



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

Школа Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система управления подачей сырья и теплоносителя в печь пиролиза бензина F-11 установки пиролиза углеводородов нефти

УДК 681.5:665.642.042.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Толкмит Дмитрий Валерьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код	Результат обучения
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>	
P1	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации
P2	Разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>	
P3	Интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
P4	Применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
P5	Применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>	
P6	Проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>	
P7	Руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	Мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации
P9	Использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться
P10	Использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере



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

Школа Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника  
Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
П.А. Стрижак  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Толкмиту Дмитрию Валерьевичу

Тема работы:

Автоматизированная система управления подачей сырья и теплоносителя в печь пиролиза бензина F-11 установки пиролиза углеводородов нефти	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	41-33/с от 10.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2023
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Публикации с достижениями в области создания и использования автоматизированной системы предиктивного управления.</li> <li>2. Действующее технологическое оборудование – печь пиролиза бензина F-11 типа SRT-2 ООО «Томскнефтехим».</li> <li>3. Экспериментальные данные полученные по температуре пиролиза бензина с печи пиролиза F-11.</li> <li>4. Экспериментальные данные настройки ПИД-регулятора шиберной заслонки.</li> </ol>

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проектирование АСУ компонентным составом дымовых газов.</li> <li>2. Взаимосвязь оборудования верхнего, среднего и полевого уровней в виде схемы.</li> <li>3. Разработка щита управления АСУ подачей сырья и теплоносителей в печь пиролиза бензина.</li> <li>4. Мнемосхема АСУ.</li> <li>5. Расчет параметров настройки регулятора.</li> <li>6. Настройка параметров ПИД-регулятора.</li> <li>7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>8. Социальная ответственность.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Схемы структурная.</li> <li>2 Схема функциональная.</li> <li>3 Схема принципиальная электрическая щита управления.</li> <li>4 Схема общего вида щита управления.</li> </ol>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна, доцент ОСГН, к.э.н.
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович, доцент ООД, к.т.н.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Разработка многопараметрического контроллера СУУТП для печи пиролиза F-17 производства мономеров ООО «Томскнефтехим» (Development of a multi-parameter APC controller for the pyrolysis furnace F-11 for the production of monomers by Tomskneftekhim LLC)	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.02.23
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Толкмит Дмитрий Валерьевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 124 страницы, 44 рисунка, 29 таблиц, 45 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: автоматизация, проектирование, автоматизированная система управления, СУУТП, микропроцессорные технические средства автоматизации, мнемосхема, предиктивное управление.

Цель работы – разработка системы усовершенствованного управления технологическим процессом поддержания температуры пирогаза на выходе из змеевиков печи пиролиза бензина F-11 предприятия ООО «Томскнефтехим».

В процессе выполнения работы был проведен анализ предиктивных систем управления. Разработана стратегия управления поддержанием температуры пирогаза на выходе из змеевиков. Были проведены пошаговые тестирования, обработаны базы данных, идентифицированы модели и получены динамические коэффициенты. Разработаны функциональная, принципиальная электрическая схемы и сборочный чертеж щита управления. Осуществлен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация.

В результате подготовки магистерской диссертации разработан многопараметрический контроллер СУУТП по управлению температурой пирогаза на выходе из змеевиков. Многопараметрический контроллер СУУТП разработан с учетом технических требований и нормативных документов.

К числу конкурентных преимуществ многопараметрического контроллера СУУТП можно отнести снижение среднеквадратичного отклонения (СКО) и поддержание целевых значений по управлению, малый срок окупаемости. Это является основанием для утверждения, что разработанная система имеет большой потенциал использования для печей пиролиза бензина любого типа.

## Обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ИМ – исполнительный механизм;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РСУ – распределенная система управления;

СУУТП – система усовершенствованного управления технологическим процессом;

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

SCADA – комплекс программ, который нужен для разработки и обеспечения работы системы сбора, обработки, архивирования информации в реальном времени

## Оглавление

1	Основы системы усовершенствованного управления технологическим процессом, виды и архитектура.....	12
2	Системный анализ объекта автоматизации .....	20
3	Разработка функциональной схемы системы управления.....	23
4	Выбор технических средств систем управления.....	25
4.1	Выбор регулирующего устройства .....	25
4.2	Выбор датчика температуры .....	26
4.3	Выбор датчика давления разряжения .....	26
4.4	Выбор средств измерения расхода.....	27
4.5	Выбор газоанализатора.....	28
4.6	Выбор исполнительного механизма .....	28
4.7	Выбор пускателя для исполнительного механизма .....	29
5	Составление перечней входных и выходных сигналов .....	31
6	Разработка схемы электрической соединений .....	33
7	Разработка чертежа общего вида щита управления.....	34
8	Описание мнемосхемы SCADA-системы .....	35
9	Описание интеграционной части между АСУТП и СУУТП.....	38
10	Разработка многопараметрического контроллера СУУТП для печи пиролиза F-17 производства мономеров ООО «Томскнефтехим».....	44
10.1	Структура программного обеспечения.....	44
10.1.1	Aida Pro.....	44
10.1.2	SMOC Pro .....	46
10.2	Разработка многопараметрического контроллера печи пиролиза F-11	47
11	Расчет параметров настройки регулятора .....	54
11.1	Идентификация объекта управления .....	54
11.2	Расчет параметров настройки регулятора.....	57
12	Настройка ПИД-регулятора .....	64

13	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	70
13.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	71
13.1.1	Анализ конкурентных технических решений .....	72
13.1.2	SWOT-анализ .....	73
13.1.3	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	76
13.2	Инициация проекта .....	78
13.2.1	Цели и результат проекта .....	78
13.2.2	Организационная структура проекта .....	79
13.2.3	Ограничения и допущения проекта .....	80
13.2.4	Планирование научно-исследовательской работы .....	80
13.2.5	Бюджет научно-технического исследования.....	83
13.2.6	Расчет материальных затрат научно-технического исследования	83
13.2.7	Амортизация.....	84
13.2.8	Заработная плата исполнителей .....	84
13.2.9	Отчисления во внебюджетные фонды .....	86
13.2.10	Накладные расходы .....	87
13.2.11	Смета затрат на оборудование .....	87
13.2.12	Формирование затрат научно-исследовательского проекта.....	89
13.2.13	Ресурсоэффективность .....	89
13.3	Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	90
14	Социальная ответственность .....	94
14.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	94
14.2	Производственная безопасность .....	95
14.3	Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	97
14.3.1	Отклонение показателей микроклимата .....	97
14.3.2	Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	97
13.3.3	Превышение уровня шума.....	100



14.3.4	Повышенное воздействие электромагнитного излучения и электрического тока .....	101
14.3.5	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего) .....	102
14.4	Экологическая безопасность .....	102
14.4.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.	103
14.4.2	Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду	103
14.4.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	104
14.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	104
14.5.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	104
14.5.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований .....	105
14.5.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	105
14.6	Заключение по разделу «Социальная ответственность» .....	106
	Заключение .....	107
	Список используемых источников .....	108
	Development of a multi-parameter APC controller for the pyrolysis furnace F-11 for the production of monomers by Tomskneftekhim LLC .....	113
I	Development of a multi-parameter APC controller for the pyrolysis furnace F-11 for the production of monomers by Tomskneftekhim LLC .....	114
I.1	Software structure .....	114
I.1.1	Aida Pro .....	114
I.1.2	SMOC Pro .....	116
I.2	Development of a multi-parameter controller .....	117
	References .....	124

Графический материал: На отдельных листах  
 ФЮРА.421000.019 С1 Схема структурная

ФЮРА.421000.019 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.019 ВО	Схема общего вида
ФЮРА.421000.009 Э4	Схема принципиальная электрическая

## Введение

В связи с постоянно увеличивающимися объемами потребления полимерной продукции (в основном полиэтилен и полипропилен) в последние 20 лет актуальным является вопрос увеличения производительности продуктов пиролиза [46]. Основными продуктами пиролиза являются олефины: этилен и пропилен.

Традиционной технологией получения олефинов является пиролиз – необратимый термический процесс разложения веществ на продукты с меньшей молекулярной массой в бескислородной среде.

Чтобы увеличить выпуск продуктов пиролиза требуется изменение технологического процесса. Однако, чтобы не изменять технологию процесса и не останавливать производственную линию возможно дооснащение системы автоматизации существующей конфигурации производства. В связи с этим становится актуальной задача разработки автоматизированной системы управления, а также внедрения систем многопараметрического предиктивного управления, которые, в свою очередь, помогут снизить влияние человеческого фактора на технологический процесс, стабилизировать режим работы печи пиролиза, снизить СКО, увеличить конверсию продуктов пиролиза при заданном качестве выпускаемой продукции.

При подготовке магистерской диссертации разработана автоматизированная система управления подачей сырья и теплоносителей в печь пиролиза бензина F-11 установки пиролиза углеводородов нефти. Выпускная квалификационная работа содержит анализ объекта автоматизации, обзор структуры технического решения и описание технических средств контроля и автоматизации.

# 1 Основы системы усовершенствованного управления технологическим процессом, виды и архитектура

Система усовершенствованного управления технологическим процессом (СУУТП, APC – advanced process control) является надстройкой базовой системы управления (АСУТП) и представляет многопараметрическое предиктивное управление, которое повышает эффективность технологического процесса за счёт улучшения качества продукции, снижения расхода энергоресурсов и повышения производительности за счет оптимизации технологического процесса [1-3].

СУУТП предназначена для:

- многопараметрического управление технологическим процессом (ТП) в автоматическом режиме в соответствии с целевыми уставками по качеству и количеству продукции;
- точного автоматического управления, учитывая взаимовлияние параметров;
- автоматического расчета показателей качества производимой продукции в режиме реального времени на основе значений параметров текущего технологического процесса [6,8].

На рисунке 1 проиллюстрирована оптимизация технологического процесса посредством СУУТП.

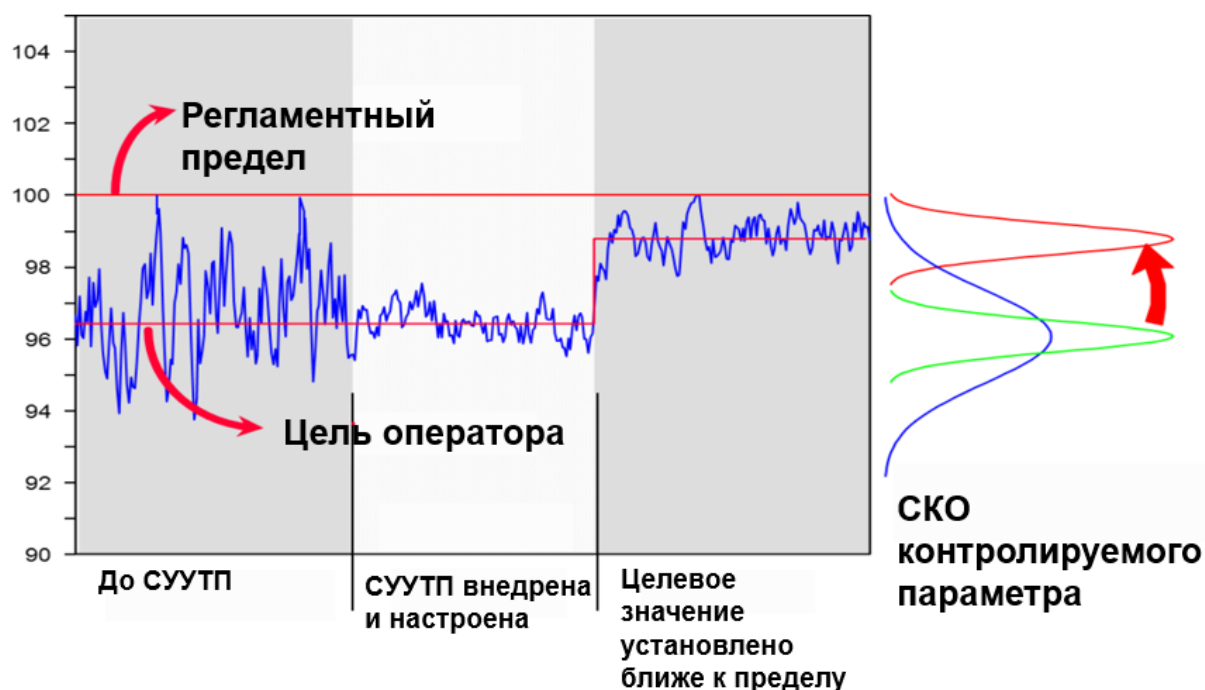


Рисунок 1 – Оптимизация технологического процесса посредством СУУТП

Систему усовершенствованного управления используют в перерабатывающей отрасли, в том числе химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и минеральной, пищевой, фармацевтической, энергетической и т.д. Эти отрасли характеризуются непрерывными технологическими процессами [7,8].

Использование системы усовершенствованного управления позволяет повысить экономическую эффективность ТП за счет автоматического выбора оптимальных рабочих точек и поддержания оптимального режима работы. Это приводит к уменьшению variability основных показателей качества получаемой продукции, сокращению времени, необходимого на переходные процессы, снижению потерь качества продукции из-за изменения производственных задач. Дополнительно уменьшается нагрузка на оперативный персонал ТП за счет сокращения цепей управления и автоматической настройки ТП на оптимальный режим работы.

Существует несколько типов СУУТП, используемых в промышленности, включая передовые алгоритмы и структуры управления:

внутренний контроль модели, управление по разделенным диапазонам, каскадное регулирование и т.д.; Предиктор Смита; контроль соотношения. Они классифицируются как системы, в которых используются любые нестандартные методы управления, не подпадающие под обычные категории СУУТП [1,2].

Другие типы систем усовершенствованного управления включают в себя многопараметрическое управление, такое как модель предиктивного управления, которое обычно устанавливается на компьютер диспетчерского управления. Это позволяет связать зависимые и независимые переменные процесса и их динамические модели с помощью матричной математики, а также позволяет управлять процессом с помощью алгоритмов оптимизации. Последовательное управление – это система автоматического управления, относящаяся к классу дискретно-непрерывных схем автоматизации. Применяется также предиктивное управление – это еще один тип СУУТП, в которой используются косвенные оценки, основанные на легкодоступных измерениях переменных процесса (например, температура и давление) [1-3].

Одним из существенных недостатков базовой СУУТП и оператора является то, что управление осуществляется по сигналу ошибки, без учета динамики технологического процесса (ТП), что приводит к задержке между появлением сигнала возмущения и формированием управляющего воздействия. Кроме того, поскольку управление осуществляется по отдельным контурам, не учитываются взаимосвязи между технологическими параметрами, что приводит к возмущениям в других контурах регулирования [3,4].

С другой стороны, преимущества СУУТП многочисленны, включая способность контроллера МРС регистрировать сигналы возмущения и генерировать управляющие воздействия с опережением. Контроллер МРС осуществляет многопараметрическое управление технологическим процессом с учетом взаимодействия между параметрами. Использование виртуальных анализаторов позволяет реализовать контуры управления на основе

показателей качества продукции. Контроллер MPC плавно управляет подчиненными цепями регулирования и поддерживает значения режимных параметров близкими к допустимым пределам, что снижает запас качества продукции установки [6,7].

MPC требует текущих данных процесса, его динамических параметров, выходных заданных значений, а также заданных допусков для оценки предстоящих отклонений в зависимых переменных [12,13]. MPC корректирует параметры в соответствии с ограничениями модели как для зависимых, так и для независимых переменных. Он вносит изменения в независимые переменные для текущей итерации перед началом вычислений для следующего набора изменений. В этом разделе рассматриваются основные разновидности MPC, используемые для различных приложений, за которыми следует примечание об известном программном обеспечении, используемом в реализации MPC. Модели MPC предназначены для описания поведения сложных динамических систем с достаточной точностью. Следовательно, сложные архитектуры управления MPC редко требуются для базовых систем, для которых обычных ПИД-регуляторов оказывается достаточно. Заданные значения (для давления, расхода, температуры и других переменных) и конечный элемент управления на перерабатывающей установке, как правило, являются независимыми параметрами, которыми может управлять ПИД-регулятор (например, клапаны и заслонки). С другой стороны, изменения в независимых переменных приводят к соответствующим изменениям в зависимых переменных системы, управляемой MPC. Возмущения – это переменные, которые не контролируются ПИД-регулятором и не могут быть им изменены. Большие временные задержки и динамика более высокого порядка — две наиболее распространенные проблемы, с которыми сталкиваются ПИД-регуляторы, когда речь идет об управлении динамическими характеристиками. В следующих подразделах приводится

подробная информация об основных архитектурах MPC, используемых в промышленности. В широком смысле MPC можно разделить на две основные категории: линейные и нелинейные [14]. Другие классы MPC включают в себя явные и различные виды надежных конструкций MPC.

