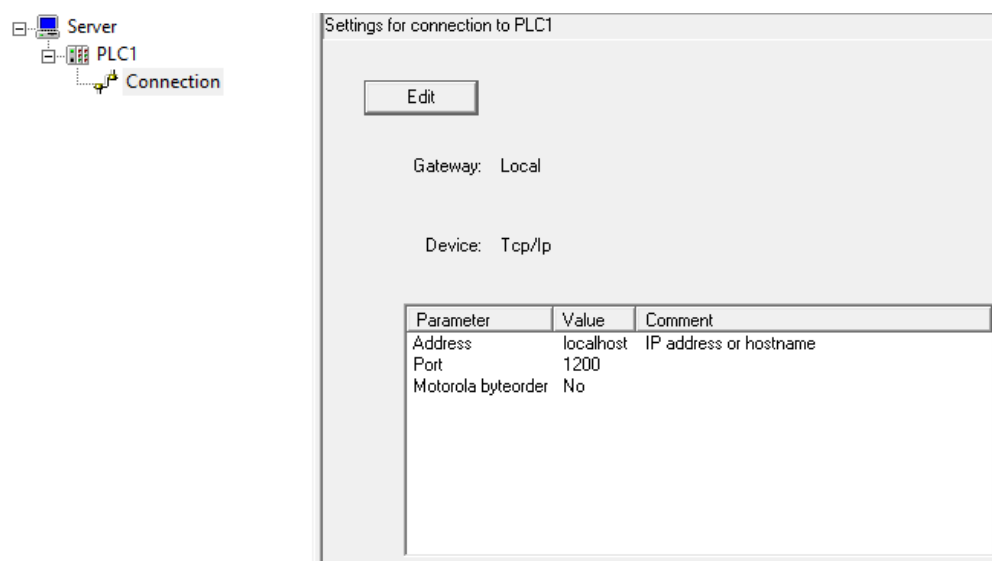


Рисунок 3.27 – Настройки OPC Configurator

Для передачи данных используется соединение TCP/IP, порт 1200.

Выберем переменные в программе Codesys для передачи через OPC сервер. Выбор переменных показан на рисунке 3.28.

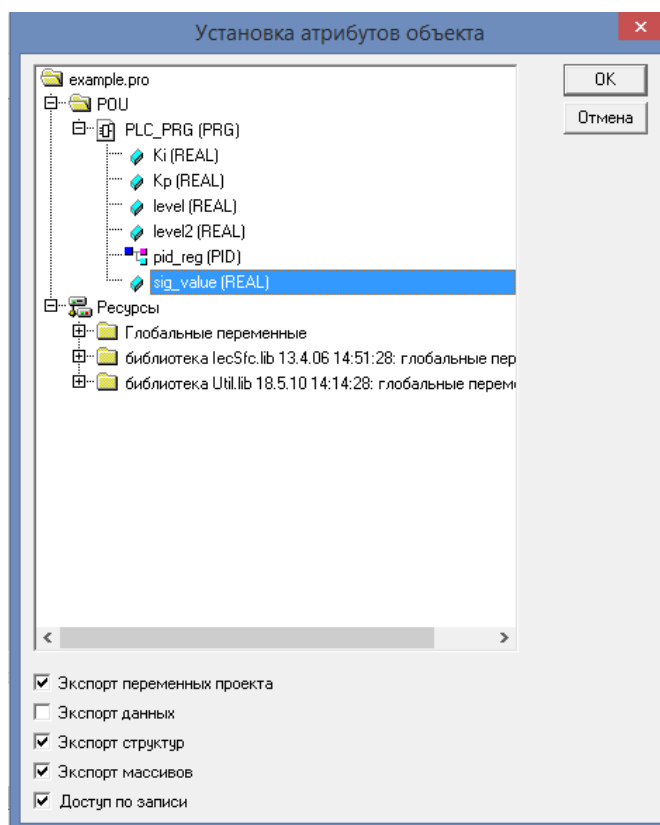


Рисунок 3.28 – Выбор переменных PLC_PRG для передачи через OPC сервер

На следующем шаге запустим контроллер PLCWinNT.

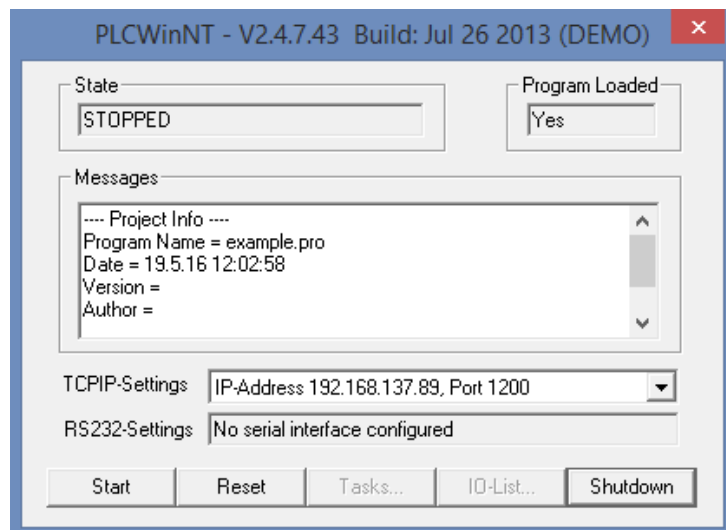


Рисунок 3.29 – Окно PLCWinNT

Для настройки связи модели в Simulink и Codesys используется блок OPC Configuration, настройки данного блока представлены на рисунке 3.26.

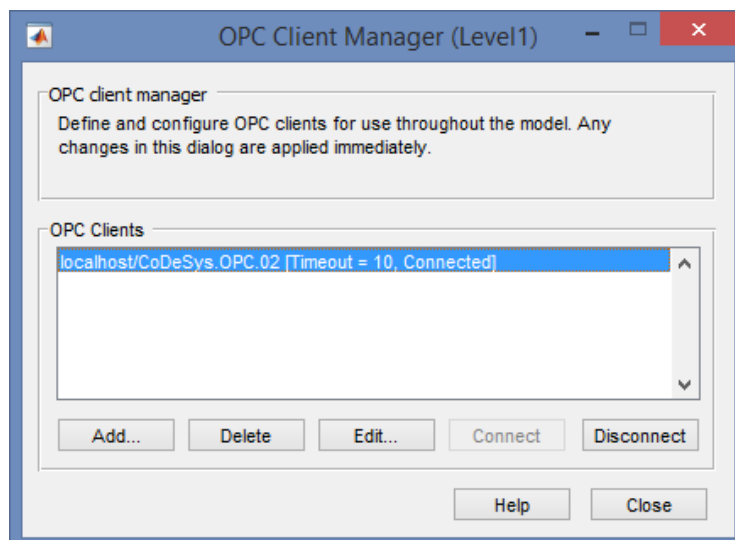


Рисунок 3.30 – Настройка связи с OPC сервером Codesys.OPC.02 блока OPC Configuration

Для передачи текущего значения нагрузки в программу PLC_PRG Codesys используется блок OPC Write.

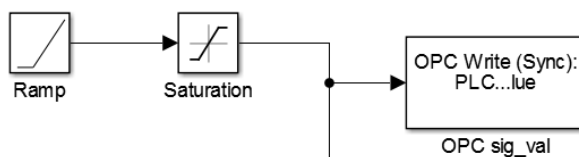


Рисунок 3.31 – Блок OPC Write для передачи текущего значения нагрузки

Блок OPC level используется для передачи текущего значения уровня в

программу PLC_PRG Codesys.

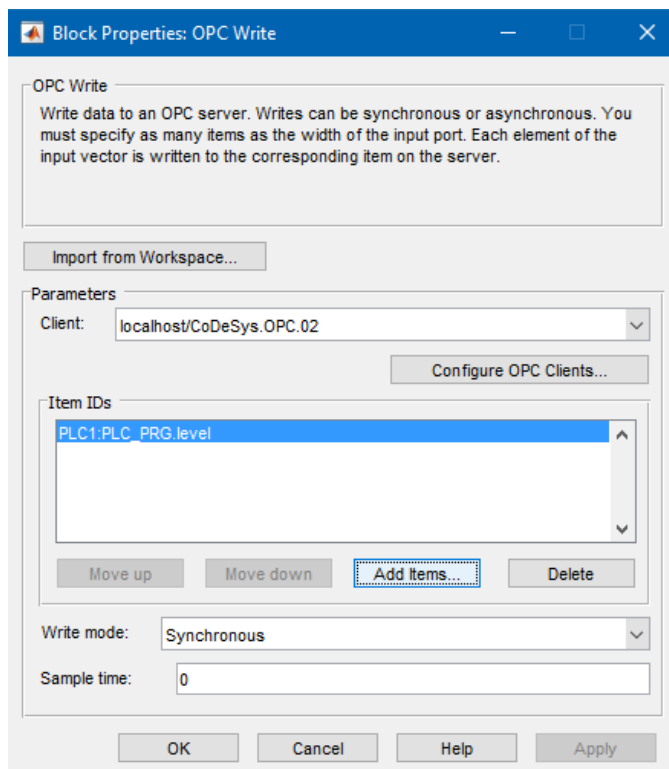


Рисунок 3.32 – Настройка передачи текущего значения уровня через OPC сервер

Программа Codesys имеет структуру, показанную на рисунке 3.33. Главная программа PLC_PRG содержит блок PID. В параметр ACTUAL подается текущее значение уровня, в параметре SET_POINT указывается задание регулятору равно 0. Также в блок PID подаем значения настроек KP и TN, которые рассчитываются в программе MATLAB.

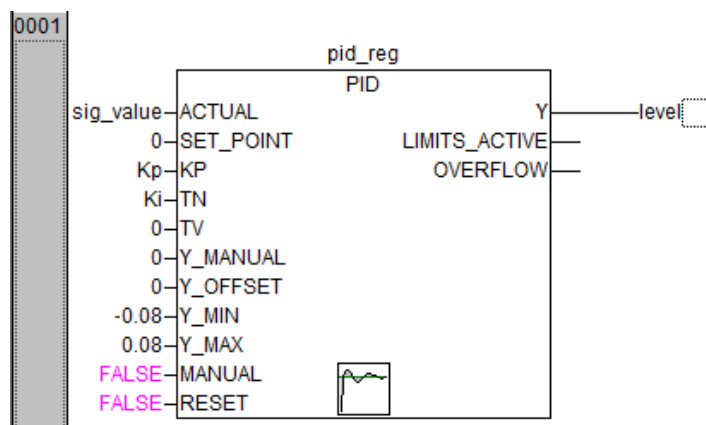


Рисунок 3.33 – Блок PID в программе Codesys PLC_PRG

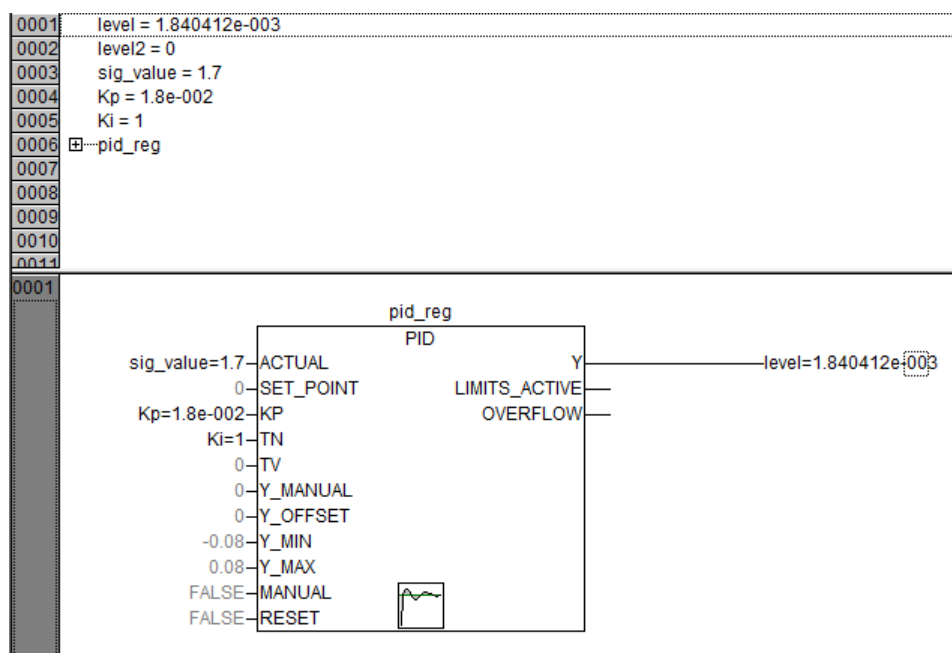


Рисунок 3.34 – Программа PLC_PRG в режиме исполнения

Далее представлена визуализация процесса регулирования уровня.

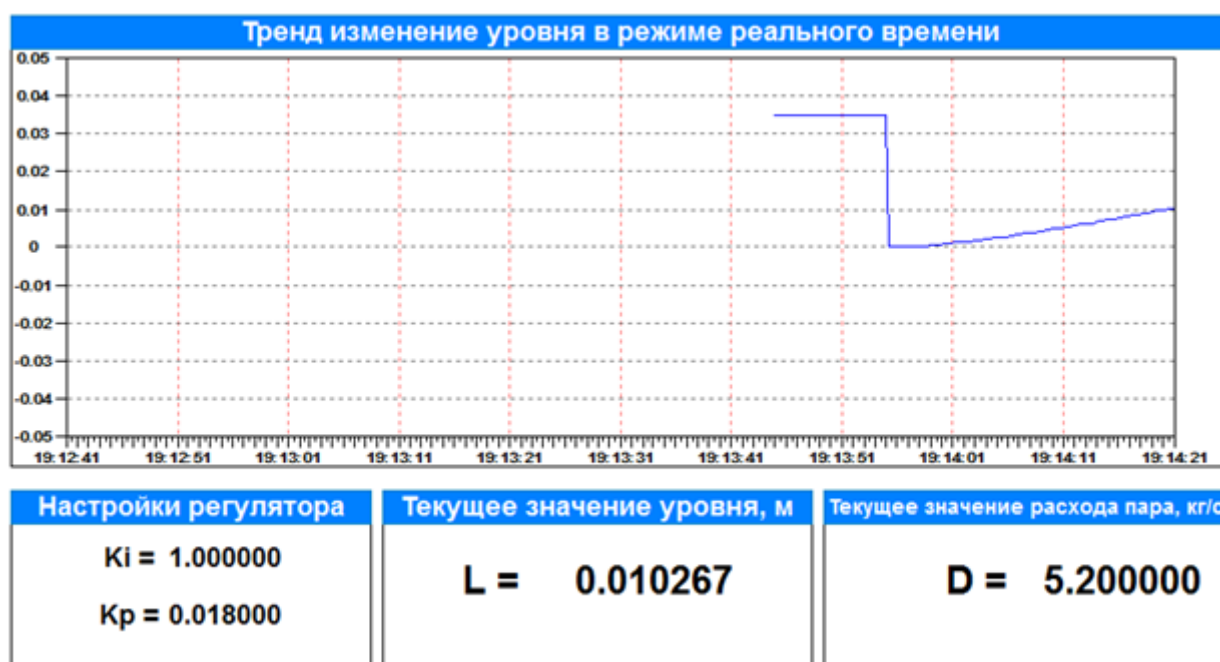


Рисунок 3.35 – Визуализация процесса регулирования уровня

На рисунке 3.36 показано изменение параметра Ki регулятора в режиме реального времени.