Виды архитектуры MPC специально разработаны для обеспечения устойчивых характеристик для заданных ограниченных возмущений в рамках ограничений ожидаемого состояния [15]. Ниже приведены некоторые из наиболее часто используемых стратегий для обеспечения надежного управления: Минимум-максимум: подход минимального/максимального MPC по существу преобразует «минимальную» задачу оптимизации в «минимально-максимальную» оптимизацию, уменьшая целевые функции для наихудшего случая и максимизируя их во всех возможных точках в наборе неопределенностей [16]. В этой постановке оптимизация выполняется по отношению ко всем возможным эволюциям возмущения. Было доказано, что управление в диапазоне наиболее эффективен для решения задач линейного робастного управления. Тем не менее, это также относительно дорого в вычислительном отношении. Ужесточение ограничений: в этом подходе ограничения состояния расширяются на определенную величину, чтобы гарантировать обнаружение траектории независимо от развития возмущения [17]. Трубка: в методе трубки используется отдельная модель номинальной системы и контроллер с обратной связью для максимально быстрого приведения активного состояния к номинальному состоянию [18]. Этот MPC собирает все возможные отклонения состояния из-за возмущений в надежном наборе положительных инвариантов (RPI), которые затем используются для определения степени отделения состояний от набора ограничений. Многоэтапный: многоэтапный подход предусматривает различные решения по управлению на каждом этапе. Он носит неконсервативный характер из-за наличия информации об измерениях на



каждом временном шаге в прогнозе, а также того факта, что его можно использовать для смягчения последствий неопределенностей. Неотъемлемым недостатком этой стратегии является то, что сложность задачи управления увеличивается по мере увеличения количества неопределенностей и времени между прогнозами [19,20]. Многоступенчатая лампа с улучшенными характеристиками: этот подход сочетает в себе преимущества ламповой и многоступенчатой архитектур MPC, предоставляя больше возможностей для компромиссов между оптимальностью и простотой. Этот метод оказался весьма полезным для системного прогнозирования с использованием различных принципов управления и неопределенности [21,22].

Управление СУУТП (advanced process control, APC) значительно отличается от стандартных контроллеров ПИД в РСУ. Стандартный контроллер ПИД использует одну управляемую переменную (Control variable, CV) и одну регулируемую переменную (положение клапана). Если в качестве примера рассматривать регулятор расхода, то измеряемая скорость расхода – это управляемая переменная, а выход на клапан – регулируемая. Многопараметрический контроллер использует две и более управляемых и регулируемых переменных. Входом многопараметрического контроллера может быть любой параметр, имеющий целевое значение или допустимый диапазон [3,4]. На печах контролируемой переменной должна быть входная температура потока или содержание кислорода в дымовых газах, которые в свою очередь контролируются открытием/закрытием клапана подачи топливного газа к горелкам или изменением положения шиберов. На рисунке 2 представлена схема печи пиролиза, на которой показаны манипулируемые и контролируемые переменные.

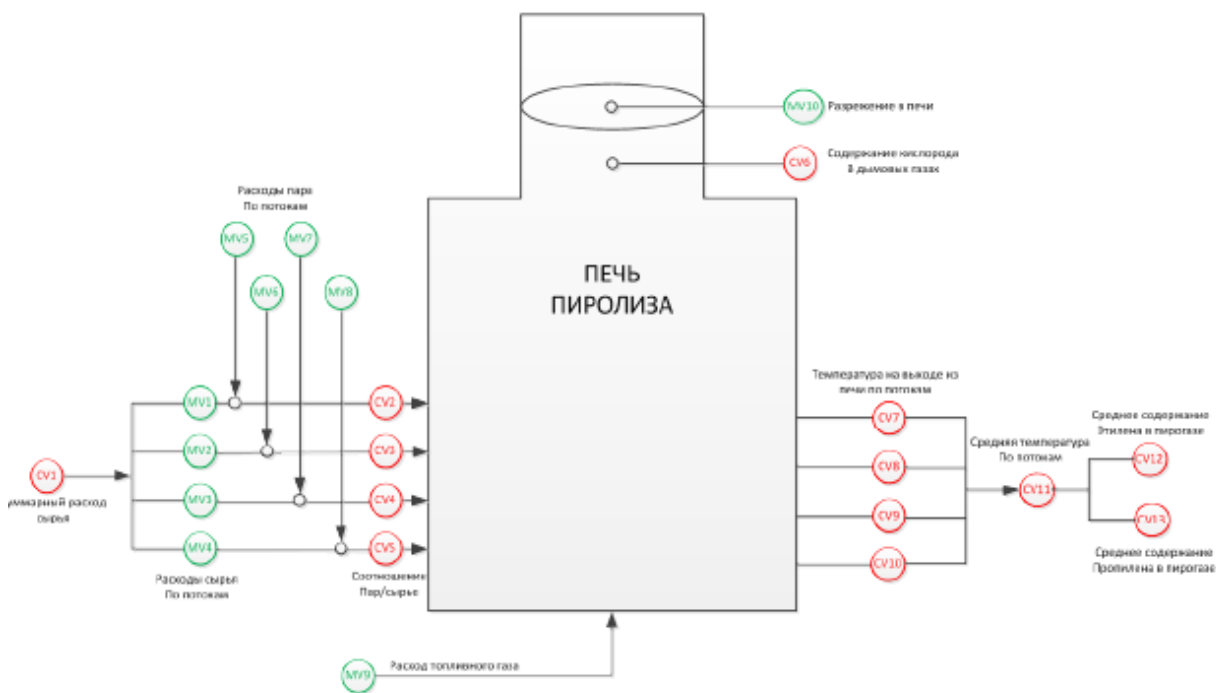


Рисунок 2 – Печь пиролиза

Стандартные ПИД-регуляторы работают, используя только обратную связь с процессом. Так, для регулятора расхода положение клапана будет изменяться при отклонении потока PV от SV. Никакая другая информация не будет использоваться для нахождения наилучшего положения клапана. Модель – это динамическое отношение между управляемой и контролируемой переменными. Она описывает не только то, как управляемая переменная влияет на контролируемую, но и то, как данное воздействие происходит с течением времени. Существует ряд математических методов для описания динамических моделей процесса, однако, наиболее прямой и простой для понимания является модель переходных характеристик. Анализ данных, полученных в ходе тестов, используется для получения динамической модели (модель, основанная на времени) процесса. В ходе испытаний каждая управляемая переменная изменяется и определяется реакция каждой контролируемой переменной на изменение каждой управляемой переменной.

Оптимизация технологических процессов с помощью компьютерных систем управления не является разовым решением. Требуются системные действия по улучшению эксплуатационных характеристик в динамически

изменяющихся системах. Это позволит повысить рентабельность, сократить издержки на энергоресурсы, повысить эффективность использования сырья, а также автоматически корректировать объемы производства в соответствии с рыночными тенденциями. Внедрение компьютерных систем управления технологическим процессом дает следующие преимущества:

- повышение безопасности эксплуатации технологических установок и оборудования;
- увеличение производительности на 1-5%;
- снижение энергопотребления на 3-10%;
- снижение потерь ценной продукции на 1-5%;
- сокращение времени запуска на 10%;
- снижение изменчивости качества продукции;
- повышение качества продукции.

MPC занимается эксплуатацией многопараметрических контроллеров в условиях технологических ограничений. Такие ограничения делятся на две категории: жесткие ограничения (минимальные и максимальные пределы манипулируемой переменной (manipulated variables, MV), ограничения на инкрементное перемещение MV) и мягкие ограничения (минимальные и максимальные пределы CV). Многопараметрический контроллер может быть применяется в промышленных процессах, учитывая проблемы ограничений. Если какая-либо манипулируемая переменная ограничена находится в насыщении, то управляющее воздействие не отправляется в ПИД-регулятор. Соответственно, другие манипулируемые переменные работают неэффективно и контроллер MPC работает неэффективно. Если манипулируемая переменная находится в насыщение, ее степень свободы равно 0. Поддерживать заданные установленные рабочие диапазоны невозможно. Система не сможет прийти к целевому качеству или производительности, пока имеется ограничения по регулирующему механизму [9-11].

## 2 Системный анализ объекта автоматизации

Объектом автоматизации при подготовке выпускной квалификационной работы является печь пиролиза бензина F-11 типа SRT-2 производительностью 20 т/ч на производстве мономеров ООО «Томскнефтехим». Цель работы – проектирование СУУТП печи пиролиза.

Регулирование подачи сырья, природного газа и пара в радиальную часть печи осуществляется при помощи электроприводных задвижек. Регулирование объема воздуха, подаваемого в камеру сгорания печи пиролиза, реализуется с помощью электроприводной шиберной заслонки.

Управление установкой осуществляется дистанционно через АРМ оператора с персонального компьютера.

Система усовершенствованного управления ТП состоит из многопараметрического контроллера. На основании идентифицированной модели выдаются управляющие воздействия уставкой в АСУТП, САР печи пиролиза в ПИД-регулятор.

Архитектура управления включает в себя следующие уровни:

- нижний уровень (полевое оборудование КИПиА), использующий: датчики измерения температуры, давления, расхода и содержания кислорода, регулирующие задвижки и шиберная заслонка;
- средний уровень, представленный ПЛК;
- верхний уровень, SCADA-система и АРМ оператора;
- надстройка над верхним уровнем, СУУТП, управляющая ПИД-регуляторами.

Принцип работы печи пиролиза F11 – разложение органических соединений (бензина) в бескислородной среде на мономеры – продукты полимеризации. Состав мономеров может изменяться: увеличение выпуска этан-этиленовой фракции (ЭЭФ) или пропан-пропиленовой фракции (ППФ) в зависимости от температуры на выходе из змеевиков. Главной задачей СУУТП является поддержание стабильной температуры пиролиза для

наибольшего выхода целевого продукта. Для этого необходимо регулировать подачу сырья и пара в змеевиках, при этом выдерживать заданную жесткость пиролиза. Также необходимо регулировать подачу природного газа на горелки и содержание кислорода в радиальной части для поддержания стабильной температуры горения и лучшего ведения процесса пиролиза бензина

На рисунке 3 представлена печь пиролиза бензина.

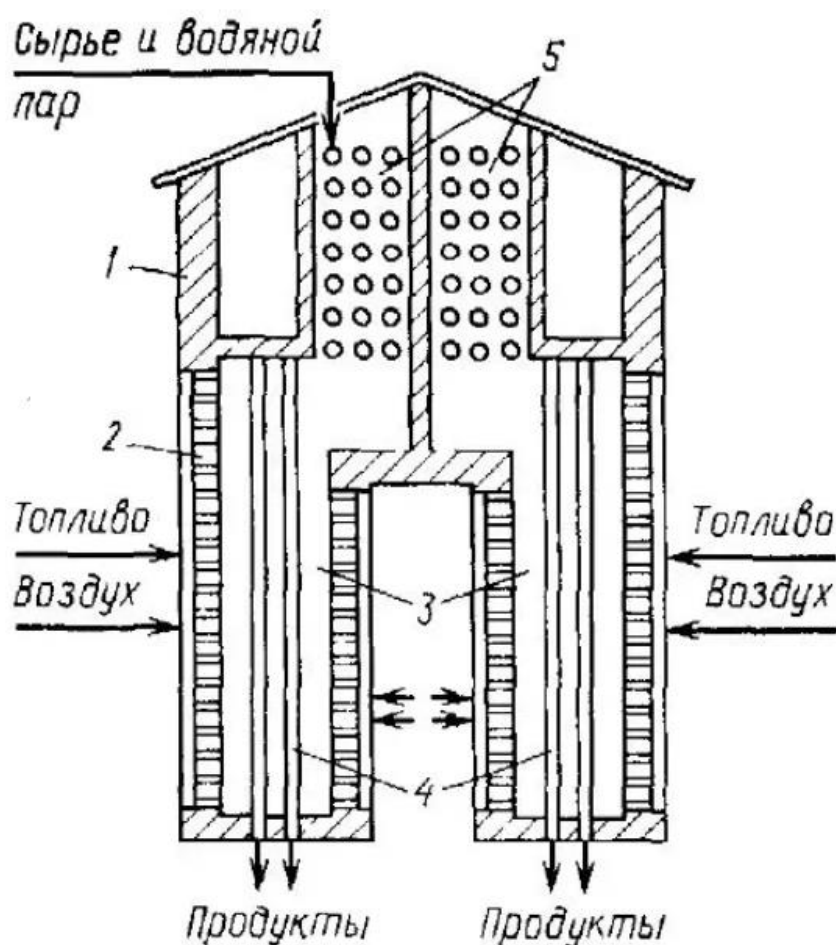


Рисунок 3 – Печь пиролиза бензина: 1 – корпус; 2 – горелки; 3 – радиантные камеры; 4 – вертикальные змеевики; 5 – конвекционная камера

Тип печи пиролиза прямо определяется типом змеевиков. Схемы змеевиков печей пиролиза представлены на рисунке 4.

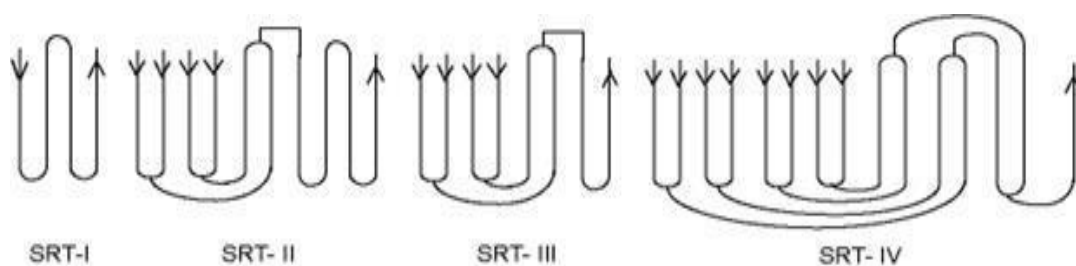


Рисунок 4 – Типы змеевиков печей пиролиза

В зависимости от длины змеевика изменяется время прохождения сырья по змеевику, тем самым изменяется состав целевой продукции –режим ЭЭФ или ППФ. Также тип змеевика прямо влияет на производительность – выход продуктов пиролиза на 1 тонну сырья (бензина).

Перечень измеряемых и регулируемых параметров, номинал их значений представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень измеряемых и регулируемых параметров, номинал значений

Параметр	Кол-во	Номинальное значение
Температура пирогаза на выходе из змеевика, °С	4	845
Расход сырья, кг/ч	4	2200
Расход пара, кг/ч	4	2000
Расход топливного газа, кг/ч	1	2000
Давление разряжения, кПа	1	55
Содержание кислорода, мл/м <sup>3</sup>	1	3
Степень открытия клапана подачи сырья, %	4	0...100
Степень открытия клапана подачи пара, %	4	0...100
Степень открытия шиберной заслонки подачи воздуха, %	1	0...100

### 3 Разработка функциональной схемы системы управления

Функциональные схемы автоматизации (ФСА) представляют собой основные технические документы, в которых определена функциональная и блочная структура отдельных узлов и элементов.

Функциональная схема АСУТП печи пиролиза бензина F-11 типа SRT-2 представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.019 С2.

Отображение технологического оборудования на функциональной схеме автоматизации регламентируется ГОСТ 21.403-80. Технологическое оборудование изображается в виде упрощенных контуров. В общем виде ФСА показывает, как взаимосвязаны отдельные части технологического процесса, принцип его действия, а также взаимодействие с измерительными устройствами и техническими средствами автоматизации [23,24].

При разработке функциональной схемы на первом этапе были определены измерительные каналы (2, 3, 5, 6, 8, 7, 10, 11, 13, 14), каналы регулирования (1, 4, 9, 12). Для измерения температуры пирогаза на выходе из змеевиков А, В, С, D используется термопара (канал 8). Расход сырья и пара на подачу в коллектор парасырьевой смеси измеряется с помощью расходомера каналов 3 и 14 соответственно, расход топливного газа на горелки в радиальную часть печи измеряется расходомером канала 11.

Также в конвективной части печи пиролиза бензина измеряется давление разрежения уходящих газов и содержание кислорода в них, которые измеряются датчиком давления и газоанализатором – каналы 6 и 7 соответственно.

С помощью каналов 1 и 12 осуществляется регулирование расхода сырья и пара в коллектор парасырьевой смеси. По каналу 9 идет регулирование расхода топливного газа, подаваемого на горелки, а по каналу 4 происходит регулирование подачи воздуха в конвективную часть печи. По каналам 2, 5, 10, 13 контроллер получает информацию о положении регулирующего клапана.

На листе в нижней части функциональной схемы изображен процесс с необходимыми составными частями, первичные преобразователи измеряемых технологических параметров, регулирующих устройств. В нижней части листа изображены приборы, установленные по месту, и шкаф управления с установленным на нем контролером.



## 4 Выбор технических средств систем управления

Для разработки АСУ ТП распыления жидкого топлива необходимо выбрать: программируемый логический контроллер; датчики температуры; датчики давления; расходомеры; датчики уровня; исполнительные механизмы; пускатели для исполнительных механизмов. При выборе сопоставляют цены, диапазон измерений, степень пыле- и влагозащиты, класс допуска.

### 4.1 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства выбран программируемый логический контроллер ПЛК FA-M3 производства Yokogawa Electric. Данный ПЛК предназначен для создания систем управления на крупных промышленных объектах. Он обеспечивает высокую отказоустойчивость, а за счёт высокой частоты опроса возможно управление малоинерционными процессами [25]. В таблице 2 представлены технические характеристики ПЛК FA-M3.

Таблица 2 – Технические характеристики ПЛК FA-M3

Параметр	Значение
Напряжение питания	+24В
Диапазон рабочих температур	-20...+65 °С
Тип процессора	F3SP71
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5А
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Масса прибора	0,4кг

Контроллер устанавливается на базовую плату – «корзину» или шину данных, которая позволяет установить до 16 модулей. Виды модулей, устанавливаемых на шину: блок питания, модуль связи, блоки модулей расширения аналогового и дискретного ввода/вывода и т.д.

На рисунке 5 представлен ПЛК FA-M3 и устанавливаемые модули.



Рисунок 5 - ПЛК FA-M3 и устанавливаемые модули

#### 4.2 Выбор датчика температуры

Для измерения температуры пирогаза на выходе из змеевиков выбрана термопара Siemens Sitrans TH1000. Термопара Siemens Sitrans TH1200 предназначены для контроля температуры жидких сред (бензин, масла и другие химически агрессивные рабочие среды). Данный вид термопары имеет встроенный преобразователь для преобразования сигнала температуры, в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА [26]. В таблице 3 представлены технические характеристики термопары Siemens Sitrans TH1000.