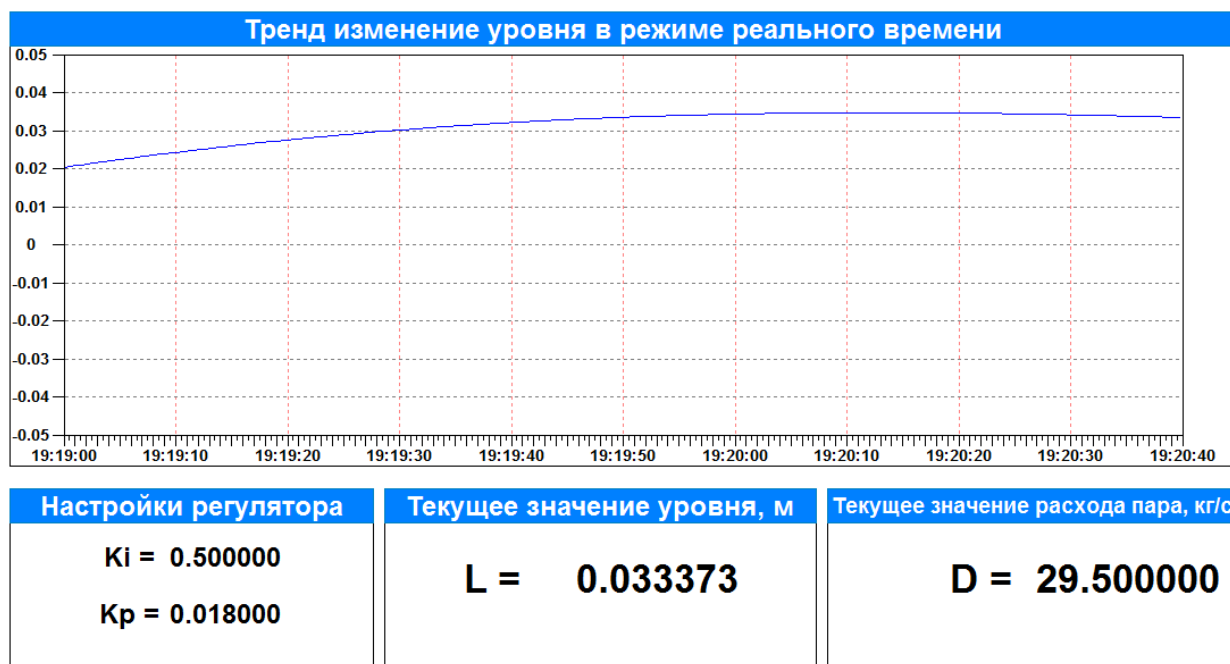


Рисунок 3.36 – Изменение параметра K_i регулятора в режиме реального времени

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Организация и планирование работ

При проведении научно-исследовательскую работы задействовались два исполнителя:

- научный руководитель (НР),
- инженер (И).

Составим таблицу перечня работ и продолжительности их выполнения:

Таблица 4.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Изучение области исследования по тематике	И	И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Изучение литературы	И	И – 100%
Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	НР, И	НР – 10% И – 100%
Выбор основания и направления исследований	НР, И	НР – 100% И – 70%
Разработка нового подхода	И	И – 100%
Анализ эффективности разработанного подхода	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Составление презентации	И	И – 100%

Продолжение таблицы 4.1

Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%
-------------------	-------	----------------------

Расчет продолжительности этапов работ осуществим опытно-статическим вероятностным методом, в котором для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется метод двух оценок

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{\min}$ – минимальная трудоемкость работ, чел/дн,

$t_{\max}$ – максимальная трудоемкость работа, чел/дн.

Составим таблицу продолжительности каждого этапа работ.

Таблица 4.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

№	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях		
			$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{ож}$
1	Постановка целей и задач	НР, И	2	4	2,8
2	Изучение области исследования по тематике	И	5	10	7
3	Разработка календарного плана	И	1	2	1,4
4	Изучение литературы	И	10	15	12
5	Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	И	5	7	5,8
6	Выбор основания и направления исследований	НР, И	2	3	2,4
7	Разработка нового подхода	И	15	30	21
8	Анализ эффективности разработанного подхода	НР, И	2	3	2,4

Продолжение таблицы 4.2

9	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	12	15	13,2
10	Составление презентации	И	3	6	4,2
11	Подведение итогов	НР, И	1	2	1,4
	Итого:				73,6

Рассчитаем длительность этапов работ в рабочих (4.2) и календарных (4.3) днях по формулам:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.2)$$

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{Д}, \quad (4.3)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$);

$T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитаем по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 12$).

Следовательно, коэффициент календарности составляет $T_{К} = 1.213$.

В таблице 4.3 рассчитаем длительности каждого этапа в рабочих и календарных днях.

Таблица 4.3 – Длительность этапов работ

№	Этап	Исполнители	Длительность работ, чел/дн.			
			T _{рд}		T _{кд}	
			НР	И	НР	И
1	Постановка целей и задач	НР, И	3,36	-	4,076	-
2	Изучение области исследования по тематике	И	-	8,4	-	10,189
3	Разработка календарного плана	И	1,68	0,168	2,0378	0,204
4	Изучение литературы	И	-	14,4	-	17,467
5	Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	И	0,696	6,96	0,8443	8,443
6	Выбор основания и направления исследований	НР, И	2,88	2,016	3,494	2,445
7	Разработка нового подхода	И	-	25,2	-	30,568
8	Анализ эффективности разработанного подхода	НР, И	-	2,88	-	3,494
9	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	-	15,84	-	19,214
10	Составление презентации	И	-	5,04	-	6,114
11	Подведение итогов	НР, И	1,008	1,68	1,223	2,038
	Итого:		9,624	82,584	11,674	100,17

Рассчитаем величину завершенности работы на каждом из этапов. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$H_i = \frac{t_{Hi}}{t_0} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где t_{Hi} - нарастающая трудоемкость с момента начала работы i -го этапа;

t_0 – общая трудоемкость, вычисляемая по формуле (4.6).

$$t_0 = \sum_{i=1}^n t_{ож_i}, \quad (4.5)$$

где $t_{ож_i}$ – ожидаемая продолжительность i -го этапа.

Удельный вес каждого этапа Y_i определяется по формуле:

$$Y_i = \frac{t_{ож_i}}{t_0} \cdot 100\%. \quad (4.6)$$

В таблице 4.4 отображены основные результаты завершенности и удельного веса каждого этапа.

Таблица 4.4 – Основные результаты завершенности работы на каждом из этапов.

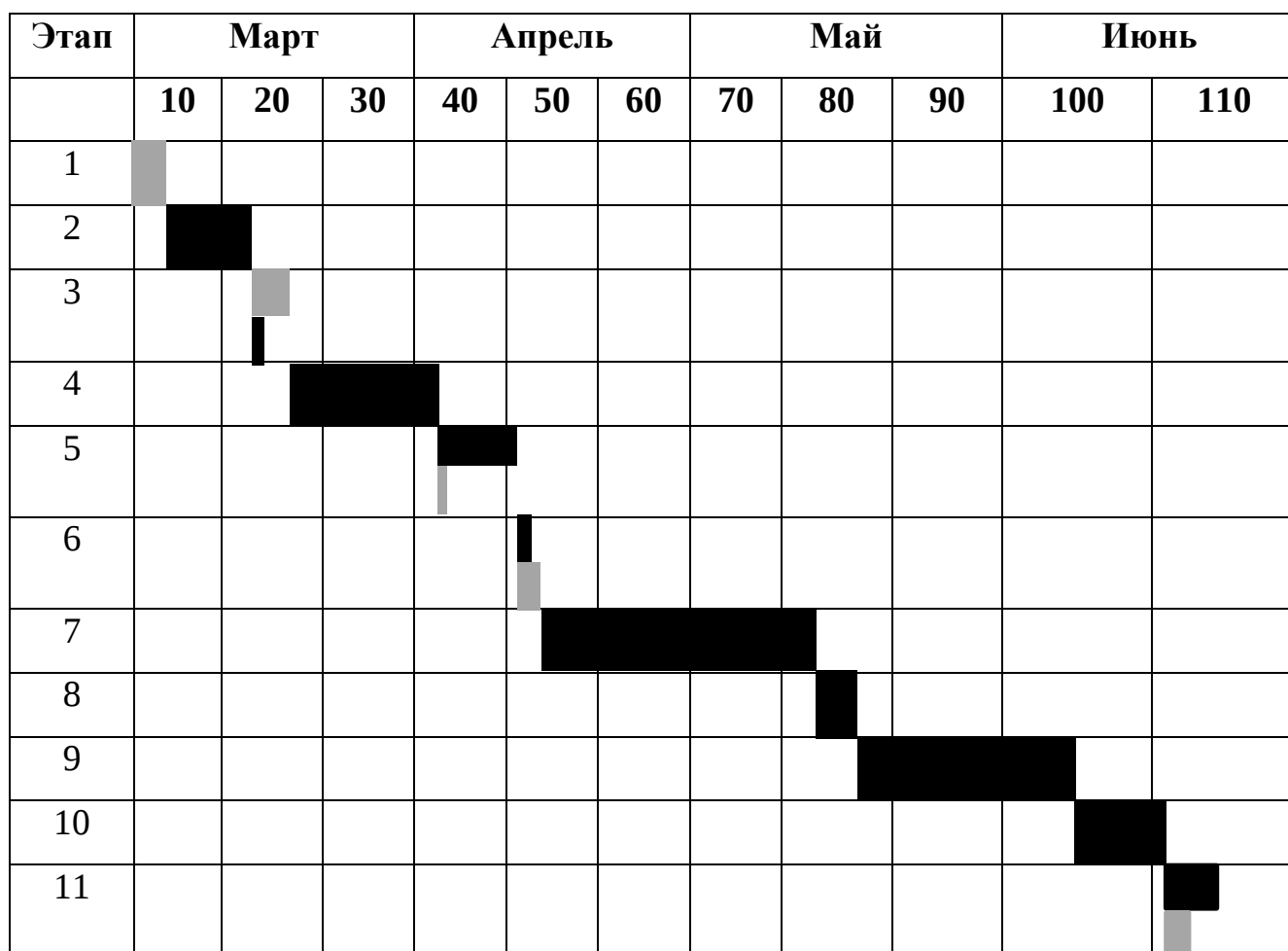
№	Этап	$H_i, \%$	$Y_i, \%$
1	Постановка целей и задач	3,8	3,8
2	Изучение области исследования по тематике	13,32	9,5
3	Разработка календарного плана	15,22	1,9
4	Изучение литературы	31,52	16,3
5	Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	39,4	7,9
6	Выбор основания и направления исследований	42,66	3,3
7	Разработка нового подхода	71,19	28,5

Продолжение таблицы 4.4

8	Анализ эффективности разработанного подхода	74,47	3,3
9	Оформление расчетно- пояснительной записки	92,39	17,9
10	Составление презентации	98,1	5,7
11	Подведение итогов	100	1,9

Таблица 4.5 иллюстрирует линейный график работ на основе рассчитанного для инженера и научного руководителя времени $T_{\text{КД}}$.

Таблица 4.5 – Линейный график работ



■ НР ■ И

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье относятся стоимость покупных материалов, используемых при разработке. Таблица 4.6 сметой расходов на покупные материалы, включающая цену за единицу материала, количество и общую сумму.

Таблица 4.6 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Тетрадь 48л.	35	2 шт.	70
Бумага для принтера формата А4	150	1 уп.	150
Ручка шариковая	14	3 шт.	42
Итого:			262

Общая цена на расходные материалы составили $C_{\text{мат}} = 262$ рубля.

4.2.2 Расчет основной заработной платы

Следующая статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, выполняющего разработку. Расчет основной

заработной платы основывается на трудоемкости выполнения каждого из этапов и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/п} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}} . \quad (4.7)$$

Так как в году 302 рабочих дня, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дней. Затраты на выполнение работы по каждому исполнителю отображены в таблице 4.3. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. 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 $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 4.7 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы , руб.
НР	23264	924,30	10	1,699	15703,86
И	12000	476,76	83	1,62	64105,15
Итого:					79809

Таким образом затраты на основную заработную плату составили $C_{\text{зп}} = 79809$ руб.

4.2.3 Расчет отчислений в социальные фонды

Отчисления по данной статье определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}} , \quad (4.8)$$

где $K_{соц}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений. Следующий коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Таким образом, отчисления от заработной платы составляют $C_{соц} = 0,3 \cdot 79809 = 23942,7$.

4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья расходов включает в себя затраты на электроэнергию, затраченную при работе необходимого для разработки оборудования и освещения. Затраты на электроэнергию при работе оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{эл.об} = P_{об} \cdot Ц_{э} \cdot t_{об} , \quad (4.9)$$

где $Э_{об}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$ – тарифная цена за 1 кВт час, $Ц_{э} = 5,257$ руб/кВт час;

$t_{об}$ – время оборудования, час.

Время работы оборудования вычислим на основе данных таблицы 4.3 из расчета того, что продолжительность рабочего дня длится 8 часов.