Таблица 3 – Технические характеристики термопары Siemens Sitrans TH1000

Параметр	Значение
Диапазон измерения	0...1000 °С
Выходной сигнал	4...20 мА
Пыле- и влагозащита	IP67
Класс точности	0,25
Тип	Fe/Cu, Ni
Взрывозащита	есть

#### 4.3 Выбор датчика давления разрежения

Для измерения давления разрежения уходящих газов в конвективной части печи пиролиза бензина был выбран преобразователь давления

измерительный 3051S 3A. Он представляет собой полностью герметичный узел, обеспечивающий защиту от попадания пыли и влаги [27]. В таблице 4 представлены технические характеристики преобразователя давления измерительного 3051S 3A.

Таблица 4 – Технические характеристики преобразователя давления измерительного 3051S 3A

Параметр	Значение
Измеряемая среда	Агрессивные жидкости, пары газы, нефтепродукты
Диапазон измерения	-98...245 кПа
Основная погрешность	0,25
Рабочий диапазон температур	-45...250 °С
Степень защиты	IP 68
Взрывозащита	есть

#### 4.4 Выбор средств измерения расхода

Для измерения расхода пара и сырья, подаваемых в змеевики на выход в печь пиролиза бензина, был выбран вихревой расходомер Yokogawa DY. Он представляет собой интеллектуальный датчик расхода, предназначенный для измерения объема расхода нефтепродуктов, пара или газа [25]. В таблице 5 представлены технические характеристики вихревого расходомера Yokogawa DY.

Таблица 5 – Технические характеристики вихревого расходомера Yokogawa DY

Параметры	Значение
Условный диаметр	300 мм
Максимальный расход	300 м <sup>3</sup> /ч
Рабочее давление измеряемой среды	4 МПа
Температура измеряемой среды	0...260 °С
Материал фланца	Нержавеющая сталь
Напряжение питания	12 В постоянного тока
Пыле- и влагозащита	IP68

#### 4.5 Выбор газоанализатора

Для измерения содержания кислорода в уходящих дымовых газах был выбран газоанализатор кислорода LAMTEC модели LT1. Газоанализаторы кислорода LAMTEC модели LT1 предназначены для измерения объемной доли кислорода в отходящих газах топливосжигающих установок и в других негорючих газах. Газоанализаторы кислорода представляют собой стационарные приборы непрерывного действия [28].

В таблице 6 представлены технические характеристики LAMTEC модели LT1.

Таблица 6 - Технические характеристики LAMTEC модели LT1

Параметры	Значения
Диапазон показаний	0...6 %
Диапазон измерений	0...6 %
Основная погрешность	0,2
Предел допускаемого времени установления показаний	20 с

#### 4.6 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм (ИМ) выбираем исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента [30].

Для выбора ИМ рассчитаем максимальное значение крутящего момента по формуле:

$$M_{max}^{kp} = 6,89D_y - 338, \quad (1)$$

где  $M_{max}^{kp}$  – максимальное значение крутящего момента, Н·м;

$D_y$  – диаметр трубопровода, мм.

$$M_{max}^{kp} = 6,89 * 150 - 338 = 696 \text{ Нм.}$$

Выбираем ИМ типа МЭОФ-1000/37-0,63 с номинальным значением момента на выходном валу 1000 Н·м, номинальное значение полного хода 0,63 об, номинальное значение времени полного хода 37 с. Данный

исполнительный механизм снабжен токовым датчиком положения выходного вала. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети трехфазного переменного тока 380 В [29]. Внешний вид исполнительного механизма представлен на рисунке 6. Для реализации АСУ необходимо 9 исполнительных механизма МЭОФ1000/37-0,63.

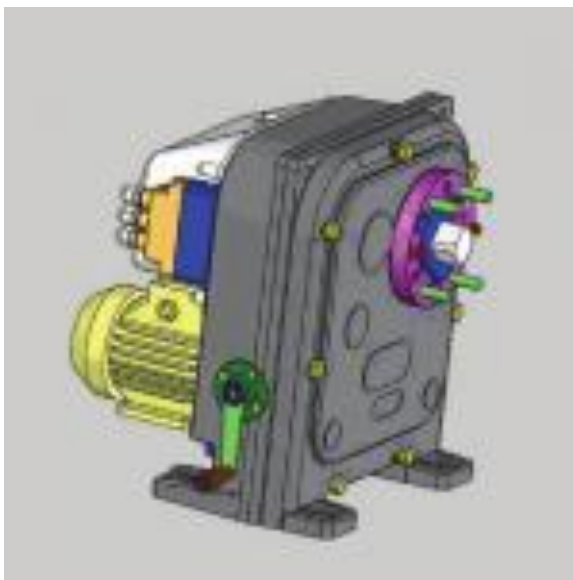


Рисунок 6 – Внешний вид исполнительного механизма

#### 4.7 Выбор пускателя для исполнительного механизма

Пускатель реверсивный бесконтактный ПБ-3И предназначен для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами по ГОСТ 7192-89, в которых применяются трехфазные электродвигатели электрической мощностью до 4,5 кВт. Пускатель 24 предназначен для использования в системах автоматического управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

Установки ПБ-3И производятся АО «ЗЭиМ». Эти блоки допускают работу в режиме многократного кратковременного переключения. Блок включает в себя микропроцессор, два канала интерфейса RS-485, а также входы аналоговых сигналов управления и силовой преобразователь [30]. Внешний вид представлен на рисунке 7. На основе выбранных технических средств выбрано девять пускателей ПБ-3И.



Рисунок 7 – Внешний вид пускателя

## 5. Составление перечней входных и выходных сигналов

Для реализации системы необходимо наличие в контроллере 24 аналоговых входа для измерения параметров (температура, давление, содержание кислорода, расход) технологического процесса и 9 аналоговых выходов для передачи управляющих воздействий на регулирующие клапаны. Перечень входных и выходных сигналов представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень входных и выходных сигналов

№	Наименование параметра	Единицы измерения	Предел измерения
1	Температура пирогаза на выходе из змеевика А	°С	0...950
2	Температура пирогаза на выходе из змеевика В	°С	0...950
3	Температура пирогаза на выходе из змеевика С	°С	0...950
4	Температура пирогаза на выходе из змеевика D	°С	0...950
5	Расход пара змеевика А	кг/ч	5000
6	Расход пара змеевика В	кг/ч	5000
7	Расход пара змеевика С	кг/ч	5000
8	Расход пара змеевика D	кг/ч	5000
9	Расход сырья змеевика А	кг/ч	5000
10	Расход сырья змеевика В	кг/ч	5000
11	Расход сырья змеевика С	кг/ч	5000
12	Расход сырья змеевика D	кг/ч	5000
13	Расход топливного газа	кг/ч	5000
14	Давление разряжения уходящих газов	кПа	-98
15	Содержание кислорода в конвективной части	%	6
16	Положение задвижки по пару 1	%	0...100
17	Положение задвижки по пару 2	%	0...100
18	Положение задвижки по пару 3	%	0...100
19	Положение задвижки по пару 4	%	0...100
20	Положение задвижки по сырью 1	%	0...100
21	Положение задвижки по сырью 2	%	0...100
22	Положение задвижки по сырью 3	%	0...100
23	Положение задвижки по сырью 4	%	0...100
24	Положение задвижки по топливному газу 1	%	0...100
26	Открыть/закрыть РК-1 по пару	-	-
27	Открыть/закрыть РК-2 по пару	-	-
28	Открыть/закрыть РК-3 по пару	-	-
29	Открыть/закрыть РК-4 по пару	-	-
30	Открыть/закрыть РК-1 по сырью	-	-

Продолжение таблицы 6

№	Наименование параметра	Единицы измерения	Предел измерения
31	Открыть/закрыть РК-2 по сырью	-	-
32	Открыть/закрыть РК-3 по сырью	-	-
33	Открыть/закрыть РК-4 по сырью	-	-
34	Открыть/закрыть РК-1 по топливному газу		



## 6. Разработка схемы электрической соединений

Полный набор приборов и средств автоматизации, используемых в системе контроля температуры и расхода топлива, отражает принципиальную электрическую схему. Схема соединений определяет конструктивное выполнение электрических соединений между элементами в изделии. На схеме показаны все устройства и элементы, задействованные в цепи, а также связи между ними. Устройства изображаются прямоугольниками, а элементы - условными графическими изображениями, установленными в технической конструкторской документации. Позиционные обозначения, присвоенные устройствам и элементам на принципиальной схеме, указывают рядом с условными графическими изображениями. На схеме должны быть указаны обозначения выводов (контактов) элементов, нанесенные на изделие или установленные в конструкторской документации.

При создании схемы используются подробные изображения элементов технических средств. Линии связи должны состоять только из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь минимальное количество пересечений для облегчения чтения. Расстояние между соседними параллельными линиями должно быть не менее 5 мм [34].

Наряду с разработкой электрической принципиальной схемы должны быть составлены списки элементов, входящих в состав щита управления.

Схема электрическая соединений представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.015 Э4.

## 7. Разработка чертежа общего вида щита управления

Расположение средств автоматизации на фасадных сторонах панелей, а также выбор расстояния по высоте и ширине между ними выполнять с учетом свободного открывания крышек приборов и для возможности прокладки и присоединения электрических проводок, а также исключения возможности взаимного повреждения приборов. Размер для справок щита управления 600x400 [31].

На отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.019 ОВ4 представлена схема общего вида щита управления. На нем показан вид спереди, расположение средств автоматизации внутри щита, а также размеры для справок.



- F11 CV;
- F11 MV.

На мнемосхеме F11 MV расположен перечень манипулируемых параметров – контуры управления в виде таблицы, которыми СУУТП управляет для поддержания текущих значений контролируемых параметров в заданных границах и описание переменных. Оператор может включить контроллер СУУТП и перевести его в разные режимы управления кнопками “OFF”, “STBY”, “CNTL” и “OPTM” и таймер WATCHDOG, который показывает связь между серверами PCSU и СУУТП. Также на мнемосхеме имеется возможность изменить верхние и нижние операторские границы переменных, включить и выключить их в зависимости от технического состояния оборудования или технологического режима, режим работы регуляторов и текущее значение.

На рисунке 8 показана мнемосхема СУУТП F11 MV.

MVs/DVs of F11 Controller - ТОМСК АРС

Аварийное отключение АРС

Управляемые переменные MV 8 СЕК

Позиция	Описание	Ед. из.	Текущее значение	Уставка	Нижняя граница	Верхняя граница	Максимальный шаг	Feedfwd	Режим PCSU	APC/PCSU
F11_P33_PID.SV	Давление топливного газа	МПа	*****	0.0000	0.0000	0.3000	0.0100	№	MAN	APC
F11_F03A_PID.SV	Расход сырья Поток А	кг/ч	0.00	0.00	0.0000	4980.00	20.00	№	MAN	APC
F11_F03B_PID.SV	Расход сырья Поток Б	кг/ч	0.00	0.00	0.0000	4980.00	20.00	№	MAN	APC
F11_F03C_PID.SV	Расход сырья Поток С	кг/ч	0.00	0.00	0.0000	4980.00	20.00	№	MAN	APC
F11_F03D_PID.SV	Расход сырья Поток D	кг/ч	17.03	17.03	0.0000	4980.00	20.00	№	MAN	APC
F11_M41_PID.SV	Разрежение в печи	Па	8.7	-50.0	-190.0	-50.0	0.2	№	MAN	APC
F11_F01A_PID.SV	Расход пара Поток А	кг/ч	-0.01	0.00	0.0000	3500.00	10.00	№	MAN	APC
F11_F01B_PID.SV	Расход пара Поток Б	кг/ч	1.39	1.39	0.0000	3500.00	10.00	№	MAN	APC
F11_F01C_PID.SV	Расход пара Поток С	кг/ч	1.19	1.19	0.0000	3500.00	10.00	№	MAN	APC
F11_F01D_PID.SV	Расход пара Поток D	кг/ч	2.07	2.07	0.0000	3500.00	10.00	№	MAN	APC

Переменные возмущений DV

Позиция	Описание	Ед. из.	Текущее значение	DV ВКЛ/ОТКЛ
F11_M41_PID.PV	Разрежение в печи	Па	8.7	APC

F11 CV F11 PAGE LABSPYRO

Рисунок 8 – Мнемосхема СУУТП F11 MV

Мнемосхема F11 CV выполнена аналогичным образом, только на ней расположены контролируемые параметры.

На рисунке 9 показана мнемосхема СУУТП F11 CV.

CVs of F11 Controller - ТОМСК АРС

Аварийное отключ. АРС

Контролируемые переменные CV 5 СЕК

Оптимизация LOCAL

OFF OPTI CNTL

RTO: ВСЕ ПЕЧИ

Позиция	Описание	Ед. из.	Текущее значение	Нижняя граница	Верхняя граница	Принятое значение от RTO	Новое задание от RTO	Установившийся прогноз	СОСТОЯНИЕ CV	CV ВКЛ/ВЫКЛ
F11_T61A_PID.FV	Температура на выходе из печи по потоку А	град.С	698.5	634.5	835.5			-58.2	INACTIVE	ON
F11_T61B_PID.FV	Температура на выходе из печи по потоку В	град.С	698.6	634.5	835.5			-75.0	INACTIVE	ON
F11_T61C_PID.FV	Температура на выходе из печи по потоку С	град.С	698.5	634.5	835.5			-58.2	INACTIVE	ON
F11_T61D_PID.FV	Температура на выходе из печи по потоку D	град.С	698.5	634.5	835.5			-31.8	INACTIVE	ON
F11_QIR_93_1.FV	Содержание кислорода в дымовых газах	%	10.61	0.90	21.00			9.40	INACTIVE	ON
F11\$FRATIOA.FV	Соотношение пар/сырье Поток А	%	99.99	100.00	100.00			99.99	INACTIVE	ON
F11\$FRATIOB.FV	Соотношение пар/сырье Поток В	%	99.99	100.00	100.00			99.99	INACTIVE	ON
F11\$FRATIOC.FV	Соотношение пар/сырье Поток С	%	99.99	100.00	100.00			99.99	INACTIVE	ON
F11\$FRATIOD.FV	Соотношение пар/сырье Поток D	%	40.01	100.00	100.00			40.01	INACTIVE	ON
F11AVT.CPV	Средняя температура по потокам А,В,С,Д	град.С	698.5	634.5	835.5			-55.8	INACTIVE	ON
F11TOTALFEED.CPV	Суммарный расход сырья	кг/ч	18	10000	19000			3656	INACTIVE	ON

F11 MV F11 PAGE LABSPYRO

Рисунок 9 – Мнемосхема СУУТП F11 CV

Структура связи серверов РСУ и СУУТП представлена на рисунке 10.

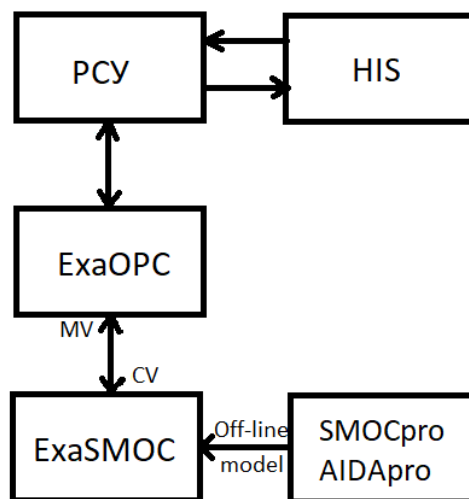


Рисунок 10 – Структура связи серверов СУУТП и РСУ

Контроллер СУУТП печи пиролиза F-11 считывает данные с РСУ, выполняет расчёт по идентифицированным моделям и выдает управляющие воздействия через OPC-сервер – ExaOPC в РСУ на ПИД-регуляторы.

## 9 Описание интеграционной части между АСУТП и СУУТП

Система СУУТП не может «напрямую» выдавать воздействия в ПИД-регулятор. Для того, чтобы уставка записалась в ПИД, необходимо интеграционное решение на стороне АСУТП.

В SCADA-системе Yokogawa Centum CS3000 интеграционное решение реализуется в Drawing. Под буфер обмена (CV Data Buffer и MV Data Buffer) между для СУУТП выбран DR0042. С помощью блоков BDSET-L данные отправляемые из СУУТП сохраняются в этих блоках. Данные, которые передаются – управляющие воздействия, статусы переменных, шаг изменения управляющей величины и прогнозное значение. Также с помощью этих блоков с СУУТП забирается «сырые» данные с измерительных устройств для расчёта по моделям управляющих воздействий.

На рисунке 11 представлен DR0042



Рисунок 11 – DR0042

Также в Drawing имеются блоки CALCU – в этих блоках можно производить простые расчёты или прописывать простую программную логику.