Затраты на электроэнергию необходимые для разработки и выполнения проекта приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $Э_{об}$, руб.
Персональный компьютер	664*0,6	0,3	628,32

Продолжение таблицы 4.8

Струйный принтер	16,6	0,1	8,73
Итого:			637,05

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{ОБ}}{F_D} \cdot t_{BT} \cdot n, \quad (4.14)$$

Где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 25\%$;

$C_{ОБ}$ – цена оборудования, $C_{ОБ} = 36990$ руб.;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 2384$ часов;

t_{BT} – время работы вычислительной техники при создании программного продукта, $t_{BT} = 664$ часа;

n – число задействованных ПЭВМ, $n = 1$.

Таким образом, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 36990 \cdot 664}{2384} = 2575,64 \text{ рублей.}$$

4.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Прочие расходы составляют 10% от единовременных затрат на выполнение технического продукта и проводятся по формуле:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{МАТ} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ.ОБ} + C_{AM}) \cdot 0,1. \quad (4.15)$$

Следовательно,

$$C_{ПРОЧ} = (262 + 79809 + 23942,7 + 637,05 + 2575,64) \cdot 0,1 = 10722,64.$$

4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

После проведения расчета затрат на разработку можно рассчитать себестоимость разработки подхода к идентификации.

Таблица 4.9 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
1 Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	262
2 Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	79809
3 Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	23942,7
4 Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	637,05
5 Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2575,64
6 Работы, выполняемые сторонними организациями 7	$C_{\text{СТОП}}$	—
8 Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	10722,64
Итого:		117949,03

Общие расходы на разработку составили $C = 117949,03$ рублей.

4.2.8 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 23589,8 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

4.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(117848,03 + 23589,8) * 0,18 = 25458,81$ руб.

4.2.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 117949,03 + 23589,8 + 25458,81 = 166997,64 \text{ руб.}$$

4.2.11 Полная смета затрат на выполнение НИР

Таблица 4.10 отображает полную смету затрат, потраченную на разработку.

Таблица 4.10 – Полная смета затрат

Наименование статьи	Затраты, руб.
1 Материалы и покупные изделия	262
2 Основная заработная плата	79809
3 Отчисления в социальные фонды	23942,7
4 Расходы на электроэнергию	637,05
5 Амортизационные отчисления	2575,64
6 Прочие расходы	10722,64
7 Общая себестоимость проекта	166997,64

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

Экономический эффект характеризуется выраженной в стоимостных показателях экономией живого общественного труда. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда.

Для итоговой оценки результатов проекта в зависимости от поставленных

целей в качестве критерия эффективности принимается один из видов эффекта, а остальные используются в качестве дополнительных характеристик.

Разработанный метод настройки параметров регулятора уровня воды в барабане котла позволяет обеспечивать требуемые показатели качества регулирования, предъявляемые к поддержанию уровня. Практическая реализация разработанного проекта позволяет повысить надежность работы котельного агрегата, в частности предотвратить нарушение циркуляции в экранных трубах, в результате чего может произойти повышение температуры стенок обогреваемых труб и их перегрев, а также предотвратить заброс воды в пароперегреватель и турбину, что может вызвать занос пароперегревателя солями и поломку турбины. Представленные выше преимущества разработанного метода увеличат срок эксплуатации котельного оборудования, а также увеличат время межремонтного периода, что в свою очередь сократит эксплуатационные затраты.

4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{HTY} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (4.15)$$

где K_{HTY} – коэффициент научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 4.11 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та n_i
1 Уровень новизны	0,4
2 Теоретический уровень	0,3
3 Возможность реализации	0,8

Таблица 4.12 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 4.13 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6

Продолжение таблицы 4.13

4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 4.14 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	R_i
Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	0,4
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,3
Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,8
Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	

Таким образом, показатель научно-технического уровня для данной

разработки составляет $K_{НТУ} = 0,4 \cdot 6 + 0,3 \cdot 6 + 0,8 \cdot 6 = 9$.

По таблице 4.16, исходя из вычисленного коэффициента научно-технического уровня, оценим уровень научно-технического эффекта.

Таблица 4.16 – Оценка научно-технического уровня

Уровень научно-технического эффекта	Показатель научно-технического эффекта
Низкий	1 – 4
Средний	5 – 7
Сравнительно высокий	8 – 10
Высокий	11 – 14

Обоснование оценки признаков НИОКР приводится в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Новая	6	Компенсирует недостатки существующих методов и подходов
Теоретический уровень	0,3	Разработка способа	6	Разработан новый подход к идентификации
Возможность реализации	0,8	От 5 до 10 лет	4	Требуется программной реализации и доработки учета возмущающих факторов

5 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой модели в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды

В работе исследовано влияние изменяющейся нагрузки котла на качество управления его параметрами. Построена модель управления котлоагрегатом, а также предложено решение для стабилизации работы котла в условиях изменяющейся нагрузки. Полученное решение позволяет управлять котельным агрегатом при меняющихся нагрузках без аварийных последствий.

В данной главе рассмотрено рабочее место, на котором проводились научно-исследовательские работы по теме магистерской диссертации. Работа в основном проводилась с использованием персонального компьютера и прилагающими периферийными устройствами.

5.1 Производственная безопасность

Анализируя факторы рабочей зоны при проведении исследований с персональным компьютером можно классифицировать следующим образом:

- отклонение от нормы температуры воздуха рабочей зоны;
- отклонение от нормы влажности воздуха;
- уровень отрицательных и положительных аэроионов;
- значение напряжения в электрической цепи, замыкание;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- напряженность электрического поля;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны;
- яркость света;
- контрастность;

- прямая и отраженная блескость;
- повышенное зрительное напряжение, монотонность трудового процесса, нервно-эмоциональные перегрузки;

Самым распространённым фактором, наносящим вред пользователю, является постоянным и значительным напряжением зрительного аппарата.

5.2 Производственная санитария

5.2.1 Шум

Существует два вида шума:

- импульсный;
- тональный.

В соответствии с [12], тональный шум сопровождается звуком определенной частоты. Источником такого шума могут являться машинные генераторы высокочастотных токов. Для снижения вреда тональных шумов, источники располагают в специализированных помещениях.

Импульсный шум – это звук, повторяющийся с определенным периодом, сопровождающийся импульсами звуковой энергии. Источниками таких шумов главным образом являются ковочные и штамповочные молоты, создающие импульсные потоки звуковых волн. Для снижения влияния импульсных шумов, оборудование устанавливают на специальные амортизирующие фундаменты.

Нормируемыми параметрами шума являются уровни в децибелах (дБ) среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых на линейной характеристике шумомера (или шкале С) в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Для ориентировочной оценки шума разрешается измерять его общий уровень по шкале А шумомера в дБ.

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений 50 дБА.

5.2.2 Отклонение параметров микроклимата

Метеорологические условия воздушной среды производственных помещений определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового облучения [13].

Температура или степень нагретости воздуха является основным фактором микроклимата рабочей зоны. Температура воздуха рабочей зоны может изменяться за счет работающего оборудования, являющимся источниками тепловой энергии.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте соответствуют величинам, приведенным в таблице 5.1, применительно к выполнению работ категории Ia в холодный и теплый периоды года.

Таблица 5.1 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодный	Легкая - Ia	22-24	21-25	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	Легкая - Ia	23-25	22-28	40-60	55 при 28°С	0,1	0,1-0,2

5.2.3 Уровень электромагнитных полей

Каждый ПК включает в себя такие устройства, как блок питания, монитор, формирующие сложную электромагнитную обстановку [14].

В таблице 5.2 отображены основные частные характеристики электромагнитного излучения ПК.

Таблица 5.2 – Частотные характеристики электромагнитного излучения ПК

Источник	Диапазон частот (первая гармоника)
Монитор, сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
Статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20-100 кГц
Блок кадровой развертки и синхронизации	48-160 кГц
Блок строчной развертки и синхронизации	15-110 кГц
Системный блок (процессор)	50-1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20-100 кГц

В таблице 5.3 приведены показатели предельно допустимых норм по каждому из типов полей.

Таблица 5.3 – Показатели ПДУ по каждому из типов полей

Вид поля	Единица измерения	Нормативный показатель
Геомагнитное	А/м или мкТл, нТл	$K \leq 2$
Электромагнитное	кВ/м	$E_{\text{ПДУ}} = 60 \text{ кВ/м в 1 час}$
Постоянное магнитное	А/м или мТл	$H_{\text{ПДУ}} = 16 \text{ А/м, } B_{\text{ПДУ}} = 20 \text{ мТл за 1 час}$
Электромагнитное поле частотой 50 Гц	кВ/м	$E_{\text{ПДУ}} = 5 \text{ кВ/м}$

Примечание: К – коэффициент ослабления, который определяется отношением интенсивности напряженности магнитного поля, измеренной в открытом пространстве, к его интенсивности внутри помещения. $E_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимый уровень электростатического поля. $H_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимый уровень напряженности магнитного поля. $B_{\text{ПДУ}}$ - предельно допустимый уровень индукции магнитного поля.

Для защиты организма человека от действия электромагнитных излучений предполагает снижение их интенсивности до уровня, не превышающих предельно допустимые [14].

Существует ряд защитных решений, позволяющих снизить влияние электромагнитных полей на человека:

- защита временем;
- защита расстоянием;
- защита рациональным (оптимальным) размещением;
- инженерно-технические меры защиты;
- экранирование.

При разработке модели управления использовался монитор компании «LG», который удовлетворяет всем требованиям по излучениям электромагнитных полей.

5.2.4 Недостаточная освещенность

От степени освещенности напрямую зависит не только здоровье глаз и работоспособность человека, но еще и его физическое и психоэмоциональное состояние. Причем в помещениях различного назначения требования по освещенности должны различаться. Также, при расчете освещенности разумно учитывать характеристики рабочего процесса, осуществляемого человеком в таком помещении, его периодичность и длительность.

Существуют специальные таблицы отображающие нормы освещенности. В таблице 5.4 отображены основные показатели норм освещенности.

Таблица 5.4 – Основные нормы освещенности по СНиП 52.13330.2011

Вид помещения	Норма освещенности согласно СНиП, Лк
Офис общего назначения с использованием компьютеров	200-300

Продолжение таблицы 5.4

Офис большой площади со свободной планировкой	400
Офис, в котором осуществляются чертежные работы	500
Зал для конференций	200
Эскалаторы, лестницы	50-100
Холл, коридор	50-75
Архив	75
Кладовая	50

Согласно Таблице 5.4, рабочее место, на котором осуществлялась разработка модели управления, является офис общего назначения с использованием ПК.

5.2.5 Напряженность труда

Напряженность труда возникает вследствие того, что работа при написании магистерской диссертации проходит в основном за компьютерным столом, приводя к усталости к концу рабочего дня, к слезоточивости глаз, к головным болям и к снижению работоспособности - все эти факторы отрицательно влияют на состояние здоровья.

К мероприятиям компоновки рабочей зоны относятся эргономические требования. Эргономическими требованиями рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость рабочего места и его элементов.

Главными элементами рабочего места являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Кресло обеспечивает физиологически рациональную рабочую позу, при которой не нарушается циркуляция крови и не происходит других вредных воздействий. Для этого у кресла есть спинка анатомической формы, которая уменьшит нагрузку на позвоночник. Также для того чтобы снимать нагрузку с мышц плечевого пояса у кресла имеются подлокотники и имеет возможность поворота, изменения высоты и угла наклона сиденья и спинки.

Работа с вводом информации. Неправильное положение рук при печати на клавиатуре приводит к хроническим растяжениям кисти. Необходимо держать локти параллельно поверхности стола и под прямым углом к плечу, поэтому клавиатура должна располагаться в 10-15 см (в зависимости от длины локтя) от края стола. В этом случае нагрузка приходится не на кисть, в которой вены и сухожилия находятся близко к поверхности кожи, а на часть локтя.

На рабочем месте присутствует современная, эргономичная модель, которая имеет оптимальную площадь для клавиатуры за счет расположения монитора в самой широкой части стола. Глубина стола позволяет полностью положить локти на стол, отодвинув клавиатуру к монитору. Мышь с формой, уменьшающей усталость кисти при длительной работе.

Расположение монитора. Рекомендуется держать монитор на расстоянии вытянутой руки. Но при том, что человек должен иметь возможность сам решать, насколько далеко будет стоять монитор. Именно поэтому конструкция современных столов позволяет менять глубину положения монитора в широком диапазоне. Верхняя граница на уровне глаз или не ниже 15 см ниже уровня глаз.

Положение за компьютером. Регулируемое оборудование должно быть таким, чтобы можно было принять следующее положение:

- поставить ступни плоско на пол или на подножку.
- слегка выгнуть поясницу, опираясь на спинку кресла.
- удобно расположить руки по сторонам.
- линию плеч расположить прямо над линией бедер.
- предплечья положить на мягкие подлокотники на такой высоте, чтобы запястья располагались чуть ниже, чем локти.
- локти согнуть и расположить примерно в 3 см от корпуса.
- запястья ни подняты, ни опущены.

В век компьютеризации техника развивается особенно стремительно, появляются и устаревают различные технические решения и стандарты.

5.3 Анализ выявленных опасных проявлений факторов производственной среды

5.3.1 Электрический ток

Электротравматизм составляет значительную долю в общем числе несчастных случаев. Специалистам-электрикам и рядовым пользователям известно большое количество случаев гибели или тяжелого поражения людей от удара электрическим током или возгораний и пожаров, вызванных неисправностями электрооборудования и электропроводок.

По условиям производственной среды помещение, в котором находится рабочее место, по степени опасности поражения электрическим током относится к категории без повышенной опасности, так как отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Источниками поражения током являются состояние электропроводки, выключателей, штепсельных розеток, при помощи которых оборудование включается в сеть, и заземления.

В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного

прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены, а ограждение имеет блокировку, отключающую подачу электроэнергии в случае снятия ограждения. Токоведущие части надежно изолированы, применены защитные ограждения (кожухи, крышки, сетки и т.д.), токоведущие части расположены на недоступной высоте. В установках напряжением до 1000 В достаточную защиту обеспечивает применение изолированных проводов.

5.3.2 Факторы пожарной и взрывной природы

Согласно Техническому регламенту «О пожарной безопасности» по пожарной и взрывопожарной опасности помещение относится к категории пожароопасное (В). К категориям В относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются).