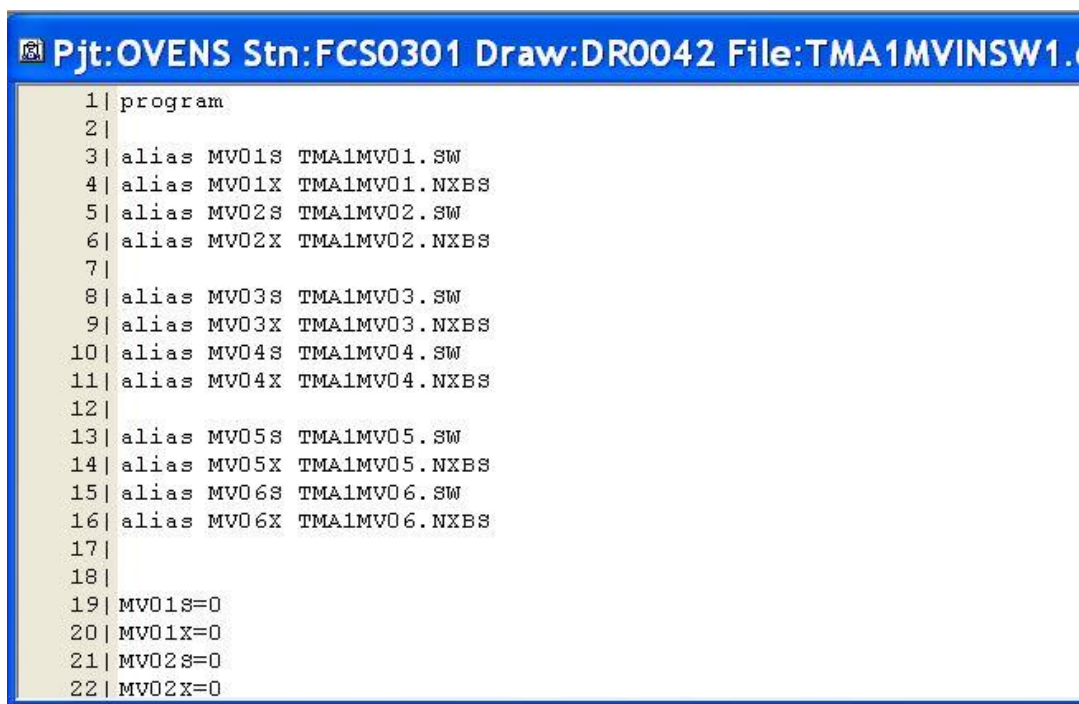
В массиве CALCU (Set Data Buffer .SW) блоки отвечают за статус работы контроллера СУУТП. На мнемосхеме оператора имеются кнопки перевода контроллера в режим «Наблюдение», «Управление» и «Оптимизация».

Режим «Наблюдение» - контроллер СУУТП работает в штатном режиме, т.е. забирается данные с измерительных устройств из АСУТП, рассчитывает по моделям прогнозные значения и управляющие воздействия. Но не выдает уставку в ПИД-блок.

Режим «Управление» -аналогичен режиму «Наблюдение», только управляющее воздействие отправляется в ПИД-блок исполнительных механизмов в АСУТП.

Режим «Оптимизация» - такой режим, при котором включается функция оптимизации внутри контроллера СУУТП, т.е. увеличение производительности и минимизация энергоресурсов (пар, топливный газ).

Листинг блоков CALCU переключения статусов работы переменных СУУТП представлен на рисунках 12 и 13.



```
Pjt:OVENS Stn:FCS0301 Draw:DR0042 File:TMA1MVINSW1.  
1| program  
2|  
3| alias MV01S TMA1MV01.SW  
4| alias MV01X TMA1MV01.NXBS  
5| alias MV02S TMA1MV02.SW  
6| alias MV02X TMA1MV02.NXBS  
7|  
8| alias MV03S TMA1MV03.SW  
9| alias MV03X TMA1MV03.NXBS  
10| alias MV04S TMA1MV04.SW  
11| alias MV04X TMA1MV04.NXBS  
12|  
13| alias MV05S TMA1MV05.SW  
14| alias MV05X TMA1MV05.NXBS  
15| alias MV06S TMA1MV06.SW  
16| alias MV06X TMA1MV06.NXBS  
17|  
18|  
19| MV01S=0  
20| MV01X=0  
21| MV02S=0  
22| MV02X=0
```

Рисунок 12 - Листинг блока CALCU для переключения статусов контролируемых (CV) переменных контроллера СУУТП

```
Pjt:OVENS Stn:FCS0301 Draw:DR0042 File:TMA1MVINSW1.edf
1| program
2|
3| alias MV01S TMA1MV01.SW
4| alias MV01X TMA1MV01.NXBS
5| alias MV02S TMA1MV02.SW
6| alias MV02X TMA1MV02.NXBS
7|
8| alias MV03S TMA1MV03.SW
9| alias MV03X TMA1MV03.NXBS
10| alias MV04S TMA1MV04.SW
11| alias MV04X TMA1MV04.NXBS
12|
13| alias MV05S TMA1MV05.SW
14| alias MV05X TMA1MV05.NXBS
15| alias MV06S TMA1MV06.SW
16| alias MV06X TMA1MV06.NXBS
17|
18|
19| MV01S=0
20| MV01X=0
21| MV02S=0
22| MV02X=0
```

Рисунок 13 – Листинг блока CALCU для переключения статусов манипулируемых (MV) переменных контролера СУУТП

С помощью массива CALCU (CV Data On/Off и MV Data On/Off) осуществляется включение и выключения контролируемые (CV) и манипулируемых (MV) переменных контролера СУУТП. Оператор может с мнемосхемы выполнить данное действие, когда на технологической установке начинается нестационарный технологический процесс или, когда измерительное устройство или исполнительный механизм неисправны. Это делается для того, чтобы избежать некорректного управления СУУТП.

Листинг блоков CALCU включения/выключения контролируемых (CV) и манипулируемых (MV) переменных контролера СУУТП представлен на рисунках 14 и 15.



```
Pjt:OVENS Str:FCS0303 Draw:DR0042 File:TMG1MV-RL1.edf - Edit
1| program
2| #define Remote 0
3| #define Local 1
4|
5| alias MV1STS TMG1MV01.DT01
6| alias MV2STS TMG1MV02.DT01
7| alias MV3STS TMG1MV03.DT01
8| alias MV4STS TMG1MV04.DT01
9|
10| alias MV1PV TMG1MV01STS.PV
11| alias MV2PV TMG1MV02STS.PV
12| alias MV3PV TMG1MV03STS.PV
13| alias MV4PV TMG1MV04STS.PV
14|
15| if ( MV1PV == 1 ) then
16|     MV1STS=Remote
17| else
18|     MV1STS=Local
19| end if
20|
21| if ( MV2PV == 1 ) then
22|     MV2STS=Remote
23| else
24|     MV2STS=Local
25| end if
26|
27| if ( MV3PV == 1 ) then
28|     MV3STS=Remote
29| else
30|     MV3STS=Local
31| end if
32|
33| if ( MV4PV == 1 ) then
34|     MV4STS=Remote
35| else
36|     MV4STS=Local
37| end if
38|
39| end
```

Рисунок 14 – Листинг блока CALCU для включения/отключения манипулируемых (MV) переменных контролера СУУТП

```
Pjt:OVENS Str:FCS0303 Draw:DR0042 File:TMG1CV-RM1.edf - Edit Calculat
1| program
2| #define RevF 0
3| #define RevT 1
4|
5| alias CV1RMV TMG1CV01.DT02
6| alias CV2RMV TMG1CV02.DT02
7| alias CV3RMV TMG1CV03.DT02
8| alias CV4RMV TMG1CV04.DT02
9| alias CV5RMV TMG1CV05.DT02
10| alias CV6RMV TMG1CV06.DT02
11|
12| alias CV1PV TMG1CV01SM.PV
13| alias CV2PV TMG1CV02SM.PV
14| alias CV3PV TMG1CV03SM.PV
15| alias CV4PV TMG1CV04SM.PV
16| alias CV5PV TMG1CV05SM.PV
17| alias CV6PV TMG1CV06SM.PV
18|
19| if (CV1PV==1) then
20|     CV1RMV=RevF
21| else
22|     CV1RMV=RevT
23| end if
24|
25| if (CV2PV==1) then
26|     CV2RMV=RevF
27| else
28|     CV2RMV=RevT
29| end if
30|
31| if (CV3PV==1) then
32|     CV3RMV=RevF
33| else
34|     CV3RMV=RevT
35| end if
36|
37| if (CV4PV==1) then
38|     CV4RMV=RevF
39| else
40|     CV4RMV=RevT
41| end if
42|
43| if (CV5PV==1) then
44|     CV5RMV=RevF
45| else
46|     CV5RMV=RevT
47| end if
48|
49| if (CV6PV==1) then
50|     CV6RMV=RevF
51| else
52|     CV6RMV=RevT
53| end if
54|
```

Рисунок 15 – Листинг блока CALCU для включения/отключения контролируемых (CV) переменных контролера СУУТП

Для более «гибкого управления» с помощью многопараметрического контроля управление СУУТП ведется в заданных диапазонах, которые определяются операторскими и инженерными границами. Инженерные границы выставляются в соответствие с нормами технологического режима, а операторские границы в соответствие с текущим режимом для достижения оптимальных показателей процесса. Чтобы оператор не вышел за рамки норм технологического режима вводятся ограничения операторских границ – они не могут быть больше, чем инженерные. Инженерные границы оператор поменять самостоятельно не может, они скрыты от него. Для этого в DR0043 созданы массивы CALCU (MV and CV Limeter), которые и выполняют функцию ограничения на стороне АСУТП. Листинг ограничения операторских границ контролируемые (CV) и манипулируемых (MV) переменных контролера СУУТП представлен на рисунках 16 и 17.

```
Pjt:OVENS Stn:FCS0303 Draw:DR0043 File:TMG1MV01-LIM.edf - Edit Calculatio
1| Program
2|
3| alias AA TMG1MV01.DT08
4| alias BB TMG1MV01.NX08
5| alias CC TMG1MV01.NX07
6|
7| alias SETH TMG1MV01.DT11
8| alias SETL TMG1MV01.NX11
9| alias HLIM TMG1MV01.DT06
10| alias LLIM TMG1MV01.NX06
11| alias MSIZE TMG1MV01.NX02
12| alias HLIMSIZE TMG1MV01.DT07
13|
14|
15| if ( (SETH<SETL) OR (SETH>HLIM) OR (SETH<LLIM) ) then
16|
17|     SETH=AA
18| else
19|     AA=SETH
20|
21| end if
22| if ( (SETL>SETH) OR (SETL<LLIM) OR (SETL>HLIM) ) then
23|
24|     SETL=BB
25| else
26|     BB=SETL
27|
28| end if
29| if ( (MSIZE>HLIMSIZE) OR (MSIZE<0) ) then
30|
31|     MSIZE=CC
32| else
33|     CC=MSIZE
34| end if
35| end
36|
37|
```

Рисунок 16 - Листинг ограничения операторских границ манипулируемых (MV) переменных контролера СУУТП

```
Pjt:OVENS Stn:FCS0303 Draw:DR0043 File:TMG1CV01-LIM.edf - Ed
1| Program
2|
3| alias AA TMG1CV01.DT08
4| alias BB TMG1CV01.NX08
5| alias HLIM TMG1CV01.DT11
6| alias L LIM TMG1CV01.NX11
7| alias SETH TMG1CV01.DT10
8| alias SETL TMG1CV01.NX10
9|
10| if ( (SETH<SETL) OR (SETH>HLIM) OR (SETH<L LIM) ) then
11|
12|     SETH=AA
13| else
14|     AA=SETH
15|
16| end if
17| if ( (SETL>SETH) OR (SETL<L LIM) OR (SETL>HLIM) ) then
18|
19|     SETL=BB
20| else
21|     BB=SETL
22|
23| end if
24| end
25|
```

Рисунок 17 - Листинг ограничения операторских границ контролируемых (CV) переменных контролера СУУТП

На рисунке 18 представлен DR0043 с массивом CALCU (MV and CV Limeter).

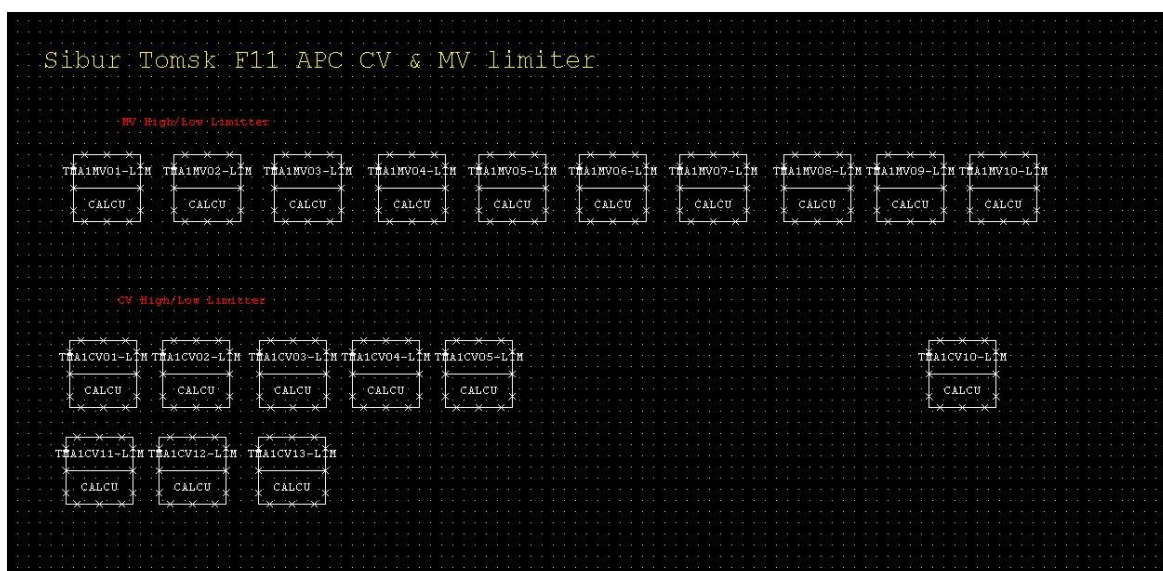


Рисунок 18 – DR0043 массивом CALCU (MV and CV Limeter)

## 10 Разработка многопараметрического контроллера СУУТП для печи пиролиза F-17 производства мономеров ООО «Томскнефтехим»

### 10.1 Структура программного обеспечения

Разработка и создание многопараметрического контроллера выполняется в нескольких программных продуктах для моделирования, а также для онлайн функционирования созданных моделей (устанавливается на сервер, подключённый к существующей АСУТП посредством протокола OPC) под названием Aida Pro и SMOС Pro от компании Yokogawa Electric. Aida Pro – эмпирический динамический инструмент для моделирования процесса. SMOС Pro – приложение для создания и моделирования линейных, многопараметрических контроллеров на основе прогнозирующей модели.

#### 10.1.1 Aida Pro

Методы разработки контроллеров, основанные на моделях, преобразовывают модели входа-выхода для получения алгоритма управления. На рисунке 19 представлена модель объекта управления.



Рисунок 19 – Модель объекта управления

Цель использования AIDA Pro – создать модели для дальнейшего использования при моделировании контроллера SMOС. В модели AIDA Pro

используется импульсная характеристика (FIR), преобразующаяся далее в параметрическую модель, которая может быть импортирована в SMOС Pro. На рисунке 20 представлена структура преобразования данных в параметрическую модель.



Рисунок 20 – Структура преобразования данных в параметрическую модель

Конечная импульсная характеристика FIR - это динамическая характеристика выхода в ответ на единичный импульс на входе.

Математическое описание моделирование процесса через FIR выглядит следующим образом:  $Выход(t) = b_0 * Вход(t) + b_1 * Вход(t-1) + \dots + b_n * Вход(t-n)$

Получив модель конечной импульсной характеристики FIR, производится преобразование в параметрическую модель. В параметрической модели рассматриваются три параметра:

- коэффициент усиления  $K$ ,
- время запаздывания  $DT$ ,
- временная постоянная  $t$ .

На рисунке 21 представлена кривая разгона технологического процесса.

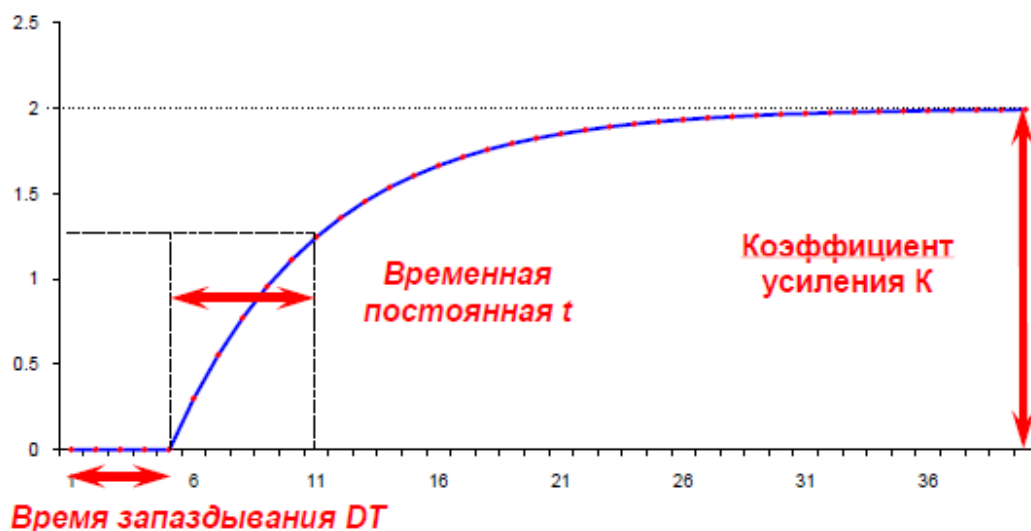


Рисунок 21 – Кривая разгона технологического процесса.

### 10.1.2 SMOС Pro

SMOCpro является автономным (off-line) приложением, предназначенным для создания и моделирования линейных, многопараметрических контроллеров на основе прогнозирующей модели для технологических процессов нефтяной и нефтехимической промышленности.

Таким образом, создание модели контроллера позволяет в том числе смоделировать влияние измеряемых возмущений на целевые переменные технологического процесса. В свою очередь, за счёт этого контроллер SMOС системы APC выдает сигнал управлением, воздействуя на контуры заблаговременно, начиная корректировать режим до момента, когда изменение измеряемых возмущений окажет влияние на контролируемые параметры процесса.

Определённые ранее в AIDA Pro параметры  $G$ ,  $T$  и  $DT$  переносятся в SMOС Pro, где в визуальном построителе контроллера их можно рассмотреть и, при необходимости, скорректировать. На рисунке 22 представлен пример модели взаимосвязей манипулируемых и контролируемых переменных в SMOС Pro.

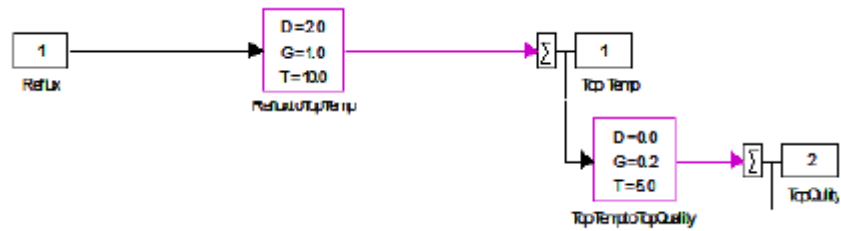


Рисунок 22 – Пример модели взаимосвязей манипулируемых и контролируемых переменных в SMOC Pro

Учитывая уже известное количественное влияние измеряемых возмущений на технологический процесс, и прогнозируя их поведение в будущем, возможно вычислить ошибку расчётов, и оценить её.

Процесс разработки и тестирования контроллера системы СУУТП в SMOC Pro можно охарактеризовать следующей схемой, представленной на рисунке 23.

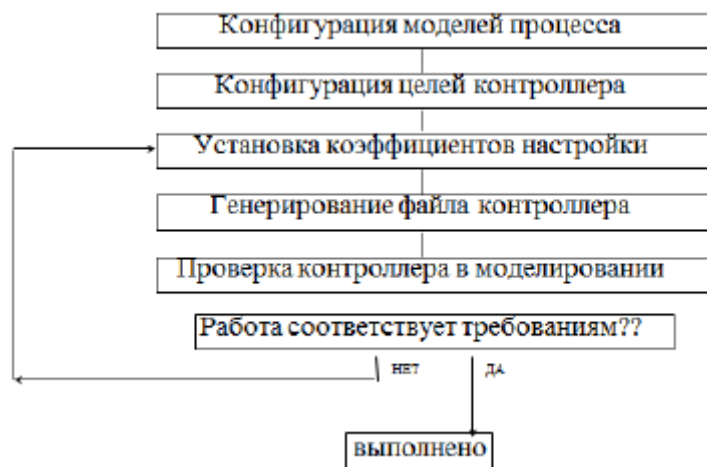


Рисунок 23 - Процесс разработки и тестирования систему СУУТП в SMOC Pro

## 10.2. Разработка многопараметрического контроллера печи пиролиза F-11

Aida Pro – это программное обеспечение для получения моделей управления на основе полученных данных с пошагового тестирования. Для

этого необходимо выбрать идентифицируемый сегмент, на котором проводился степ тест.

На рисунке 24 представлена трендовая группа степ-тестов.

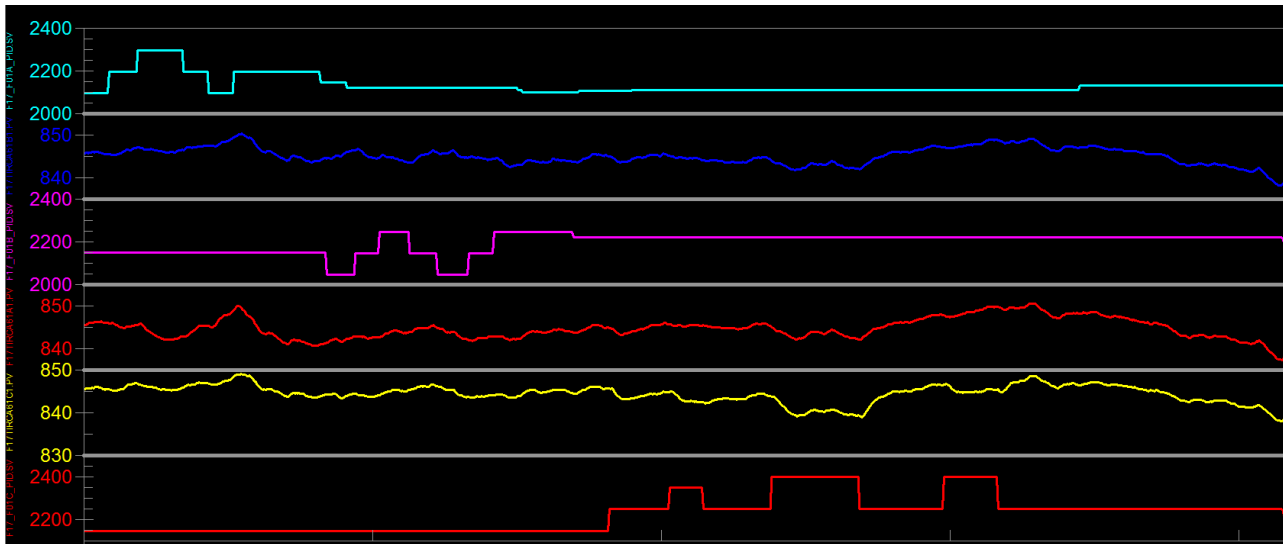


Рисунок 24 – Трендовая группа

На рисунке 25 представлен выбранный идентифицируемый сегмент.

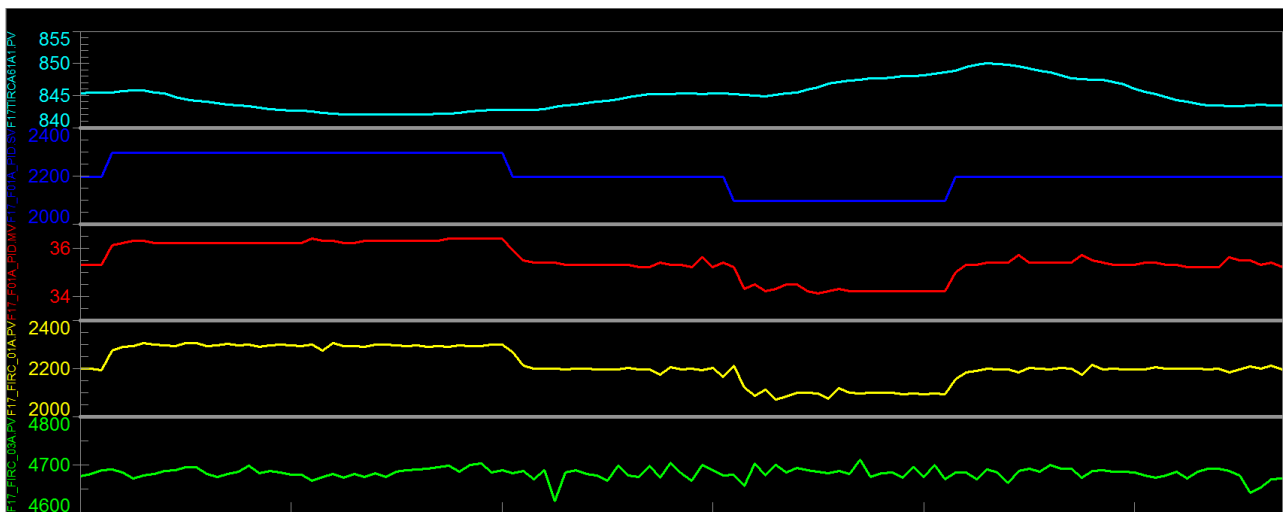


Рисунок 25 – Идентифицируемый сегмент

Далее на выбранном сегменте производится идентификация кривой разгона, на основе которой получают идентифицируемые модели. Для более точного выполнения идентификации моделей необходима задать стартовые



параметры на основе пошагового тестирования. Для этого выставляем Settling time – 12 минут и Dead time – 2 минуты. На рисунке 26 представлена таблица со стартовыми параметрами для идентификации.

		F17TIRCA61A1.PV
<b>Ramp</b>		<input type="checkbox"/>
F17_F01A_PID.SV	Dead Time	2.0000
	Settling Time	8.0000
F17_F01A_PID.MV	Dead Time	2.0000
	Settling Time	12.0000
F17_FIRC_01A.PV	Dead Time	2.0000
	Settling Time	12.0000

Рисунок 26 – Таблица со стартовыми параметрами для идентификации

Производим идентификацию. Результатом идентификации получаем таблицу с динамическими коэффициентами и матрицу моделей. Параметр FitStat показывает, насколько хорошо модель описывает идентифицируемую кривую. Чем больше FitStat, тем лучше качество идентификации.

На рисунке 27 представлена таблица с динамическими коэффициентами.

		F17TIRCA61A1.PV			
		T61 coil A			
<b>Ramp</b>		<input type="checkbox"/>			
F17_F01A_PID.SV	steam SV coil A	2nd Order			
			Value	95% Low	95% High
		Dt	1.45	0.0	3.511
		Gain	-0.03	-0.00087	0.00087
		Tau1	1.812	0.00005	4.217
		Tau2	1.997	0.5818	3.412
		FitStat	9.542		
F17_F01A_PID.MV		1st Order			
			Value	95% Low	95% High
		Dt	7.2	6.781	7.619
		Gain	-3.99	-11.18	3.199
		Tau1	3.59	0.00005	12.01
FitStat	13.0				
F17_FIRC_01A.PV	steam FIRC01.PV coil A	1st Order			
			Value	95% Low	95% High
		Dt	0.578	0.0	2.718
		Gain	0.07296	-0.0828	0.2281
		Tau1	20.52	15.55	25.9
FitStat	7.149				

Рисунок 27 – Таблица с динамическими коэффициентами

На рисунке 28 представлена матрица идентифицированных моделей.

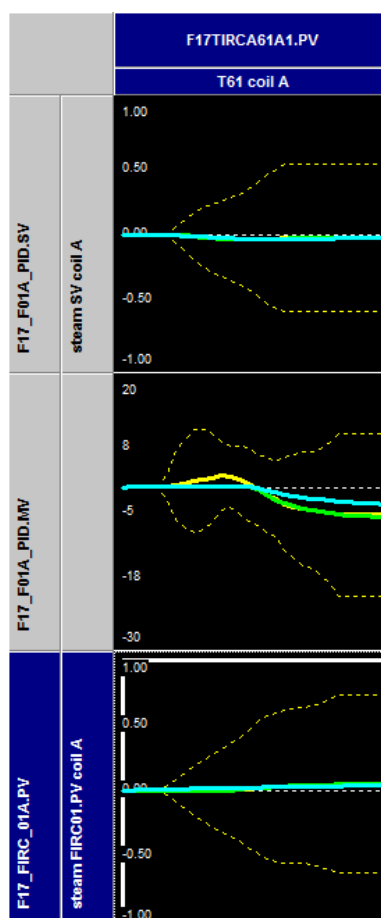


Рисунок 28 – Матрица идентифицированных моделей

После получения моделей на симуляции можем проверить насколько точно описывает получившаяся расчетная кривая тренд отклика системы, по которому производилась идентификация.

На рисунке 29 представлен график симуляции отклика моделей на проведенный ранее степ-тест.

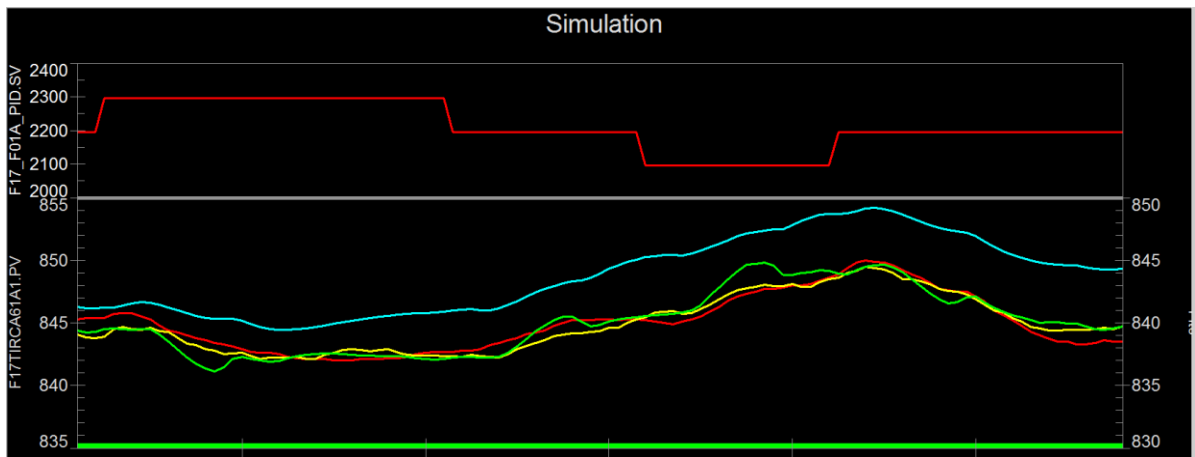


Рисунок 29 – График симуляции отклика моделей на проведённый ранее шаг-тест

Затем модели переносятся в приложение SMOС Pro, где строится модель взаимодействий – управляющих переменных на контролируемые. Во вкладке GMB model editor составляется конфигурация и переносятся динамические коэффициенты моделей.

На рисунке 30 представлена конфигурация взаимосвязей моделей в GMB model editor.

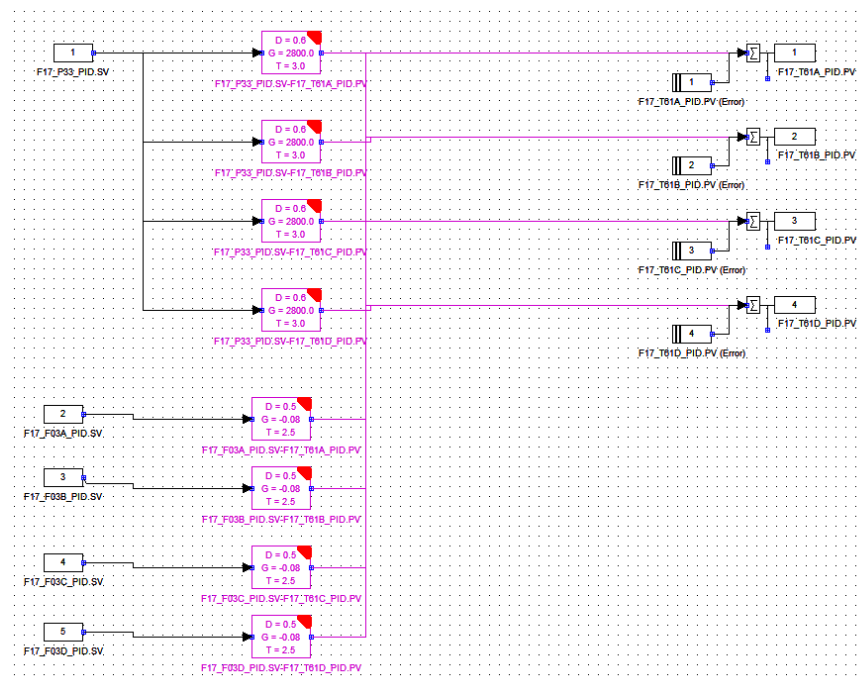


Рисунок 30 - конфигурация взаимосвязей моделей в GMB model editor

Для более точного управления каждой переменной выставляются весовые коэффициенты.

На рисунке 31 представлена таблица весовых коэффициентов переменных контроллера.

MV Weights			CV Weights		
Name	Damping	Weight	Name	Deviation	Weight
Input	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Output	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
F17_P33_PID	0.003892	50.000000	F17_T61A_PI	0.500000	2.000000
F17_F03A_PI	0.557984	0.100000	F17_T61B_PI	0.500000	2.000000
F17_F03B_PI	0.557984	0.100000	F17_T61C_PI	0.500000	2.000000
F17_F03C_PI	0.557984	0.100000	F17_T61D_PI	0.500000	2.000000
F17_F03D_PI	0.588047	0.100000	F17_QIR_93	0.500000	2.000000
F17_M41_PIC	44.721361	1.000000	F17SFRATIO/	0.050000	20.000000
F17_F01A_PI	11.363636	5.000000	F17SFRATIOI	0.050000	20.000000
F17_F01B_PI	11.363636	5.000000	F17SFRATIO(	0.050000	20.000000
F17_F01C_PI	11.363636	5.000000	F17SFRATIOI	0.050000	20.000000
F17_F01D_PI	11.363636	5.000000	F17AVT	0.500000	2.000000
			F17DT61A	1.000000	1.000000
			F17DT61B	1.000000	1.000000
			F17DT61C	1.000000	1.000000
			F17AVC2	1.000000	1.000000
			F17AVC3	1.000000	1.000000
			F17TOTALFE	100.000002	0.010000
			F17AVTSV	1.000000	1.000000
			F17O20PT	1.000000	1.000000

Рисунок 31 - Таблица весовых коэффициентов переменных контроллера

Затем прописывается адресация в ячейки интеграционного блока РСУ переменных контроллера, откуда данные посылаются на ПИД-регуляторы контуров управления.

На рисунке 32 показана таблица с адресацией переменных контроллера.