Категории помещений по пожарной и взрывопожарной опасности определяются исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

По степени огнестойкости данное помещение относится к I-й степени огнестойкости по СНиП 21-01-97 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии в помещении используются первичные средства пожаротушения, которые предназначены для использования до прибытия пожарной команды.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок на рабочем месте

имеется в наличии переносной, порошковый, закачиваемый огнетушитель ОП-3. Зарядку порошковых огнетушителей производится один раз в пять лет.

Здание соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно: есть охранно-пожарная сигнализация, план эвакуации, порошковый огнетушитель с поверенным клеймом, таблички с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

5.4 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Исследования, проводимые в ходе написания магистерской диссертации оказывают негативное влияние на окружающую среду. Так как при реализации данного проекта образуются отходы бытового характера.

В помещении отсутствуют отдельные контейнеры для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Поэтому рекомендовано заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В случае возникновения на территории организации и за ее пределами чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также других ситуаций, которые могут создавать угрозу жизни и здоровья персонала необходимо соблюдать все требования установленной в организации инструкции.

Наиболее вероятными чрезвычайными ситуациями на территории

проведения научных исследований в рамках подготовки магистерской диссертации являются: ЧС техногенного характера, обрушения зданий и сооружений, различные нештатные ситуации.

Рассмотрим действия работников в случае возникновения ЧС техногенного характера.

Действия в случае возникновения взрыва

При угрозе взрыва следует лечь на живот, защищая голову руками, подальше от окон, застекленных дверей, проходов, лестниц.

Если произошел взрыв, принять меры к недопущению пожара и паники; оказать первую помощь пострадавшим.

Каждый работник при обнаружении очага загорания или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т. п.) должен: незамедлительно сообщить об этом по телефону «01» или «010» (для мобильной связи). При этом назвать наименование объекта, место взрыва, пожара, а также свою фамилию; принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и сохранности материальных ценностей.

Рассмотрим действия работников в случае обрушения здания.

Покидая помещение, спускаться по лестнице, а не на лифте: он в любой момент может остановиться.

Не паниковать, не устраивать давку в дверях при эвакуации. Останавливать тех, кто собирается прыгать с балконов (этажей выше первого) и через застекленные окна.

Если отсутствует возможность покинуть здание, занять безопасное место: проемы капитальных внутренних стен, углы, образованные капитальными внутренними стенами, под балконами каркаса (они защищают от падающих предметов и обломков). Открыть дверь из помещения, чтобы обеспечить выход.

Не поддаваться панике и сохранять спокойствие. Держаться подальше от окон, электроприборов.

Если возник пожар, незамедлительно попытаться потушить его. Телефон использовать только для вызова представителей правоохранительных органов,

пожарной охраны, врачей, спасателей.

Не пользоваться спичками: существует опасность взрыва вследствие утечки газа.

Оказавшись на улице, не стоять вблизи здания. Перейти на открытое пространство.

Проанализируем действия рабочего персонала при возникновении различных нештатных ситуаций.

Действия в случае совершения террористического акта (взрыва)

Немедленно покинуть место происшествия, так как рядом могут находиться дополнительные взрывные устройства. Выйти из здания на улицу или спрятаться в укрытии, если таковое имеется.

Держаться подальше, насколько это будет возможно, от высоких зданий, стеклянных витрин или транспортных средств.

Если поблизости находятся сотрудники правоохранительных органов, следовать их указаниям.

Если сотрудники правоохранительных органов еще не прибыли, немедленно позвонить им. Не создавать толпу и не присоединяться к ней.

Владея информацией, которая сможет помочь задержать подозреваемых и определить местонахождение транспортного средства, причастного к террористическому акту, оперативно сообщить об этом в правоохранительные органы.

Действия при обнаружении взрывных устройств или подозрительных предметов

В случае обнаружения подозрительных предметов в здании на территории, оперативно сообщить о находке в правоохранительные органы и руководству.

Не трогать, не вскрывать и не перемещать находку. Зафиксировать время ее обнаружения. Помнить: внешний вид предмета может скрывать его истинное назначение. В качестве камуфляжа для взрывных устройств используются обычные бытовые предметы, сумки, пакеты, свертки, коробки, игрушки и т. д.

Не предпринимать самостоятельно никаких действий с предметами, с подозрением на наличие взрывного устройства: это может привести к взрыву, многочисленным жертвам и разрушениям.

Не подходить к взрывным устройствам и подозрительным предметам.

5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.6.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

В соответствии с государственными стандартами и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);
- обеденный перерыв не менее 40 минут.

Обязательно предусмотрен предварительный медосмотр при приеме на работу и периодические медосмотры. Каждый сотрудник должен пройти инструктаж по технике безопасности перед приемом на работу и в дальнейшем, должен быть пройден инструктаж по электробезопасности и охране труда. Предприятие обеспечивает рабочий персонал всеми необходимыми средствами индивидуальной защиты.

Оплата труда, социальные пособия, дополнительные выплаты устанавливаются в соответствии со степенью вредности и опасности выполняемых обязанностей.

5.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При компоновке рабочего места с ПЭВМ были соблюдены следующие требования:

1. расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), не менее 2.0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1.2 м;

2. рабочее место с ПЭВМ размещено в изолированном кабинете с организованным воздухообменом, так как на предприятии присутствуют источниками вредных производственных факторов;

3. экран видеомонитора находится от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм и не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;

4. конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;

5. конструкция рабочего стула обеспечивает поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволяет изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления;

6. поверхность сиденья, спинки и других элементов стула является полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием;

7. температура воздуха в помещении допускается в пределах 20-25 °С при относительной влажности до 75 %; резкие перепады температуры не допускаются;

8. не допускается излишняя запыленность воздуха в помещении (не более 1 мг/м³ при максимальном размере частиц 3 мкм); обязательна влажная ежедневная уборка помещения.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была реализована адаптация настроечных коэффициентов регулятора с целью поддержания уровня воды в барабане парогенератора ВВЭР-1000 в допустимых пределах.

Проводились исследования влияния подаваемого вида сигнала нагрузки расходом пара на изменение уровня. Были исследованы такие виды сигнала нагрузки, как ступенчатый, линейный, экспоненциальный и ступенчато возрастающий. По результатам проведенного исследования было установлено, что изменение расхода пара, представляющее линейно возрастающее воздействие, является самым оптимальным, а также рассчитаны наборы настроечных коэффициентов регулятора.

Также было реализовано изменение настроечных коэффициентов регулятора в режиме реального времени и выполнена визуализация процесса регулирования уровня.

Программная реализация модели парогенератора была произведена в программном компоненте Simulink, визуализация процесса была произведена в программном пакете Codesys. Для обмена данными использовался OPC-сервер Codesys.

Также в ходе выполнения выпускной квалификационной работы было проведено технико-экономическое обоснование, включающее перечень этапов работ и их продолжительности. Составлена смета затрат на выполнение проекта и подсчитана себестоимость выполненной разработки. Также произведена оценка научно-технического уровня научно-исследовательской работы.

В разделе социальная ответственность приведены факторы, наносящие вред здоровью человека, также отображены основные нормы окружающей среды и описана техника безопасности при работе с персональным компьютером.

Список публикаций

1. Фирсов И.С., Ефимов С.В. Адаптация настроечных параметров регулятора уровня воды в парогенераторе котлоагрегата // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г.: в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК); под ред. Т. Е. Мамоновой [и др.]. – 2016. – Т. 1. – [С. 288-289].

Список использованных источников

1. Добкин В.М., Дулеев Е.М., Фельдман Е.П. Автоматическое регулирование тепловых процессов на электростанциях. Учебник. Л.-М. Госэнергоиздат. 1959.
2. Ключев А.С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов, М., «Энергия», 1970.
3. Поляков А.В. 3-х импульсная АСР уровня воды в парогенераторе с ПИ- регулятором и импульсами по расходам воды и пара. [Электронный ресурс]. – URL:<http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/15.php>.
4. Чаки Ф. Современная теория управления. Нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / пер. с англ.; под ред. Н.С. Райбмана. – М.: Мир, 1975.
5. Жмудь В.А., Терешкин Д.О., Прыткова В.О. Адаптивные системы автоматического управления. Сборник научных трудов НГТУ. – 2011. – № 1(63). – 23–40 с.
6. Александров А.Г., Паленов М.В. Состояние и перспективы развития адаптивных ПИД- регуляторов в технических системах
7. Новиков С. И. Оптимизация автоматических систем регулирования теплоэнергетического оборудования / С. И. Новиков. – Новосибирск: НГТУ, 2006.
8. Мелков Д. А. Сравнение методов настройки ПИД-регулятора при колебаниях параметров возмущающего воздействия // Молодой ученый. — 2013. — №4. — с. 72-76.
9. Денисенко В.В. Непараметрическая модель объекта управления в ПИД регуляторах с автоматической настройкой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 6. – С. 9–13.
10. Писарев А.В. Основные принципы построения адаптивного регулятора температуры вторичного пара парового котла / Сборник научных трудов НГТУ. – 2011. – № 2(64). – с. 25-30.

11. Методы классической и современной теории автоматического управления/ Под ред. Н.Д. Егунова, М., 2000.
12. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации / URL: <http://www.cta.ru/cms/f/364276.pdf> (дата обращения: 15.05.2016).
13. Производственная санитария: шум, ультразвук, вибрации / URL: <http://www.mtomd.info/archives/3084> (дата обращения: 10.05.2016).
14. Производственная санитария // микроклимат в производственных помещениях / URL: http://uchebniki.ws/10810806/bzhd/proizvodstvennaya_sanitariya (дата обращения: 10.05.2016).
15. Фирсов И.С., Ефимов С.В. Адаптация настроечных параметров регулятора уровня воды в парогенераторе котлоагрегата / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК); под ред. Т. Е. Мамоновой [и др.]. – 2016. – Т. 1. – [С. 288-289].
16. Волощенко А.В. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие / А.В. Волощенко, Д.Б. Горбунов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 108 с.
17. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций, М.: Энергоатомиздат, 1986.
18. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для студентов вузов / В. Я. Ротач. – 4-е изд., стер. – Москва: Изд-во МЭИ, 2007.
19. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления: В 3-х ч. / А.А. Воронов. – М.: Энергия, 1965-Ч.1. — 1965. – 396 с.
20. Шафрановский В.А. Справочник наладчика автоматики котельных установок. – Симферополь: Таврия, 1987. – 176 с.
21. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

22. Щербаков В.С., Руппель А.А., Глушец В.А. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде Matlab и Simulink: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 160 с.
23. Золотых Н.Ю. Краткая сводка по языку Matlab.
24. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений: Учебно-справочное пособие. Под общ. ред. к.т.н. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.

Приложение А

Раздел 3

Результаты проведенного исследования

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Фирсов Иван Сергеевич		

Консультант кафедры АИКС

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Ефимов Семён Викторович	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ИЯИК	Логинова Анна Владимировна	-		

3 Results of the research

In [4] for the three-component ACS model of the steam generator power supply shown in fig. 1, $K_{pi} = 1$ and $T_{pi} = 4$ PI-controller coefficients do not provide the required quality of the water level control and allow only to kill the steam flow rate step disturbance up to 18 kg / s, without the marginal error of 50 mm. Due to this fact it is proposed to calculate PI-controller coefficients that provide the required water level in the steam generator at various steam flow rate step disturbances up to 400 kg / s. The block diagram of a steam-generating unit is shown in Figure 1.

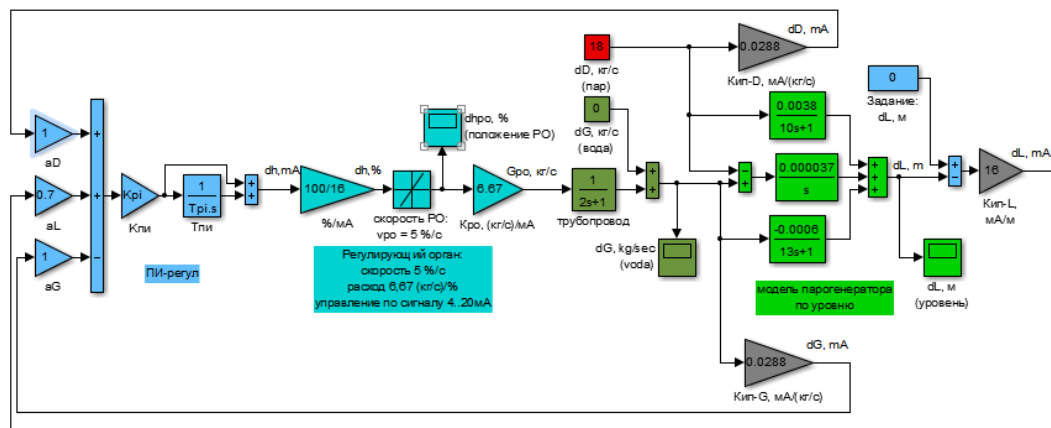


Fig. 1. Block diagram of the three-component ACS model of the steam generator power supply

This work will consist of two experimental stages. At the first stage, the steam flow rate step disturbance is accepted as a step impact from 0 to the target value. At the second stage, the disturbance would be considered as linear, exponential, step-like gradual increase with a certain interval. Research will be carried out with Simulink program which is included in Matlab application package.

3.1 Research of the step load

At the first stage, it was decided to introduce two damping devices in the model scheme (shown in Fig. 3.1) to control the steam flow rate and feed water flow.

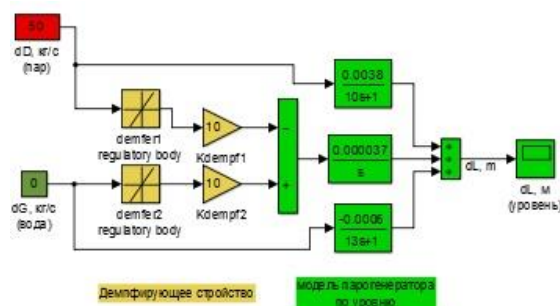


Figure 3.1 – Damping device model

The model allowed calculating K_{pi} , T_{pi} , K_{dempt1} , K_{dempt2} controller coefficient values taking into account the water level requirements in the steam generator. The obtained data are presented in table 3.1.