Alias	F17_T61A_PID.PV	F17_T61B_PID.PV	F17_T61C_PID.PV	F17_T61D_PID.PV	F17_QIR_93_1.PV	F17SFRA10A
Description	F17 COT A PV	F17 COT B PV	F17 COT C PV	F17 COT D PV	F17 O2%	F17 Steam to Feed Rat
Set Value Type [v]	SetRange	SetRange	SetRange	SetRange	SetRange	SetRange
Tracking Flag [v]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calculated Value [t/v]	TMG1CV01.DT01	TMG1CV02.DT01	TMG1CV03.DT01	TMG1CV04.DT01	TMG1CV05.DT01	TMG1CV06.DT01
SetRange High [t/v]	TMG1CV01.DT10	TMG1CV02.DT10	TMG1CV03.DT10	TMG1CV04.DT10	TMG1CV05.DT10	TMG1CV06.DT10
SetRange Low [t/v]	TMG1CV01.NX10	TMG1CV02.NX10	TMG1CV03.NX10	TMG1CV04.NX10	TMG1CV05.NX10	TMG1CV06.NX10
SetRange Entry High Limit [t/v]	TMG1CV01.DT11	TMG1CV02.DT11	TMG1CV03.DT11	TMG1CV04.DT11	TMG1CV05.DT11	TMG1CV06.DT11
SetRange Entry Low Limit [t/v]	TMG1CV01.NX11	TMG1CV02.NX11	TMG1CV03.NX11	TMG1CV04.NX11	TMG1CV05.NX11	TMG1CV06.NX11
Remove Flag [t/v]	TMG1CV01.DT02	TMG1CV02.DT02	TMG1CV03.DT02	TMG1CV04.DT02	TMG1CV05.DT02	TMG1CV06.DT02
Priority [t/v]	TMG1CV01.NX02	TMG1CV02.NX02	TMG1CV03.NX02	TMG1CV04.NX02	TMG1CV05.NX02	TMG1CV06.NX02
Setpoint Tracking Filter [s] [v]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	60.000000
Weight [v]	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	20.0
Calculated Constraint Flag [t/v]	TMG1CV01.NX03	TMG1CV02.NX03	TMG1CV03.NX03	TMG1CV04.NX03	TMG1CV05.NX03	TMG1CV06.NX03
Steady State Reachable Value [t/v]	TMG1CV01.DT14	TMG1CV02.DT14	TMG1CV03.DT14	TMG1CV04.DT14	TMG1CV05.DT14	TMG1CV06.DT14
Steady State Constraint Flag [t/v]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Actual CV Status [t/v]	TMG1CV01.NX01	TMG1CV02.NX01	TMG1CV03.NX01	TMG1CV04.NX01	TMG1CV05.NX01	TMG1CV06.NX01
Remote Target Value [t/v]	RT017.F2[2,1]	RT017.F2[2,1]	RT017.F2[2,1]	RT017.F2[2,1]	0.0	TMG1CV06.NX08
Remote Target Remove Flag [t/v]	RT017.I2[1,2]	RT017.I2[1,2]	RT017.I2[1,2]	RT017.I2[1,2]	True	RT017.I2[1,2]
Remote Target Weight [t/v]	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0
Remote Target Status [t/v]	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive
Comment						

Рисунок 32 – Таблица с адресацией переменных контроллера

Собранный контроллер погружается на сервер СУУТП в приложение Scheduler.

На рисунке 33 представлено приложение Scheduler.

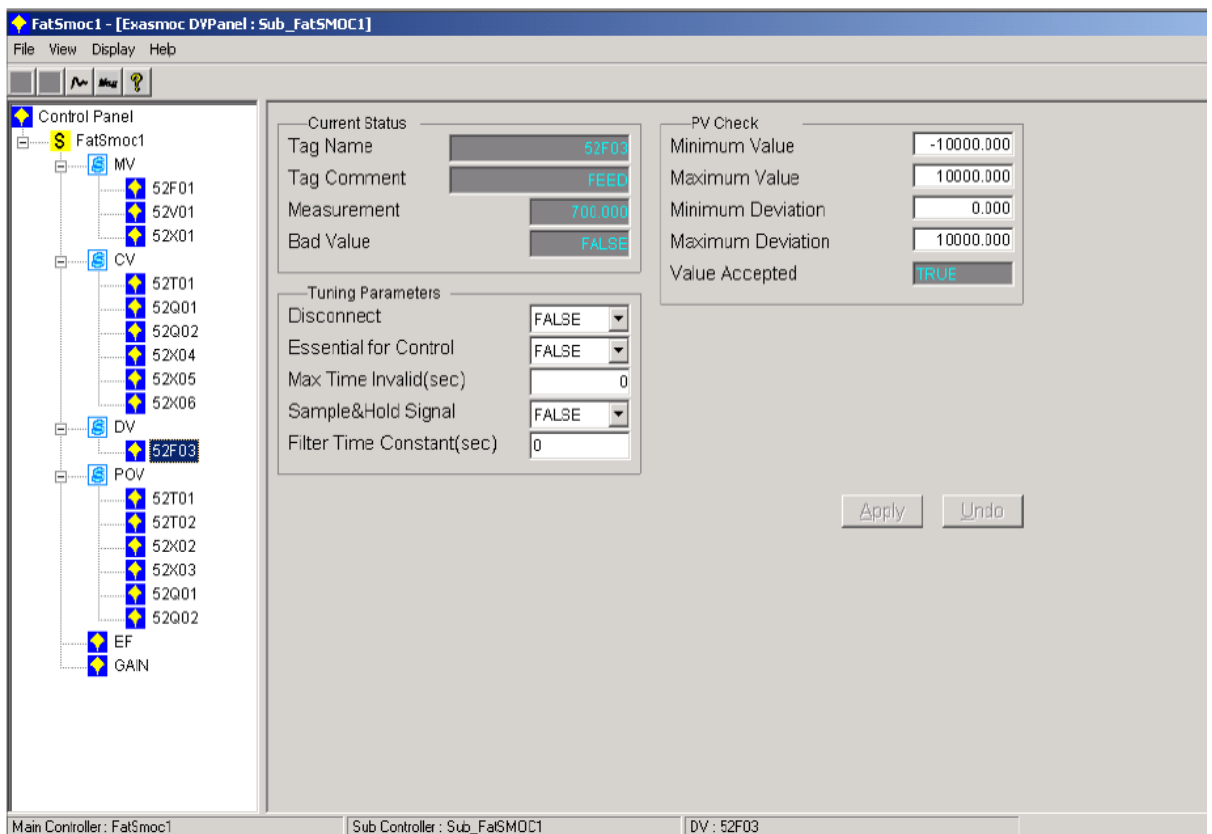


Рисунок 33 – Приложение Scheduler

## 11 Расчет параметров настройки регулятора

### 11.1 Идентификация объекта управления

Идентификация систем управления – это множество методов, при помощи которых можно построить модель системы, изменяющейся во времени, по данным с объекта автоматизации. Математическая модель в данной ситуации будет являться математическим описанием поведения системы или процесса в конкретном временном интервале. Различают активную и пассивную идентификацию. В первом случае – объект наблюдения принудительно выводится из состояния равновесия, при воздействии на его входы специальных сигналов.

Активная идентификация используется при разработке новых технологий, применяемых на промышленных объектах. Второй случай используется при уточнении построенной математической модели.

В данной работе для получения кривой разгона была использована модель изменения температуры в топочной камере котла КВ-ТС-30-150П от времени. Математическая модель построена на основе данных собранных с объекта управления – печи пиролиза бензина.

Переходная характеристика температуры пиролиза бензина змеевика А показана на рисунке 34.

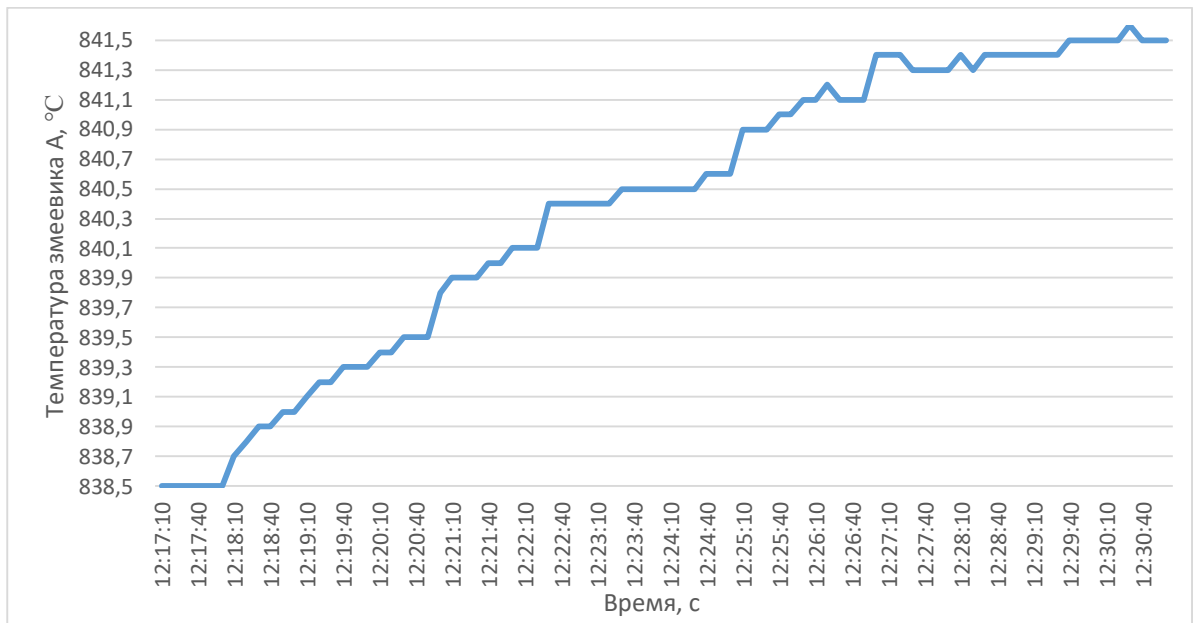


Рисунок 34 –Переходная характеристика температуры пиролиза бензина (змеевик А)

На основе полученной переходной характеристике определяем динамический коэффициенты объекта управления: постоянная времени  $T$ ; время запаздывания  $t$  и коэффициент усиления  $K$ .

По переходной характеристике температуры пиролиза бензина определим передаточную функцию, которая состоит из апериодического звена и звена запаздывания:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент передачи;

$P$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания;

$T$  – постоянная времени.

При нулевых начальных условиях решение уравнения 2 будет иметь вид:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[ 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (3)$$

Получаем два неизвестных значения времени запаздывания  $\tau$  и постоянную времени  $T$ . Коэффициент усиления  $k = \frac{h(T_y)}{A}$ , где  $A$  - выходное воздействие; при единичном воздействии  $k = h(T_y)$ . Время чистого запаздывания заранее выделяется из  $h(t)$ . На кривой разгона строим две точки  $A$  и  $B$ . Точка  $A$  определяется как  $0,33 k$ , а точка  $B$  имеет ординату  $0,7 k$ .

Постоянная времени  $T$  и время запаздывания  $\tau$  определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (4)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (5)$$

где  $t_A$  и  $t_B$  – временные значения для соответствующих точек на кривой;  $h_A$  и  $h_B$  – значение по оси  $y$  в точках  $A$  и  $B$ .

Определяем расположение на кривой точек  $A$  и  $B$  и находим необходимые неизвестные параметры.

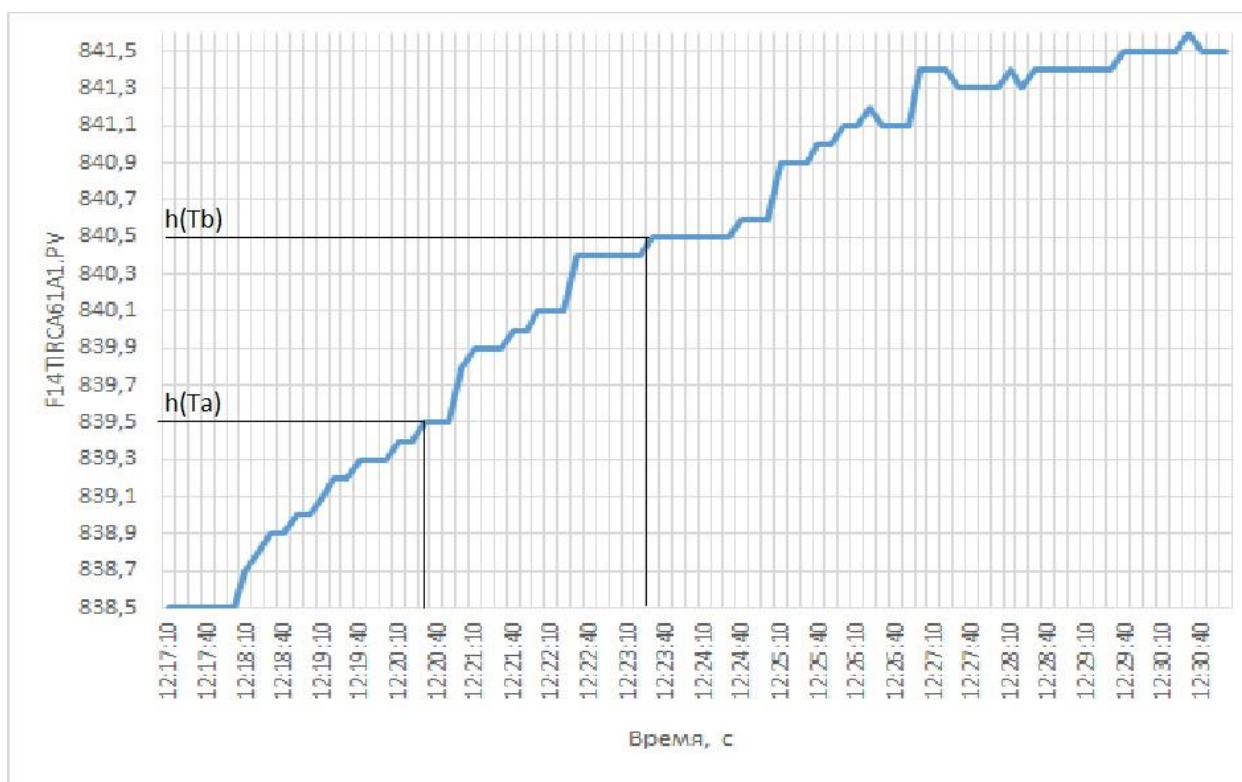


Рисунок 35 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора



Определяется время в точки В ( $t_B$ ) по нормированной переходной функции  $H(t)$ , которое является корнем уравнения  $h(t_B)$  и время  $t_A$  и  $h(t_A)$ . Затем вычисляются постоянная времени  $T$  и время запаздывания  $\tau$ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (6)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1,2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (7)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 150 - 320) = 65 \text{ с}, \quad (8)$$

$$T = 1,25(320 - 150) = 212,5 \text{ с}. \quad (9)$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{3}{(212,5P+1)} e^{-125P}. \quad (10)$$

## 11.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 36 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

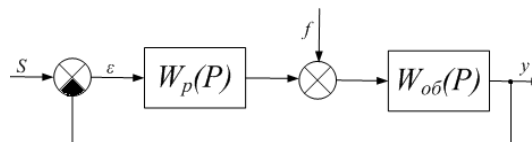


Рисунок 36 – Структурна схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной  $\psi=0,65$ .

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,65) = 0,167. \quad (11)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{3}{(215,5P+1)} e^{-65P}. \quad (12)$$

Полученные РЧХ объекта представлены в таблице 7 для диапазона частот от 0 до 0,01 с<sup>-1</sup>, шаг по частоте в 0,005 с<sup>-1</sup>.

Таблица 7 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0	3	0	3
0,005	0,7481	-2,216	2,339
0,01	-0,526	-1,391	1,487
0,015	-0,801	-0,727	1,081
0,02	-0,815	-0,284	0,863
0,025	-0,73	0,026	0,73
0,03	-0,594	0,245	0,643
0,035	-0,43	0,391	0,581
0,04	-0,253	0,473	0,537
0,045	-0,077	0,497	0,503
0,05	0,0867	0,47	0,478
0,05	0,0867	0,47	0,478
0,055	0,2261	0,399	0,458
0,06	0,3324	0,293	0,443
0,065	0,399	0,165	0,432
0,07	0,4222	0,026	0,423
0,075	0,4019	-0,11	0,417
0,08	0,3411	-0,231	0,412
0,085	0,2466	-0,327	0,409
0,09	0,1277	-0,388	0,408
0,095	-0,004	-0,408	0,408
0,1	-0,135	-0,386	0,409

Параметра настройки ПИ–регулятора рассчитываются по следующим формулам:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (13)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (14)$$

где  $K_p$  - коэффициент передачи регулятора,

$T_u$  – постоянная интегрирования.

Задаем диапазон изменения частоты  $0,025 \geq \omega \geq 0$  ( $c^{-1}$ ) с шагом  $\Delta\omega = 0,0005$  ( $c^{-1}$ ) определяем настройки регулятора и  $K_p$  с заданным шагом по частоте. Параметры настройки представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчета значений параметров регулятора

$\omega, c^{-1}$	$\frac{K_p}{T_u}$	$K_p$
0	0	-0,333
0,001	0,000094	-0,297
0,002	0,00037	-0,252
0,003	0,0008	-0,198
0,004	0,00138	-0,137
0,005	0,00208	-0,069
0,006	0,00288	0,00496
0,007	0,00374	0,084
0,008	0,00465	0,167
0,009	0,00557	0,254
0,01	0,00646	0,343
0,011	0,00731	0,433
0,012	0,00808	0,523
0,013	0,00873	0,613
0,014	0,00924	0,702
0,015	0,00959	0,789
0,016	0,00973	0,872
0,017	0,00965	0,951
0,018	0,00932	1,026
0,019	0,00873	1,095
0,02	0,00785	1,158
0,021	0,00667	1,214
0,022	0,00517	1,263
0,023	0,00336	1,304
0,024	0,00122	1,336
0,025	-0,00125	1,336

Для удобства и визуального отображения строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 36. Полученная кривая на рисунке 36 является линией для степени затухания равной 0,65. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

По данным таблицы 8 строим график зависимости  $\frac{K_p}{T_u} = f(K_p)$ .