Table 3.1 – Controller coefficient values for different steam flow rates

Name of the parameter	Steam flow rate, dD, kg/s			
	50	200	300	400
1. Controller coefficient values	$K_{pi}=0,1;$ $T_{pi}=0,8;$ $K_{reg1}=K_{reg2}=10$	$K_{pi}=0,089;$ $T_{pi}=0,82;$ $K_{reg1}=K_{reg2}=10$	$K_{pi}=0,089$ $T_{pi}=0,948$ $K_{reg1}=K_{reg2}=10$	$K_{pi}=0,093$ $T_{pi}=0,95$ $K_{reg1}=K_{reg2}=10$
2. Maximum deviation from the reference value, dL, m	0,0158	0,0356	-0,023	0,0374

Diagrams of transition processes at various steam flow rate step disturbances is shown in Fig. 3. According to fig. 3, there are oscillation processes with time response that does not exceed 150 seconds and the maximum level deviations that do not exceed 50 mm, which does not overshoot the allowable deviation values at the steam flow rate up to 400 kg/s.

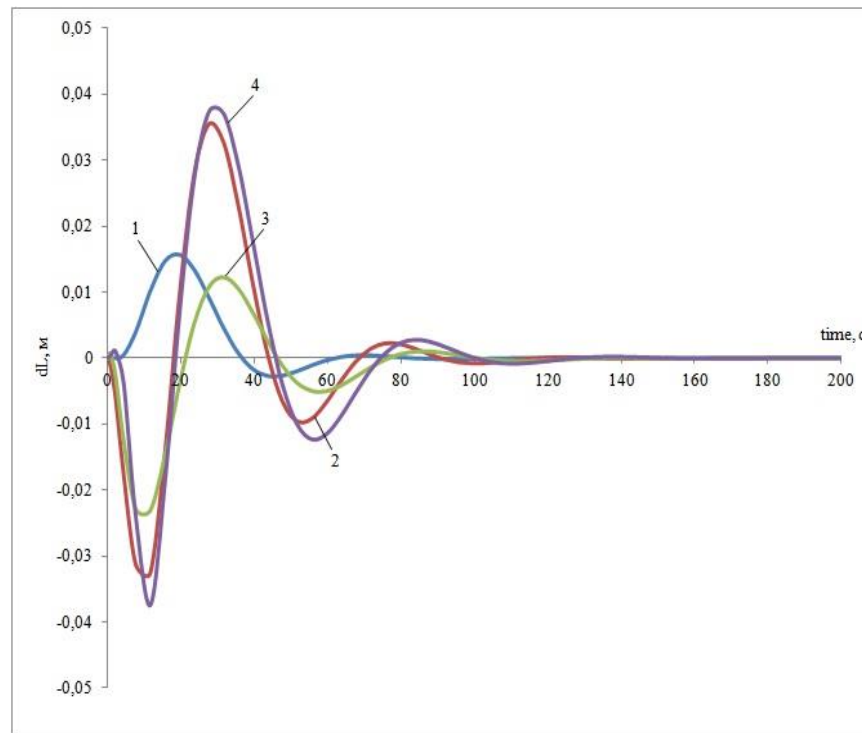


Figure 3.2 – Diagrams of level change transition processes at steam flow rate step disturbance:

1 – steam flow rate $dD=50$ kg/s; 2 – steam flow rate $dD=200$ kg/s; 3 – steam flow rate $dD=300$ kg/s; 4 – steam flow rate $dD=400$ kg/s

The setup variables of the water level controller together with the load variation by steam flow rate were obtained. The results showed that the three-component ACS of the water level in the steam-generating unit provides the necessary requirements applicable to the level. However, adding a damping device into the model is associated with additional charges, so let us carry out one more series of experiments with no additional devices.

3.2 Research of different types of signals load

At the second stage, the level changes when changing the load signal type will be investigated. To do that, the type of signal (steam flow rate step disturbance) – linear, exponential, incrementally increasing, will be changed. Let us consider the level change for various loads up to 400 kg/s.

Simulink blocks, which are displayed in Figure 4, will be used to give a linear

signal.

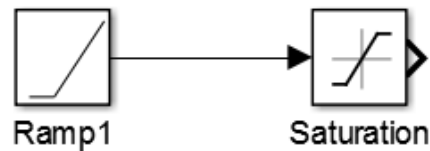


Figure 3.3 – Simulink blocks to give a linear signal

The model is shown in figure 3.4.

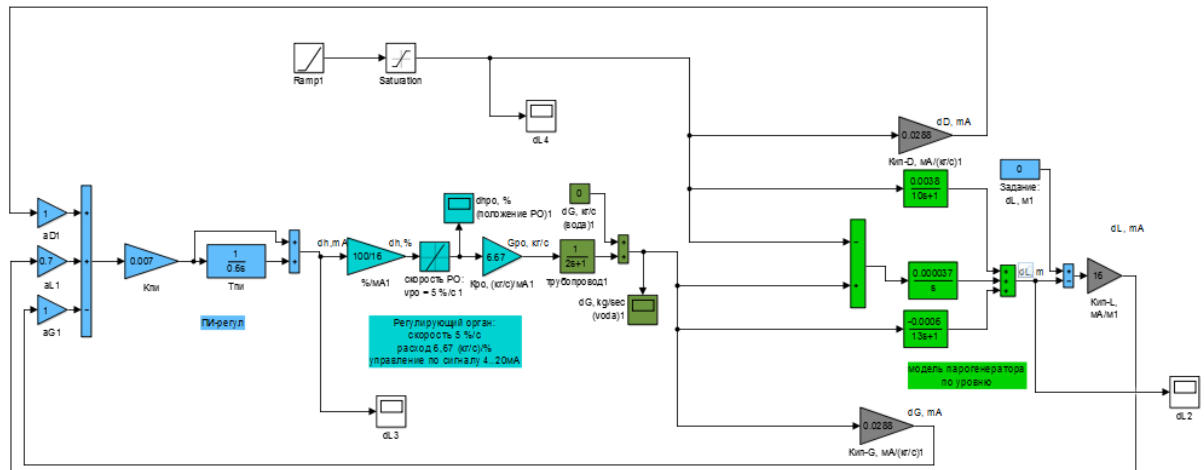


Figure 3.4 – Second stage of the simulation

For scope parameter in the Ramp block 1 and take a look at the response of the system to this impact. The duration of the signal is equal to 200 seconds. Controller settings take $K_i = 1$ and $K_p = 0,015$.

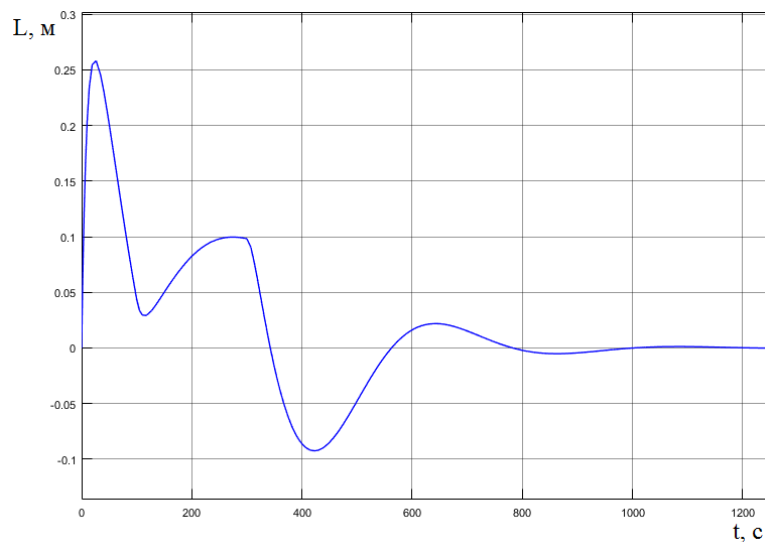


Figure 3.5 – Change of level when applying linearly increasing signal duration of 200 seconds

The given signal duration is 500 seconds, for that let us set the parameter value $\text{scope} = 0,2$ in the Ramp block. In the Saturation block, the upper signal level and the lower level are set.

The level change transition processes are shown in Figures 3.5, 3.6, 3.7.

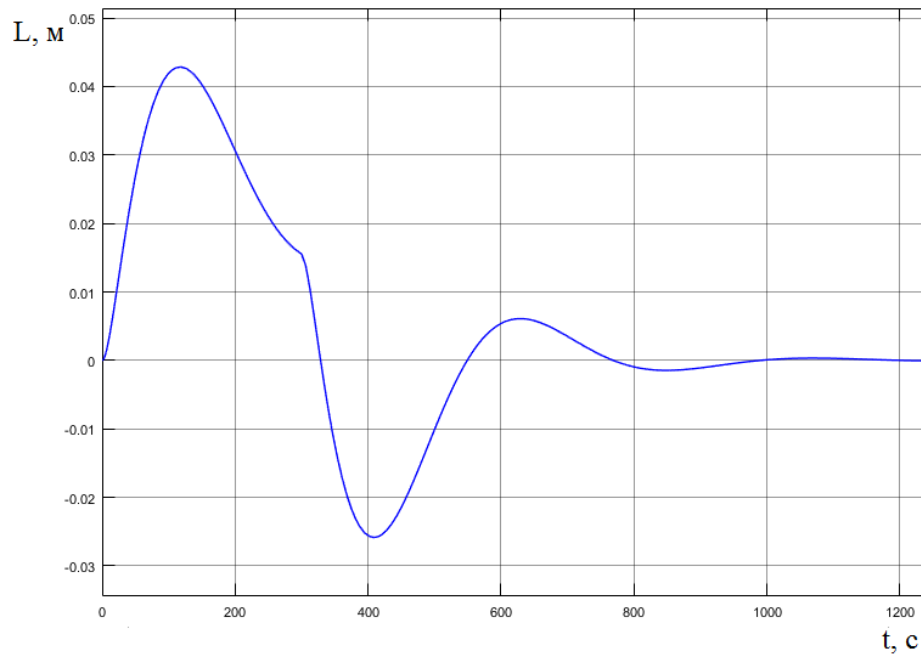


Figure 3.6 – Level change when giving a linearly increasing signal from 0 to 23 kg/s (controller parameters – $K_p = 0,018$, $K_i = 1$, $L_{\max} = 0.04286$ m)

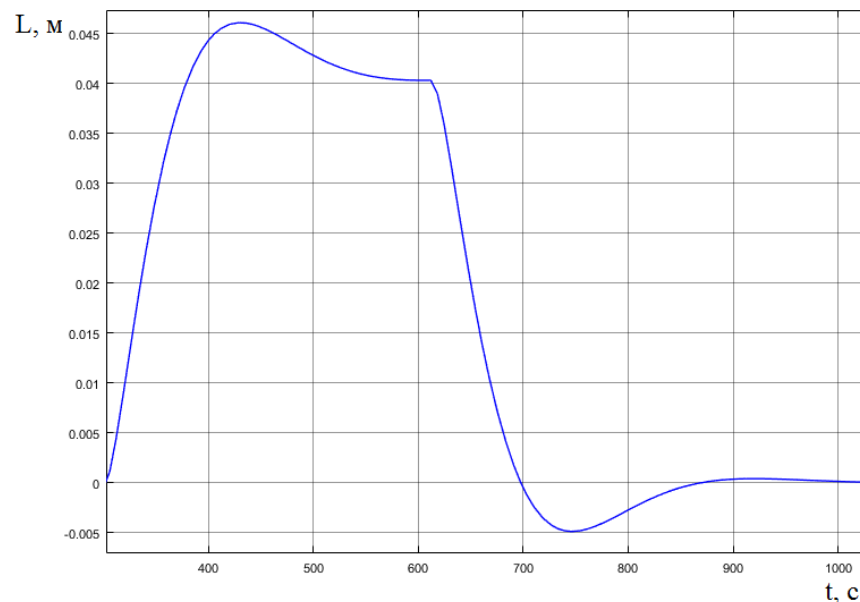


Figure 3.7 – Level change when giving a linearly increasing signal from 24 to 153 kg/s (controller parameters – $K_p = 0,015$, $K_i = 0,5$, $L_{\max} = 0,0452$ m)

Since the load from 75 to 153 kg / s, the initial value is 75 then the model perceives this as a stepwise exposure from 0 to 75, so the required load interval of 75 to 153 is considered starting from 300 seconds.

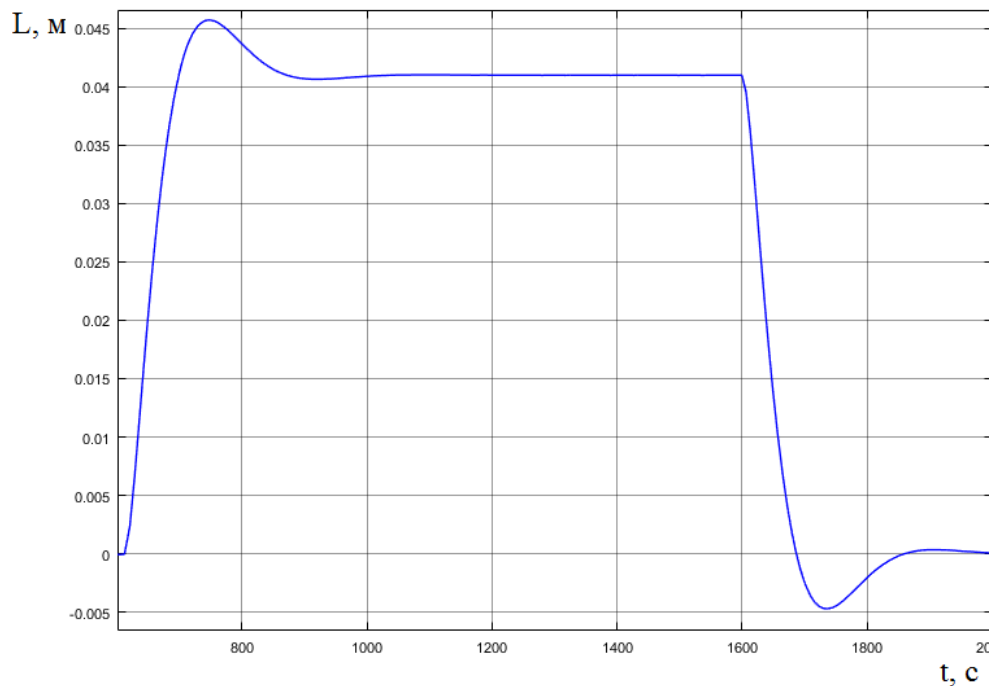


Figure 3.8 – Level change when giving a linearly increasing signal from 153 to 400 kg/s (controller parameters – $K_p = 0,011$, $K_i = 0,3$, $L_{\max} = 0,0457$ m)

Since the load from 153 to 400 kg / s, the initial value is 153 then the model perceives this as a stepwise exposure from 0 to 153, so the required load interval of 153 to 400 is considered starting from 600 seconds.