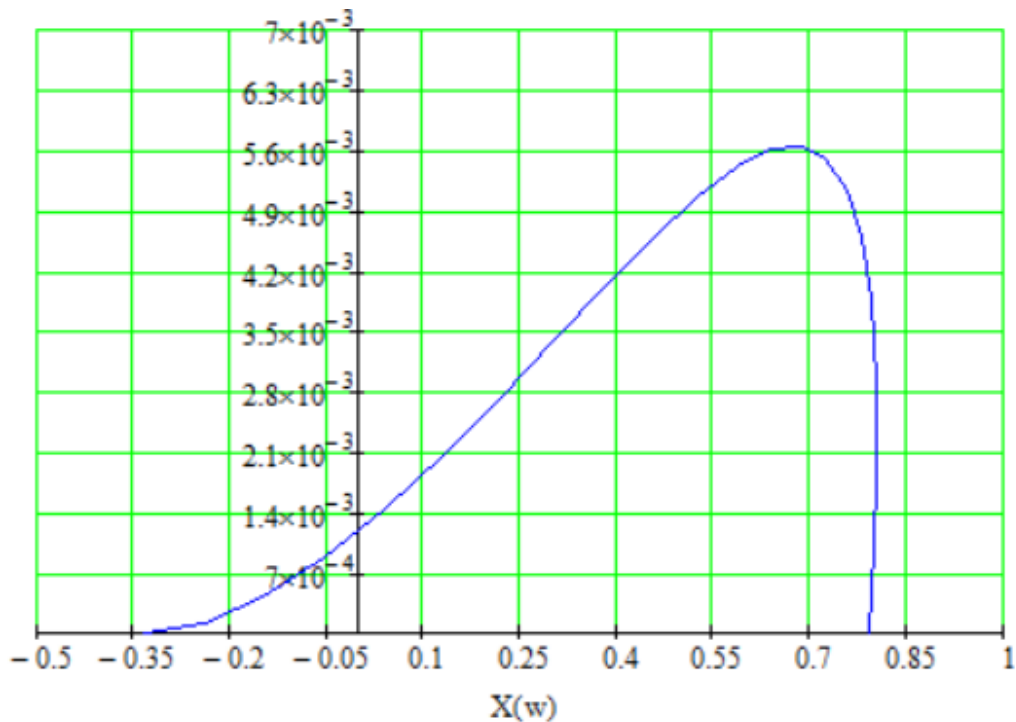


Рисунок 36 – Область параметров настройки ПИ – регулятора

В качестве критерия оценки качества используется вторая интегральная оценка. Минимальному значению этой оценки соответствует точка  $\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) \cdot 1,05$ , соотношения  $K_p/T_u$  на линии заданного запаса устойчивости.

Из таблицы 8 определяем:

$$\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,00525, \quad K_p = 0,735, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,0145 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 140 \text{ с.} \quad (15)$$

Проведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе при возмущении, которое идет по каналу регулирующего воздействия.

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (16)$$

где  $W_p(P)$  – передаточная функция регулятора;

$W_{об}(P)$  – передаточная функция объекта.

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 37 представлен график вещественной частотной характеристики.

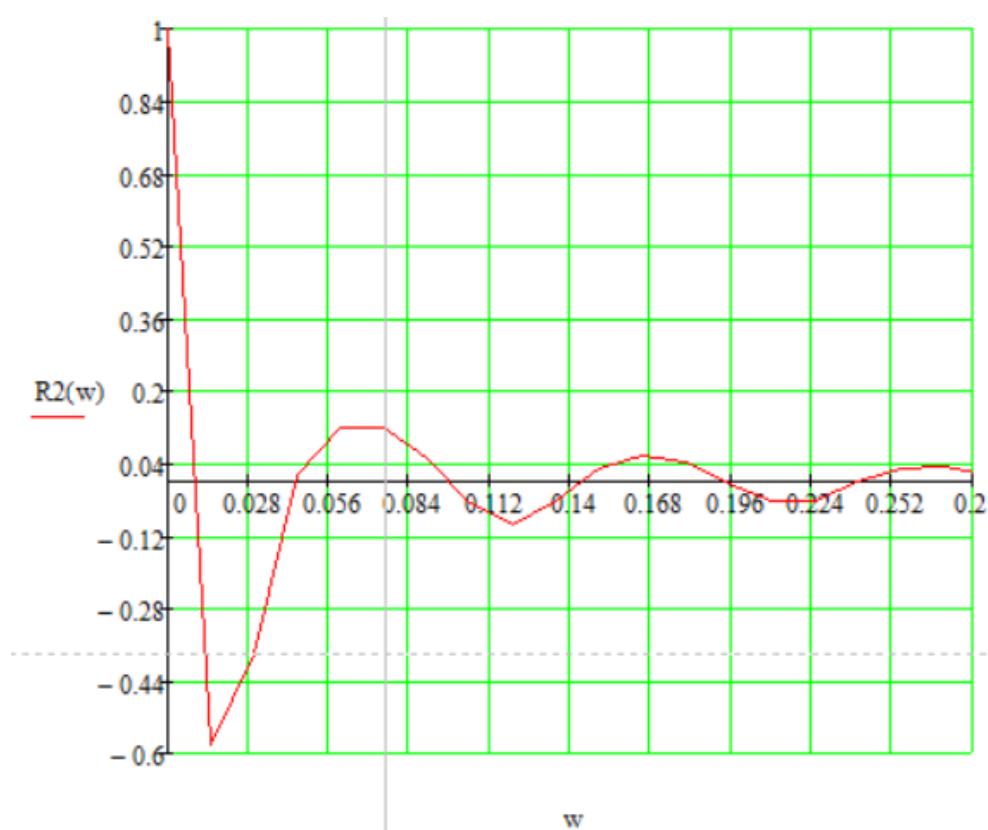


Рисунок 37 – Графическое изображение ВЧХ системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитываем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (17)$$

где  $Re(\omega)$  – вещественная частотная характеристика системы;  $\omega$  – частота;  $t$  – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение вещественной частотной характеристики системы стремится к 0. Из рисунка 37 определяем это значение.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,028} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (18)$$

На рисунке 38 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

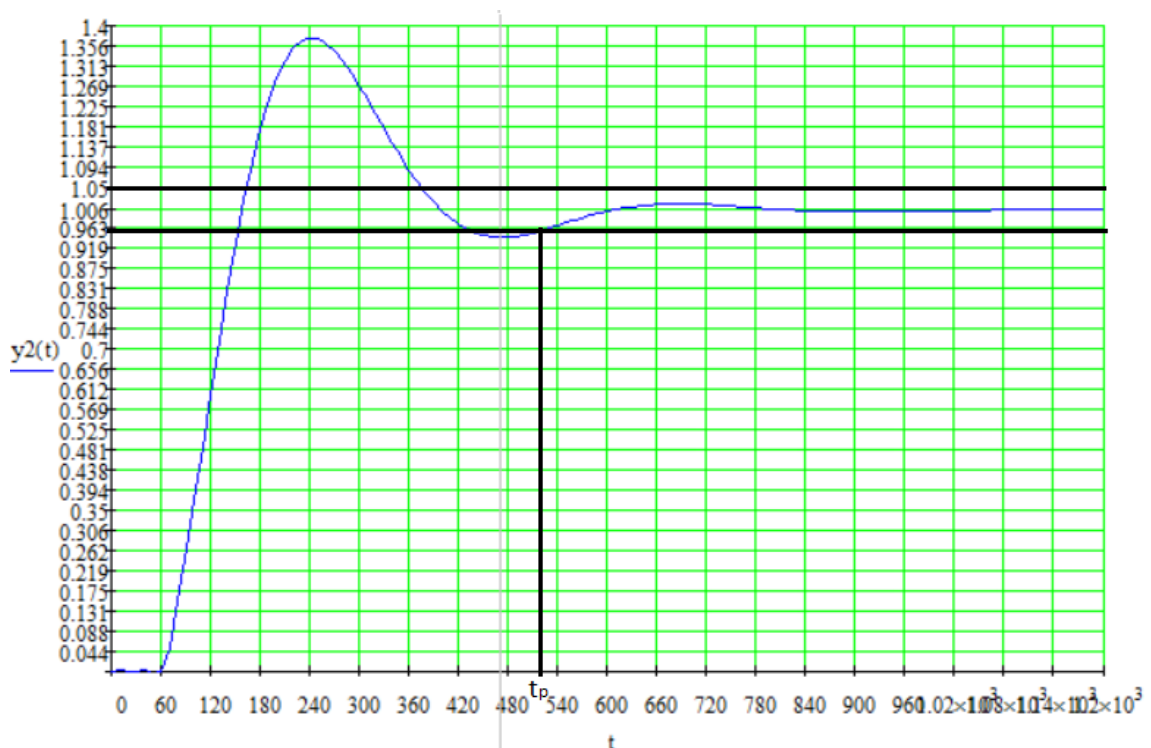


Рисунок 38 – Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Далее рассчитываем прямые оценки качества переходного процесса:

- 1) динамическая ошибка  $A_1 = 0,37$ ;

2) перерегулирование  $\sigma = \frac{100 \cdot A_1}{y(\infty)} = \frac{100 \cdot 0,37}{1} = 37\%$ ;

3) статическая ошибка  $\epsilon_{ст} = s - y(\infty) = 1 - 1 = 0$ ;

4) степень затухания  $\Psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,37 - 0,015}{0,37} = 0,95$ ;

5) время регулирования  $t_p = 520$  с.

## 12 Настройка ПИД-регулятора

Для более точного управления температурой пирогаза на выходе из змеевиков с помощью контроллера СУУТП необходимо, чтобы каждом исполнительном устройстве был четко отстроен ПИД-регулятор. Т.е. время регулирования процесса должно быть минимальным и составлять 120 секунд, регулятор должен обрабатывать возмущающие воздействия и приводить к заданному значению без перерегулирования –  $A_1=0$ , а также держать уставку. Для этого необходимо провести пошаговое тестирование и эмпирическим путем подобрать такие коэффициенты ПИД-регулятора, которые будут удовлетворять заданные условия для текущего режима технологического процесса.

Для шиберной заслонки F11\_M41\_PID необходимо более быстрое регулирование подачи воздуха, также она влияет на управление температурой пирогаза на выходе из змеевиков – объем воздуха, проходящий через сечение шиберной заслонки, охлаждает змеевики, тем самым снижая температуру реакции. Исходные параметры ПИД-регулятора F11\_M41\_PID представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные параметры ПИД-регулятора F11\_M41\_PID

P	I	DB	ML	MH
1000	10	5	0	100

Где DB – это зона нечувствительности, которая измеряется в инженерных единицах, ML и MH - настроечные параметры, определяющие нижнюю и верхнюю границу возможности задания на исполнительное устройство.

На рисунке 39 представлена настройка ПИД-регулятора шиберной заслонки F11\_M41\_PID.



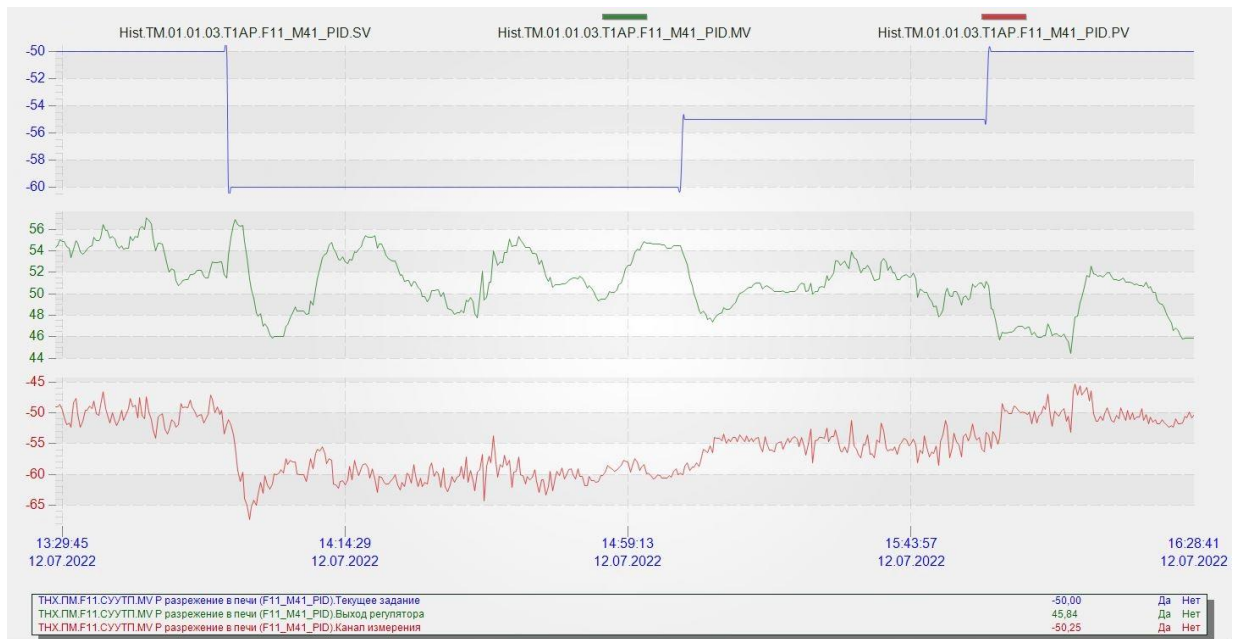


Рисунок 39 - Настройка ПИД-регулятора шиберной заслонки F11\_M41\_PID

Для того, чтобы оценить качество настрой ПИД-регулятора, необходимо изменить уставку и посмотреть отклик регулятора ИМ. На рисунке 40 видно, что заданной уставке по давлению разрежения в -60 кПа происходит перерегулирование на 5 кПа – динамическая ошибка более 30 %, и время регулирования занимает около 10 минут.

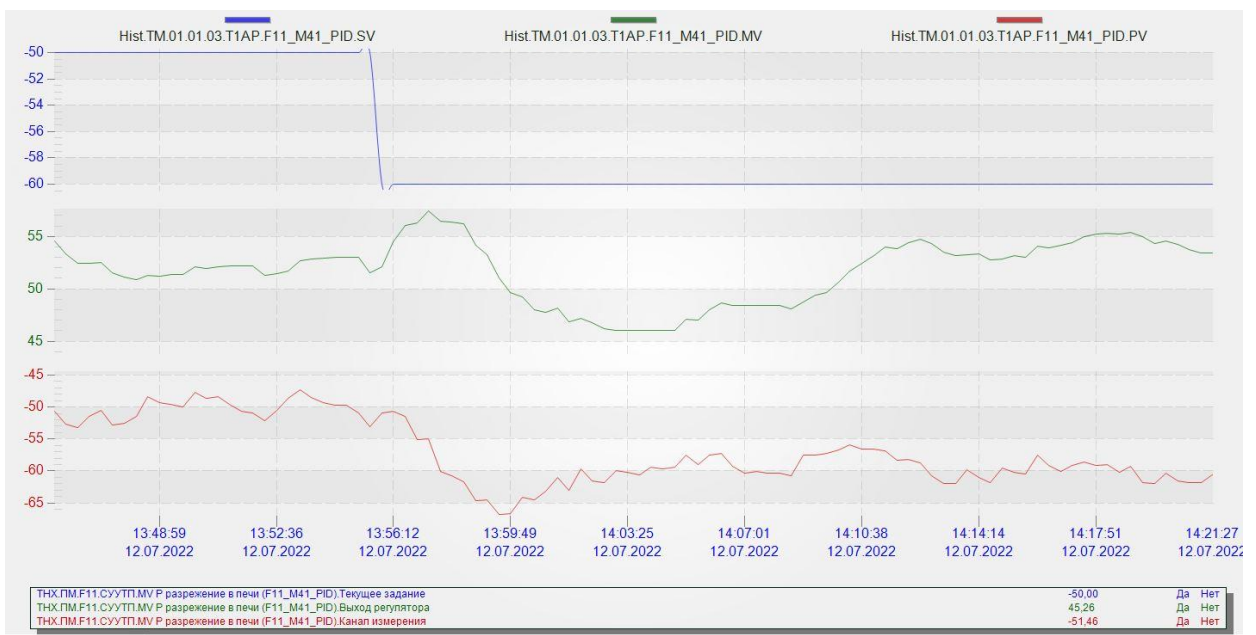


Рисунок 40 – Трендовая группа параметров ПИД-регулятора F11\_M41\_PID с уставкой -60 кПа

Из графика видно, что настройки регулятора загрублены. Изменим Р и I звено на 500 и 20 соответственно и изменим уставку на -55 кПа. На рисунке 41 представлена трендовая группа параметров ПИД-регулятора F11\_M41\_PID.