It is seen that the authors were able to find such controller parameter settings at which the level does not exceed the allowable values.

Let us compare the results obtained when giving a linearly increasing signal with an exponentially increasing signal at the common controller settings.

To give an exponential signal, Simulink blocks, which are presented in figure 3.9, will be used.

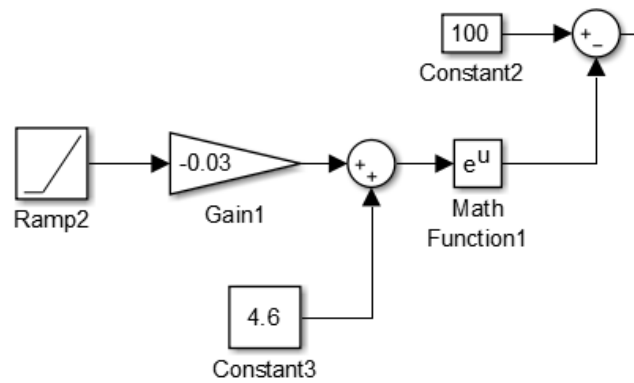


Figure 3.9 – Simulink blocks to give an exponential signal

Next in Figures 3.10 and 3.11 are presented transient level change at exponentially increasing loads.

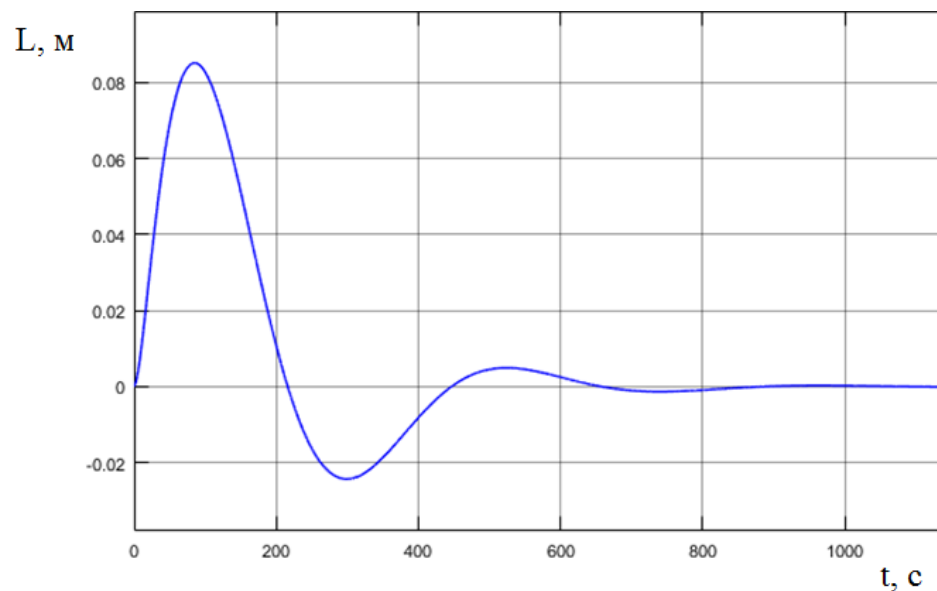


Figure 3.10 – Level change when giving an exponentially increasing signal from 0 to 50 kg/s (controller parameters – $K_p = 0,015$, $K_i = 1$, $L_{\max} = 0.08515$ m)

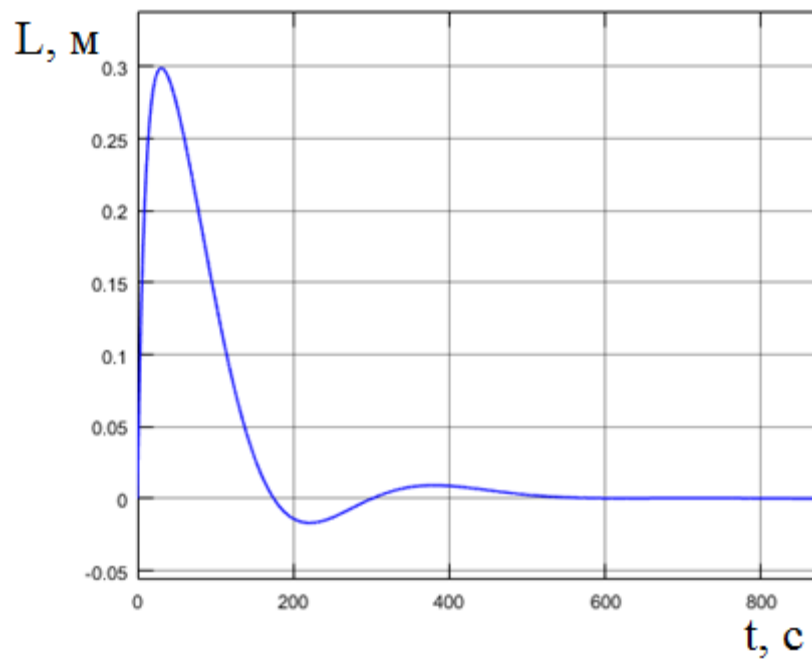


Figure 3.11 – Level change when giving an exponentially increasing signal from 0 to 50 kg/s (controller parameters – $K_p = 0,0115$, $K_i = 0,5$, $L_{\max} = 0,2991$ m)

It is seen that the level significantly exceeds the allowable value of 50 mm when giving an exponentially increasing signal.

Then, let us consider an incrementally increasing signal of steam flow rate disturbance from 0 to 100 kg/s with a duration of 800 seconds and each given signal length of 200 seconds. For simulation this kind of signal used Simulink blocks which shown in Figure 3.12 and the result of the reaction model can see in Figure 3.13.

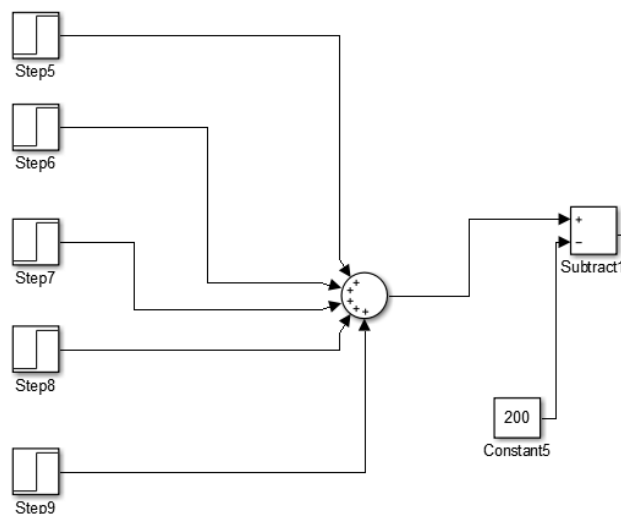


Figure 3.12 – Simulink blocks to give an incrementally increasing signal

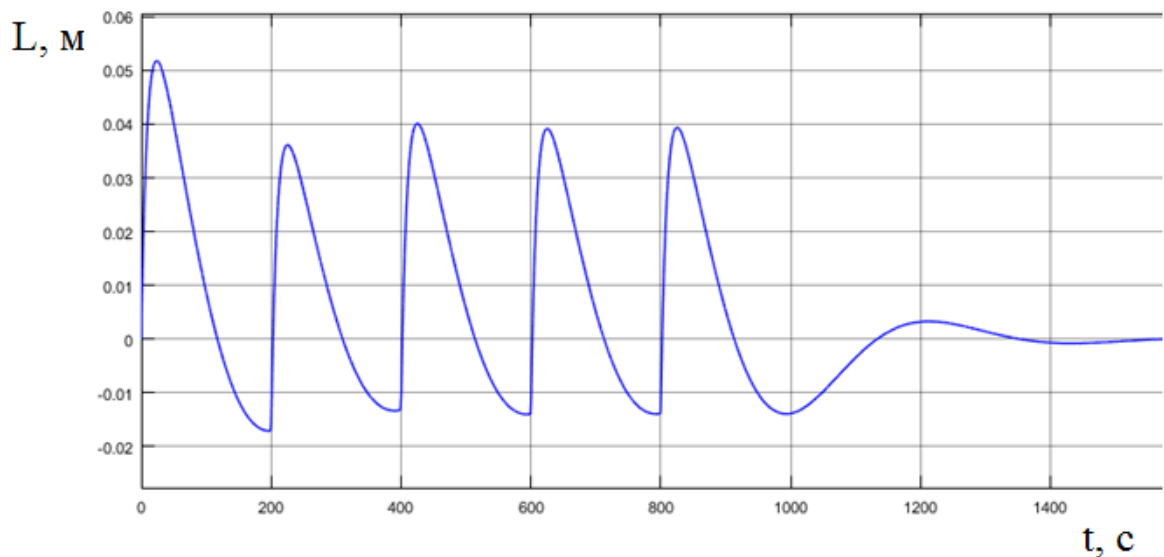


Figure 3.13 – Level change when giving an incrementally increasing signal from 0 to 100 kg/s (controller parameters – $K_p = 0,015$, $K_i = 1$, $L_{\max} = 0.04286$ m)

Figure 3.13 shows that the level exceeds the allowable value and the level change transition process has a high oscillability.

Taking into accounts the obtained results, it is possible to conclude that the steam flow rate change that is a linearly increasing effect is the most aimed in comparison with the exponentially increasing and incrementally increasing impacts.

The received values of controller parameters at the linearly increasing exposure are shown in table 3.2.

Table 3.2 – Controller parameter values at the linearly increasing signal for a variety of steam flow rates

Name of the parameter	Steam flow rate, dD, kg/s		
	100	200	300
Controller coefficient value	$K_p = 0.015$; $K_i = 0.999$;	$K_p = 0.015$ $K_i = 0.6$	$K_p = 0.011$ $K_i = 0.55$
Maximum level deviation from the reference value, dL, m	0.04286	0.042188	0.043667

3.3 Research of change controller settings in real time and realization of visualization

At the third stage, the research problem is to change some controller settings for other without going beyond allowable variations. Therefore, it is necessary to change controller settings in real time mode. To do that, K_p and K_i variables were created in the Matlab Workspace as it is shown in figure 3.14.



Name	Value
Ki	1
Kp	0.0180

Figure 3.14 – K_p and K_i variables in the Matlab Workspace

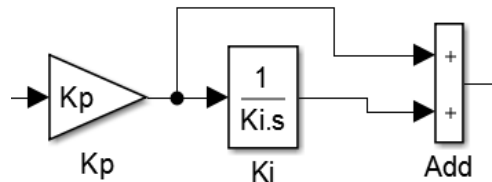


Figure 3.15 – Simulink controller blocks with variables

According to [12], the PID controller may exist regimes when their parameters change abruptly. For example, when the operating system needs to change the constant of integration or want to go to automatic mode after a manual control system. In the above cases may appear undesirable emissions of the regulated quantity. Therefore, the problem arises of a smooth ("non-impact") or switching modes of the controller parameters.

To change controller settings in real time mode the m-file scripts were developed. The text of the script is shown in figures 3.16 and 3.17.

```

1  function y = change_ki(value)
2  -   if value <= 3
3  -       y = 1;
4  -   end
5  -   if (value>3) && (value<=13)
6  -       y = 0.9;
7  -   end
8  -   if (value>13) && (value <=23)
9  -       y = 0.8;
10 -   end
11 -   if (value>23) && (value <=33)
12 -       y = 0.7;
13 -   end
14 -   if (value>33) && (value <=43)
15 -       y = 0.6;
16 -   end
17 -   if (value>43) && (value <=153)
18 -       y = 0.5;
19 -   end
20 -   if (value>153) && (value <=163)
21 -       y = 0.4;
22 -   end
23 -   if value>163
24 -       y = 0.3;
25 -   end

```

Figure 3.16 – Ki coefficient change program listing

```

1  function y = change_kp(value)
2  -   if value <= 153
3  -       y = 0.018;
4  -   end
5  -   if (value>153) && (value <=155)
6  -       y = 0.017;
7  -   end
8  -   if (value>155) && (value <=157)
9  -       y = 0.016;
10 -   end
11 -   if (value>157) && (value <=159)
12 -       y = 0.015;
13 -   end
14 -   if (value>159) && (value <=161)
15 -       y = 0.014;
16 -   end
17 -   if (value>161) && (value <=163)
18 -       y = 0.013;
19 -   end
20 -   if (value>163) && (value <=165)
21 -       y = 0.012;
22 -   end
23 -   if (value>165)
24 -       y = 0.011;
25 -   end

```

Figure 3.17 – Kp coefficient change program listing

Figures 3.18 and 3.19 graphically shows the variation coefficients K_i and K_p .

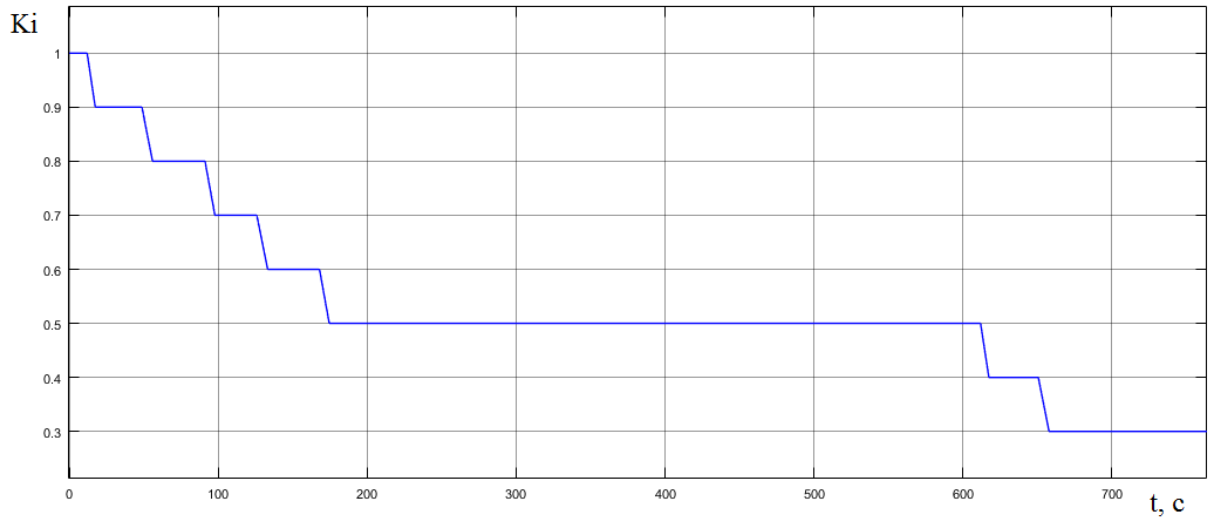


Figure 3.18 – Schedule changes K_i coefficient

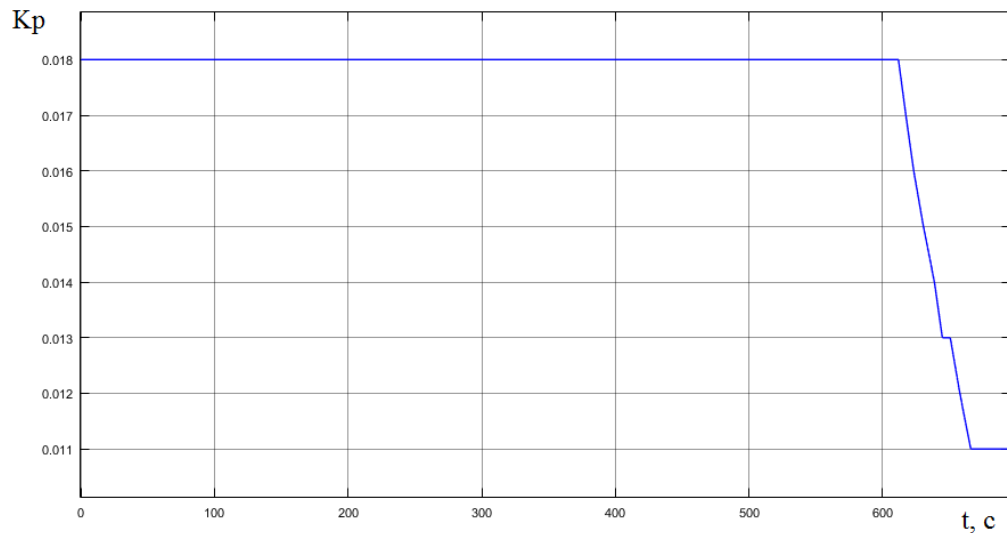


Figure 3.19 – Schedule changes K_p coefficient

The current load value is checked in the script programs, if the load value falls into the first interval, the first set of settings is applied, if in the second - the second set, etc.

To check the current load values the blocks shown in the figure 3.17 are used. The current value level for `change_ki` and `change_kp` functions is transmitted by Interpreted MATLAB Fcn blocks. Also the current values of controller settings are transferred in Codesys program where the water level is controlled by the built-in PID-controller block.

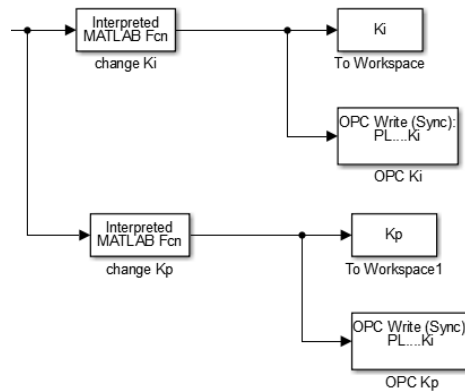


Figure 3.20 – Simulink model blocks to transfer the current load value as an argument in change_ki and change_kp functions

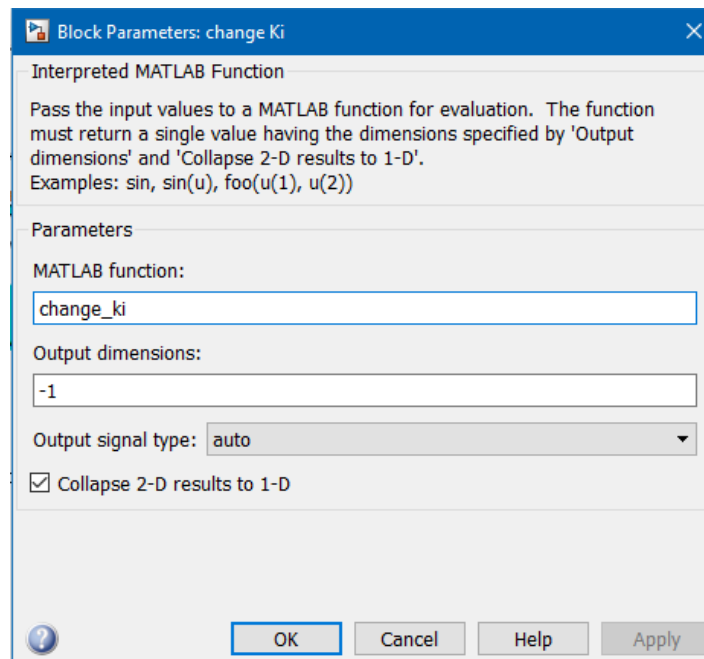


Figure 3.21 – Choice of parameters of the Interpreted MATLAB Fcn block

Name of functions write in the parameter of MATLAB function for calculation of coefficients change_ki and change_kp.

The OPC Ki and OPC Kp blocks used for transfer current value of the Ki and Kp coefficients to the PLC_PRG program at input values of the PID block. Setting of the OPC Write block shown in figure 3.22.

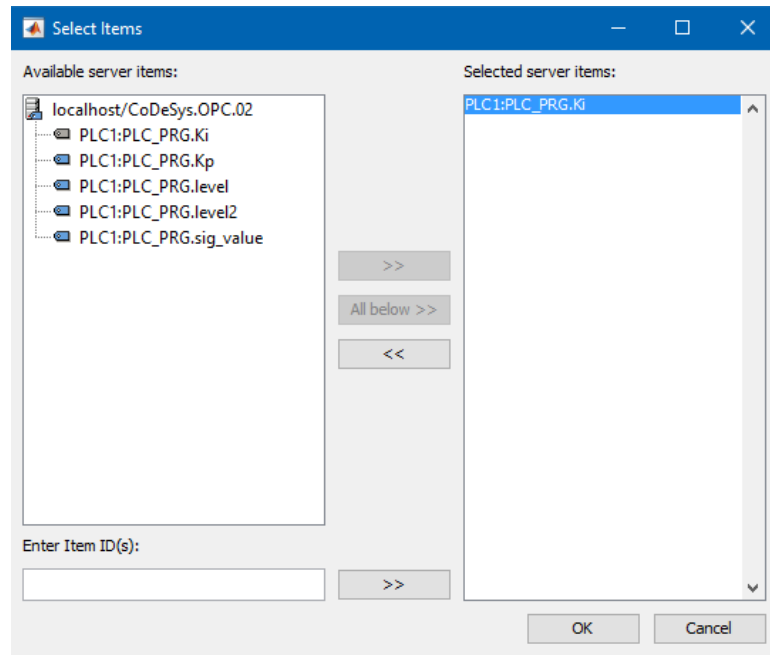


Figure 3.22 – Choice of variables via the OPC server

To implement Codesys and Simulink connection, first, Codesys v2.3 will be launched and a new project containing PLC_PRG program in FBD language with 3S Codesys SP PLCWinNT V2.4 configuration to emulate the controller will be developed. To configure the communication with the controller, OPC Configurator will be used. OPC Configurator settings are shown in figure 3.23.

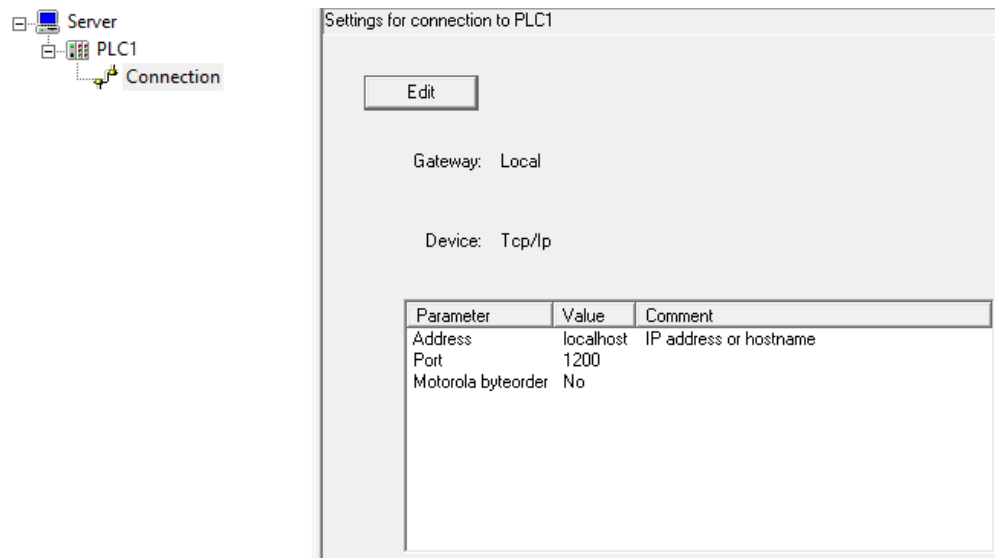


Figure 3.23 – OPC Configurator settings

TCP / IP connection and port 1200 is used to transfer data.

Let us select variables in Codesys program to transfer via OPC server. Variable selection is shown in the figure 3.24.

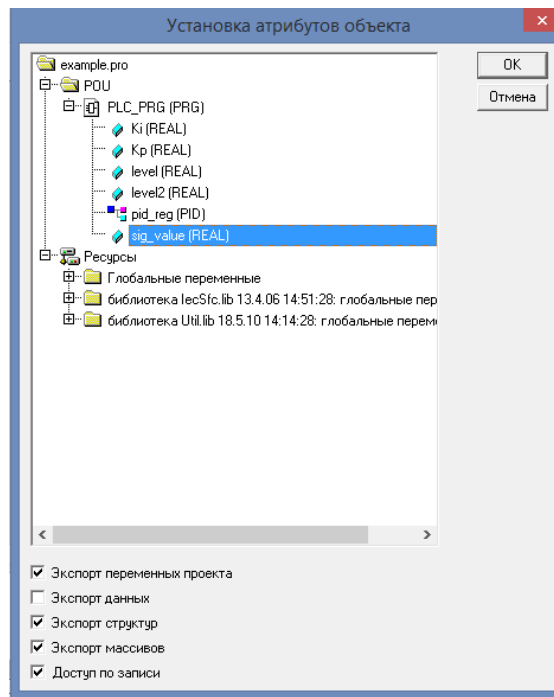


Figure 3.24 – PLC_PRG variable selection to transfer via OPC server
In the next step let us run PLCWinNT controller.

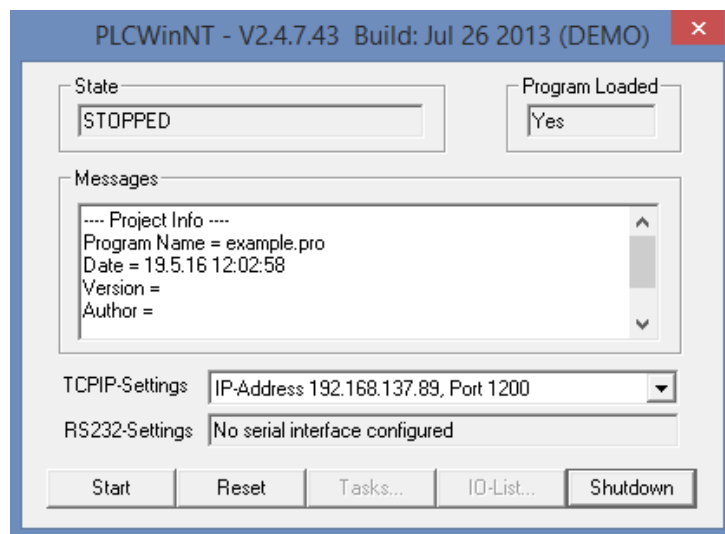


Figure 3.25 – PLCWinNT window

OPC Configurator is used to configure the unit-coupling model in Simulink and Codesys, the settings are shown in the figure 3.26.

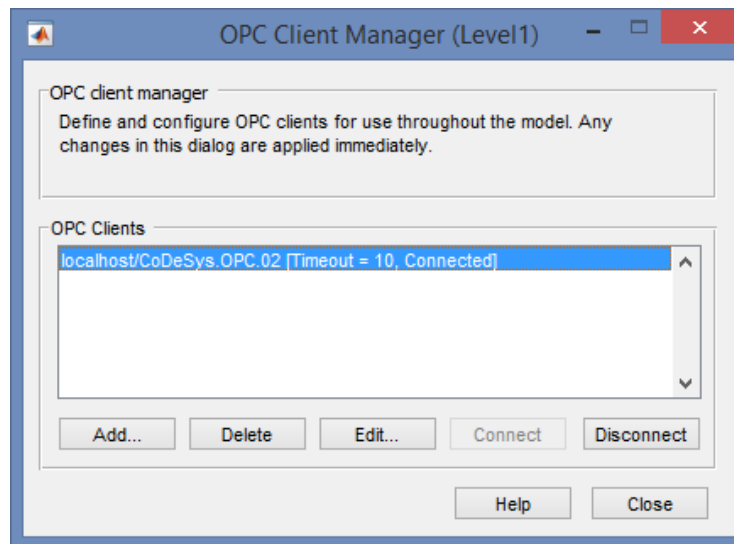


Figure 3.26 – Communication setting with the OPC Codesys server of OPC Configuration block

To transfer the current load value in PLC_PRG Codesys program OPC Write Block is used.

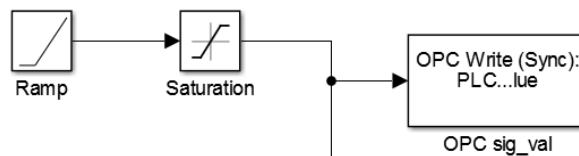


Figure 3.27 – OPC Write block to transmit the current load value

The OPC level block used for transfer current value of the level in PLC_PRG Codesys program.

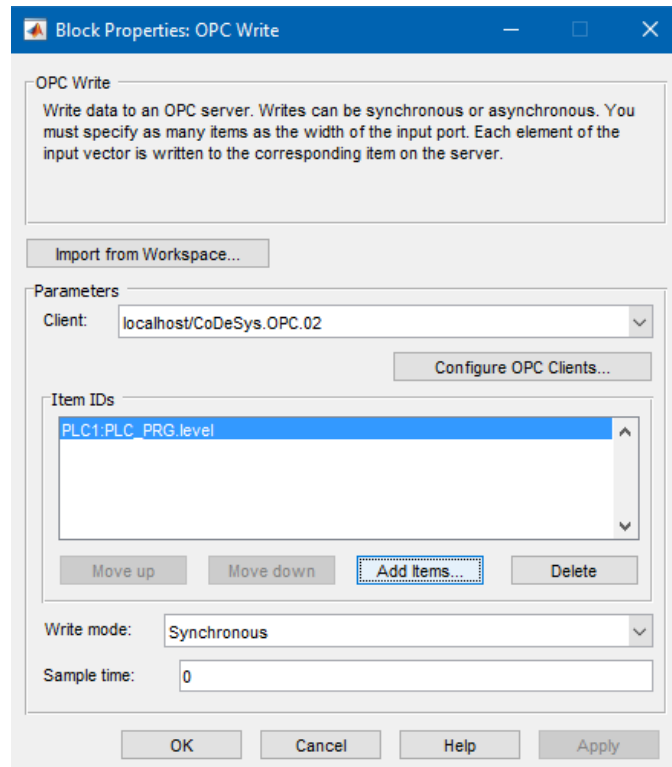


Figure 3.28 – Tuning of parameters of the OPC Write

Codesys program has the structure shown in Figure 3.29. The main PLC_PRG program contains a PID block. The current level value is supplied to the parameter ACTUAL, the value of the regulator equal to 0 is indicated in SET_POINT parameter. In addition, KP and TN setting values, which are calculated in MATLAB program, are transmitted in the PID block.

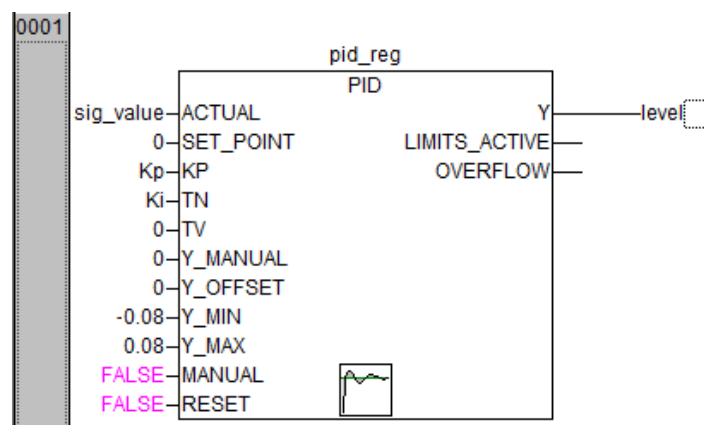


Figure 3.29 – PID block in Codesys PLC_PRG program

To visualize Codesys program Vis_level visualization object, which will contain the water level change trend of in the boiler drum and controller settings will be developed.

Let us run the model in Simulink and Codesys program in real-time mode to visualize the program operation. The program execution screenshots are shown in figures 3.30 and 3.31.

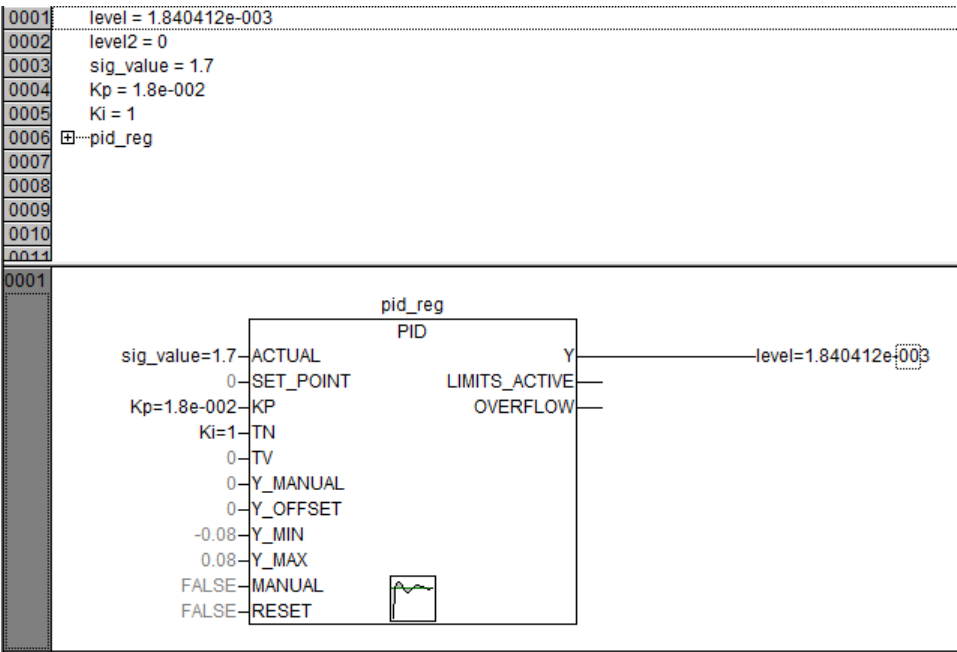


Figure 3.30 – PLC_PRG program in runtime

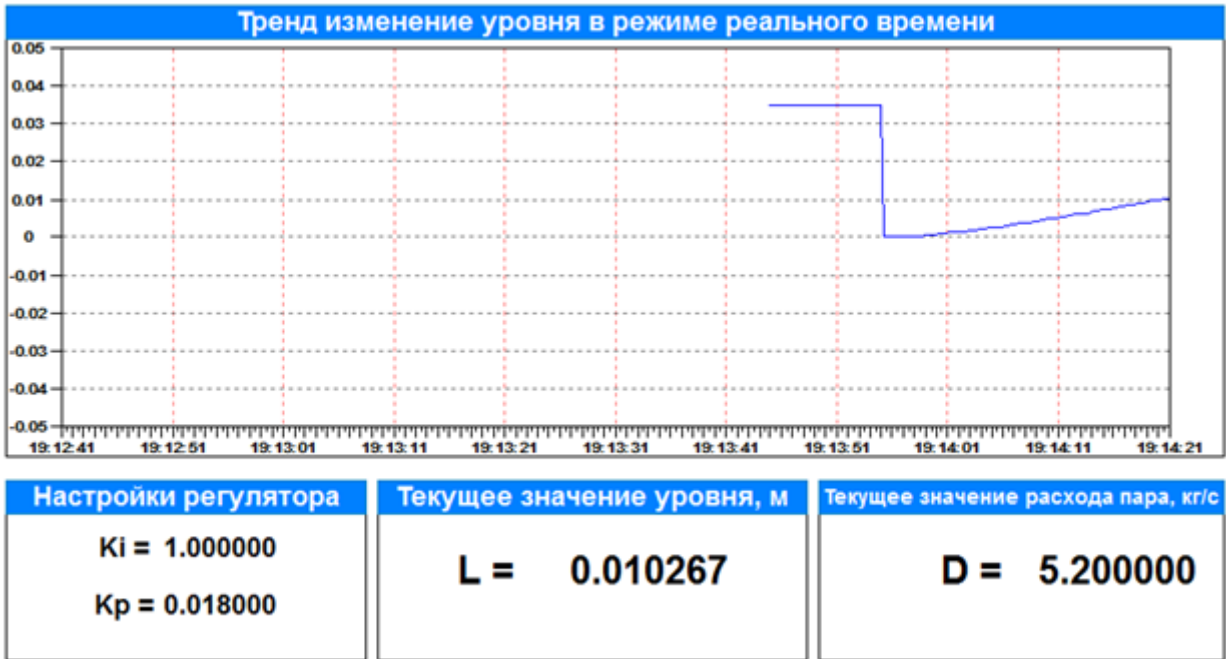


Figure 3.31 – Level control process visualization in runtime

Change of the parameter of the regulator Ki in real time shown in figure 3.32.

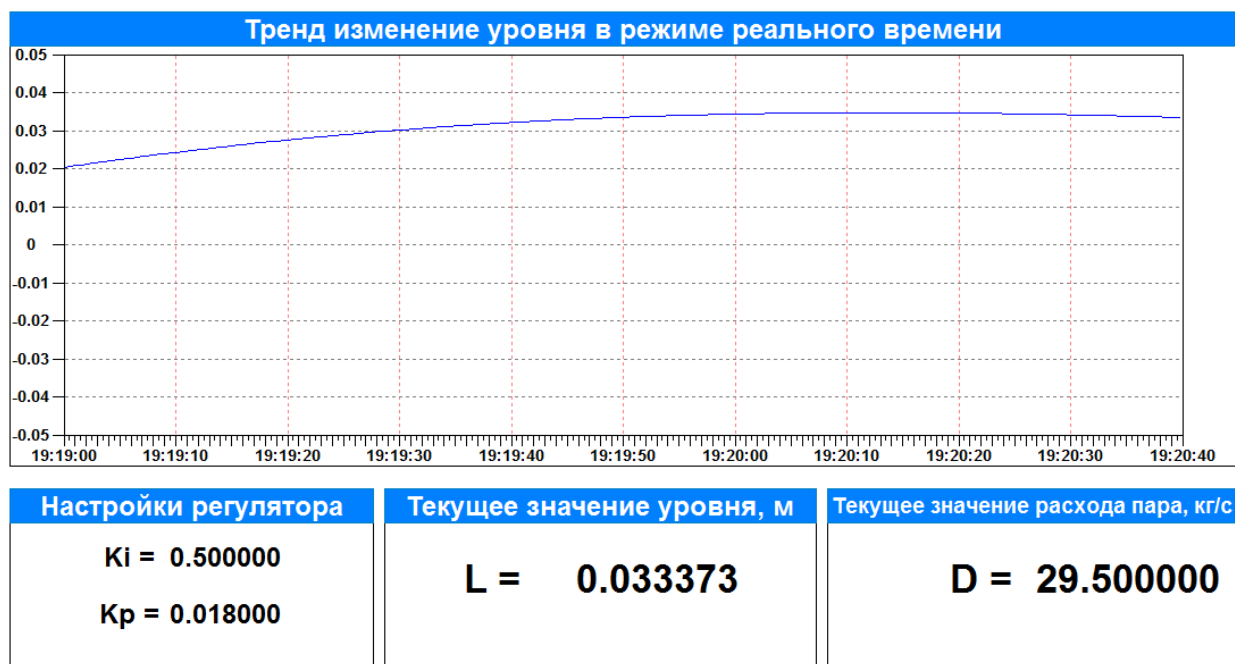
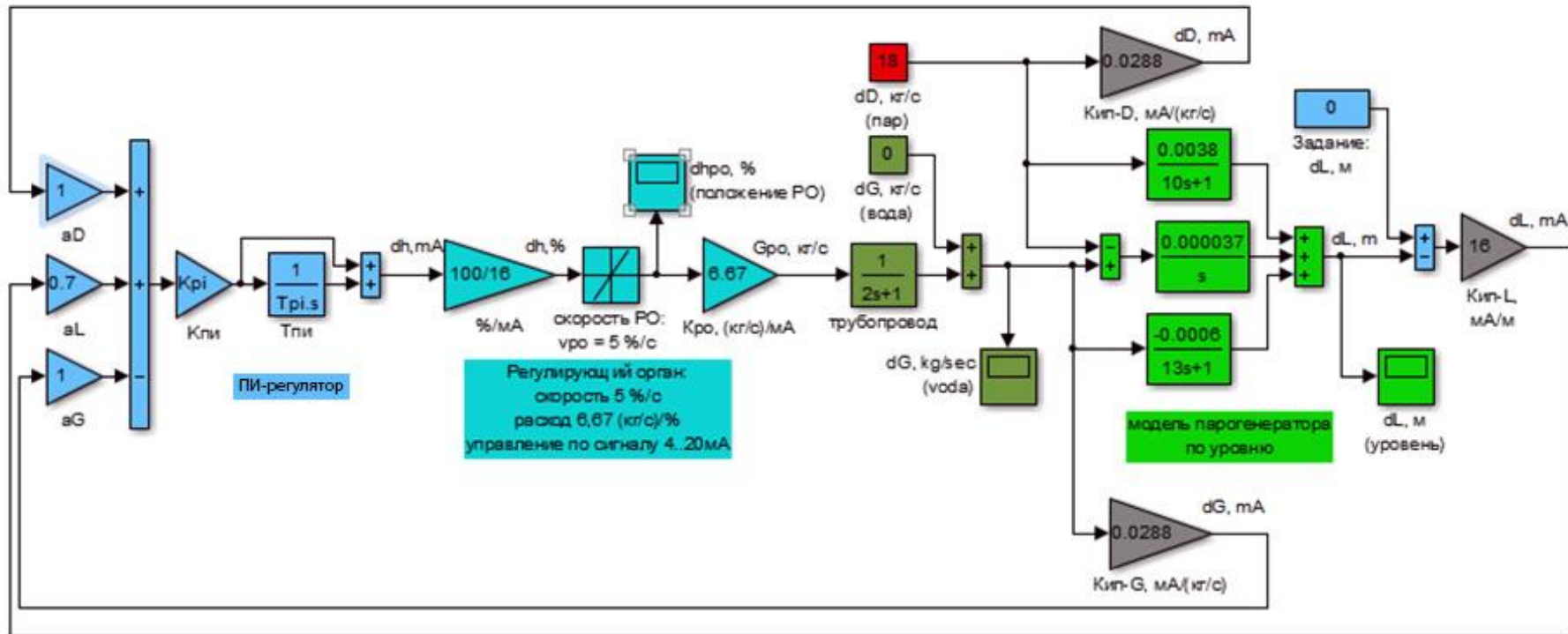


Figure 3.32 – Change of the parameter of the regulator K_i in real time

Приложение Б



Структурная схема модели трехимпульсной САР питания парогенератора