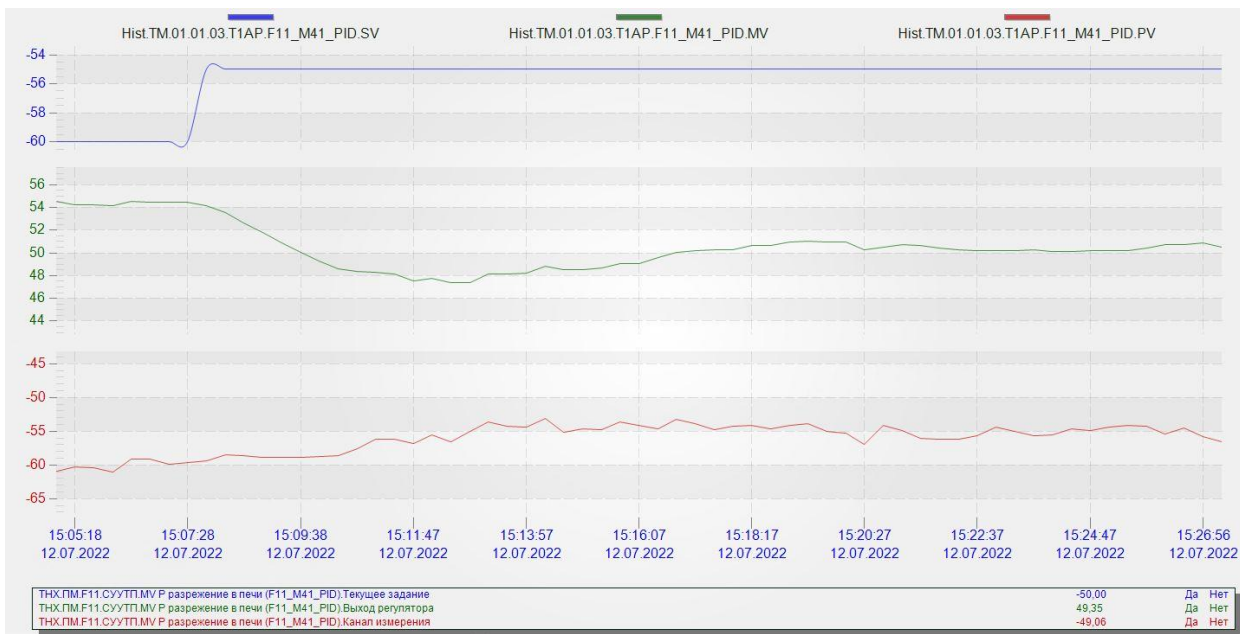


Рисунок 41 - Трендовая группа параметров ПИД-регулятора F11\_M41\_PID с уставкой -55 кПа

Из рисунка 41 видно, что перерегулирование отсутствует, и время регулирования уменьшилось в 2 раза. Чтобы ускорить и сделать более плавным регулирование, сделаем  $P=100$  и  $I=33$ , также для более четкого отклика на изменение давления разрежения снизим ДВ и сделаем его 1. Изменим уставку ПИД-регулятора, зададим -50 кПа. На рисунке 42 представлена трендовая группа параметров ПИД-регулятора F11\_M41\_PID с уставкой -50 кПа.

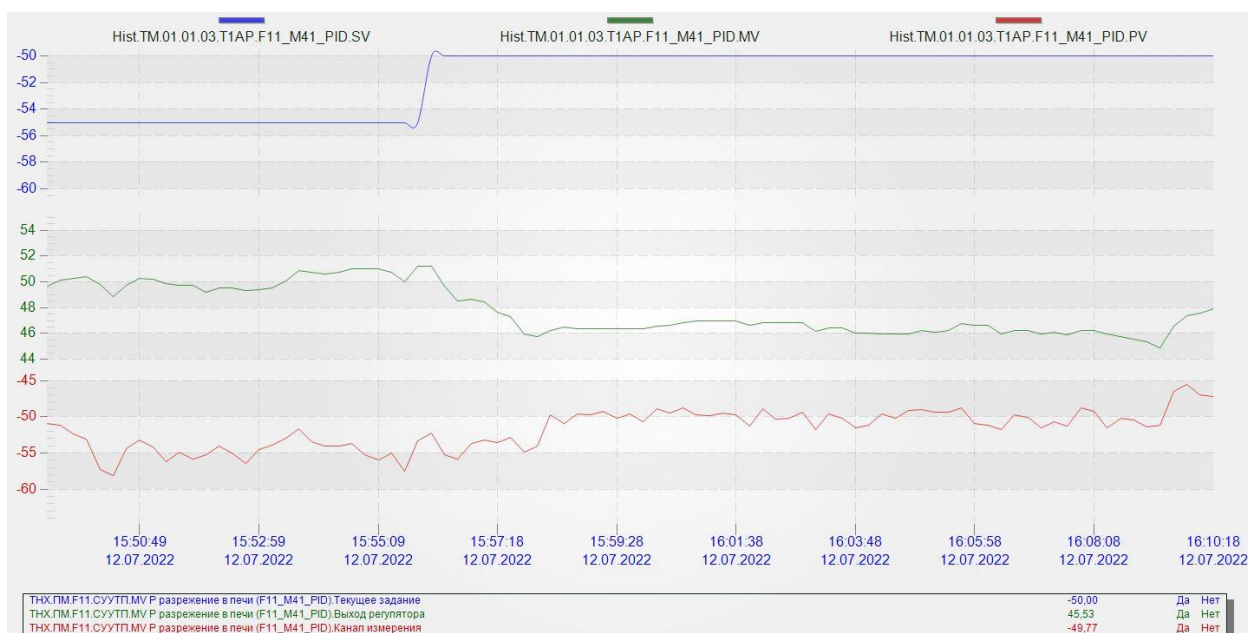


Рисунок 42 - Трендовая группа параметров ПИД-регулятора F11\_M41\_PID с уставкой -50 кПа

Из графика видно, что время регулирования уменьшилось и составляет приблизительно 2 минуты, что полностью удовлетворяет управлению на текущем технологическом режиме.

Также, чтобы предотвратить резкое закрытие шиберной заслонки из-за сильных порывов ветра – изменим настроечный параметр ML, принимаем равным 30. Т.е. при работе в автоматических и каскадных режимах управления шибер не закроется менее чем на 30%. Это дает возможность полного закрытия шибера остаётся в ручном режиме регулятора.

Для проверки выставленных значений настройки ПИД-регулятора проведем пошаговое тестирование, изменяя уставку по давлению разрежения. На рисунке 43 представлена трендовая группа параметров ПИД-регулятора F17\_M41\_PID при пошаговом тестировании.

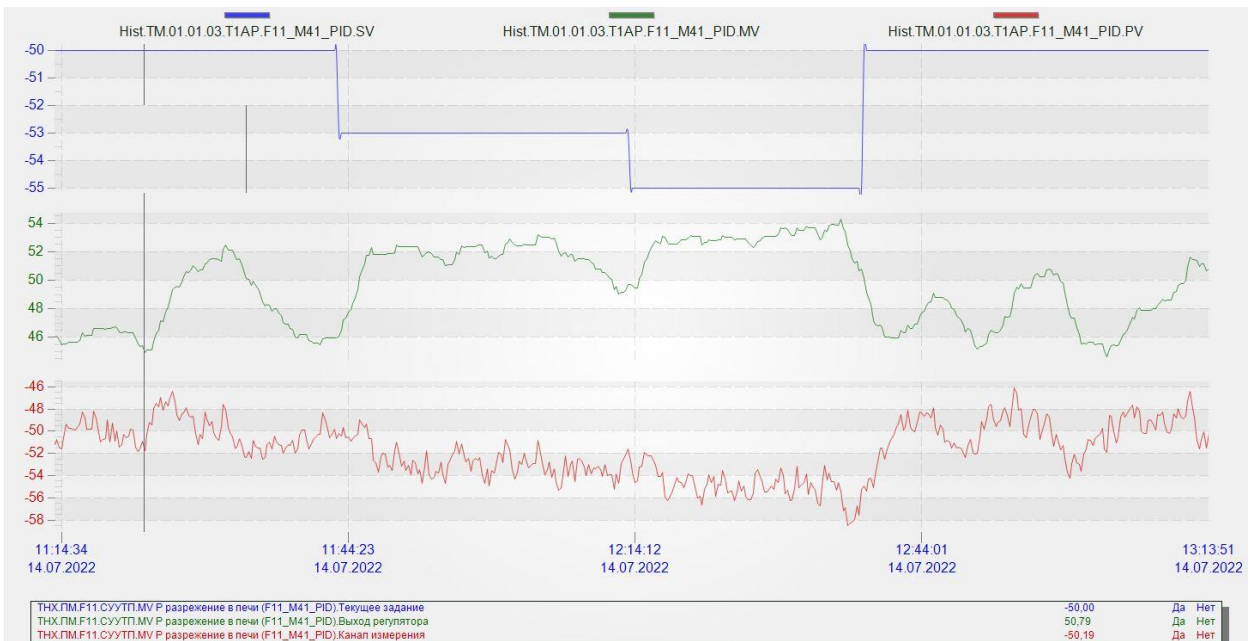


Рисунок 43 - Трендовая группа параметров ПИД-регулятора F11\_M41\_PID при пошаговом тестировании

Из проведенного тестирования видно, что регулятор соответствует исходным требованиям. В таблице 10 конечные параметры настройки ПИД-регулятора F11\_M41\_PID.

Таблица 10 – Конечные параметры ПИД-регулятора F17\_M41\_PID

P	I	DB	ML	MH
1000	10	5	0	100

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ13	Толкмит Дмитрий Валерьевич

<b>Школа</b>	ИШЭ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	И.Н. Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы -1,12; - накладные расходы – 20%; - норма амортизации 15%.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.</i>

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	<i>Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации, проведение SWOT-анализа.</i>
2. Разработка устава научно-технического проекта	<i>Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта.</i>
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

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

1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ13	Толкмит Дмитрий Валерьевич		

### 13 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках настоящей магистерской диссертации разрабатывается автоматизированная система управления подачей сырья и теплоносителей в печь пиролиза бензина F-11 установки пиролиза углеводородов нефти предприятия ООО «Томскнефтехим». Внедрение СУУТТП позволит увеличить производительность печи пиролиза, снизить СКО расход сырья и энергоресурсов, а также повысить качество выходного продукта, сместив выход углеводородов в сторону легких фракций. За счет снижения СКО повышается надежность оборудования, тем увеличивается отказоустойчивость оборудования.

Цель работы заключается в расчете экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления подачей сырья и теплоносителей в печь пиролиза бензина.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующий ряд задач:

- определить перечень работ и осуществить оценку времени их выполнения;
- составить смету затрат на реализацию проекта;
- вычислить разовые капитальные вложения на приобретение технических средств автоматизации, монтаж и их наладку;
- определить экономический эффект от внедрения данной системы.

В рамках данного проекта разрабатываемая система должна соответствовать высоким показателям ресурсоэффективности по основным критериям (безопасность, надежность, удобство эксплуатации, помехоустойчивость, энергосбережение).

### 13.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Под целевым рынком понимают сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых требуется определенный товар. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция и др.

Потенциальными потребителями результатов данной разработки являются коммерческие предприятия в сфере газо- и нефтепереработки. Сегментируем рынок по следующим критериям: размер организации-заказчика и эффект внедрения разработки. На основании этих критериев построим карту сегментирования.

Карта сегментирования рынка представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Карта сегментирования рынка

		Эффект от внедрения		
		Увеличение производительности	Снижение расхода энергоресурсов	Качество получаемого сырья
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Таким образом по приведенной карте сегментирования можно сделать вывод о том, что основными потребителями являются крупные газо- и нефтеперерабатывающие компании, для которых внедрение предиктивного управления дает наибольший экономический эффект.

### 13.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Разработка и проектирование любой автоматизированной системы предполагает, кроме составления проекта, анализ конкурентных технических решений. По своим основным целям проектирования варианты автоматизированных систем разных производителей схожи, но по техническим и экономическим критериям они будут различаться. Каждый производитель придерживается своих (наиболее важных) требований при разработке автоматизированных систем. Так, например, одни производители акцентируют внимание на безопасности, надежности, а другие на дешевизне. Примерами конкурирующих производителей автоматизированных систем являются Rockwell Automation (индекс «к1», см. таблицу 2) и HoneyWell Russia (индекс «к2», см. таблицу 2).

В ходе проведения анализа конкурентоспособности технических решений важным является выделение критериев оценки автоматизированных систем (сильные и слабые стороны). Данный анализ производится с помощью оценочной карты, представленной в таблице 2. Точка зрения конкурентов и разработки оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале (1 – наиболее слабая позиция, 5 – наиболее сильная). Веса показателей в сумме составляют 1.

Конкурентоспособность научной разработки рассчитывается с использованием следующей формулы:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (19)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки;  $B_i$  – вес показателя измеряется в долях единицы;  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Результаты анализа конкурентных технических решений представлены в таблице 12.



Таблица 12 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0,2	5	5	4	1	1	0,8
2. Унификация	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
3. Простота эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость	0,25	5	3	4	1,25	0,75	1
2. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
3. Срок реализации решения	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Итого	1				4,65	4,25	3,95

Анализ конкурентных технических решений показывает, что наиболее перспективным по техническим и экономическим критериям является реализация собственной разработки автоматизированной системы. Благодаря анализу можно увидеть соответствие сильных и слабых сторон различных производителей. Такой анализ необходимо осуществлять постоянно, поскольку в условиях рыночной экономики постоянно происходят перемены. Также, выполнение конкурентного анализа помогает вносить коррективы в научные исследования, чтобы поддерживать конкурентоспособность своего товара на рынке.

### 13.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексное исследование технологического проекта. Его применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Для проектируемой АСУ, SWOT – анализ позволит

оценить сильные и слабые стороны проекта, а также предполагаемые возможности и угрозы. Для проведения SWOT–анализа составляется матрица SWOT. При организации матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения [33]:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>  <b>С1.</b> Высокая экономичность и энергоэффективность технологии.  <b>С2.</b> Экологичность технологии.  <b>С3.</b> Повышение безопасности производства.  <b>С4.</b> Уменьшение затрат на ремонт оборудования.</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>  <b>Сл1.</b> Отсутствие квалифицированных кадров по работе с программным обеспечением.  <b>Сл2.</b> Уход из страны иностранных вехоров.  <b>Сл3.</b> Дороговизна оборудования.  <b>Сл4.</b> Трудность монтажа системы.</p>
<p><b>Возможности:</b>  <b>В1.</b> Использование передовых технологий в сфере автоматизации.  <b>В2.</b> Появление дополнительного спроса на новый продукт.  <b>В3.</b> Снижение затрат на таможенные пошлины за счет малого количества иностранных компонентов.  <b>В4.</b> Увеличение производительности производства.</p>	<p><b>В1С1С2С3.</b> Высокая экономичность и энергоэффективность технологии, экологичность технологии, квалифицированный персонал и повышение безопасности производства позволяют обеспечить использование передовых технологий в сфере автоматизации.  <b>В4С1С2С3.</b> Высокая экономичность и энергоэффективность технологии, экологичность технологии, квалифицированный персонал и повышение безопасности производства позволяют обеспечить увеличение производительности системы.</p>	<p><b>В2Сл1Сл2.</b> Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе программным обеспечением и уход иностранных вехоров могут изменить принцип работы автоматизированной системы.  <b>В4Сл3Сл4.</b> Увеличение производительности системы может привести к трудности монтажа системы и дороговизне оборудования.</p>

Продолжение таблицы 13

<p><b>Угрозы:</b>  <b>У1.</b> Отсутствие спроса на технологии производства.  <b>У2.</b> Ограничения на экспорт технологии.  <b>У3.</b> Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции.  <b>У4.</b> Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства.</p>	<p><b>У4С1С2С4.</b> Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства отрицательно влияет на высокую экономичность и энергоэффективность технологии, на экологичность технологии и может повлечь увеличение затрат на ремонт оборудования.</p>	<p><b>У1Сл1Сл2Сл3Сл4.</b>  Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с программным обеспечением, отсутствие уход иностранных вендоров, трудность монтажа системы и дороговизна оборудования в совокупности могут вызвать отсутствие спроса на технологии производства.</p>
---	--	---

По SWOT матрице, представленной в таблице 13 видно, что наиболее коррелирующими сильными сторонами и возможностями являются: В1С1С2С3, В4С1С2С3, т.е. высокая экономичность и энергоэффективность технологии, экологичность технологии, квалифицированный персонал и повышение безопасности производства позволяют обеспечить увеличение производительности автоматизированной системы управления подачи сырья и энергоресурсов в печь пиролиза бензина.

Наиболее часто коррелирующие слабые стороны и возможности: В2Сл1Сл2 и В4Сл3Сл4, т.е. отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием и отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца могут затруднить появление дополнительного спроса на новый продукт. Увеличение производительности печи пиролиза бензина может привести к трудности монтажа системы и дороговизне оборудования.

Сильно коррелирующие сильные стороны и угрозы: У4С1С2С4, т.е. отсутствие финансового обеспечения со стороны государства отрицательно влияет на высокую экономичность и энергоэффективность технологии, на экологичность технологии и может повлечь увеличение затрат на ремонт оборудования.

Сильно коррелирующие слабые стороны и угрозы: У1Сл1Сл2Сл3Сл4, это означает, что отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием, уход иностранных вендоров, трудность монтажа системы и дороговизна оборудования в совокупности могут вызвать отсутствие спроса на технологии производства.

Из выше приведенных результатов можно сделать вывод, что разрабатываемая система имеет как сильные, так и слабые стороны, однако слабые стороны по сравнению с сильными не существенны. Помимо этого, угрозы достаточно малы, что говорит о высокой надежности проекта

### 13.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для определения стадии жизненного цикла научной разработки необходимо оценить степень ее готовности к коммерциализации. Оценка степени готовности представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	4

Продолжение таблицы 14

9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
	Итого	45	45

При проведении анализа по таблице 4, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению отличается.

Таким образом, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где:  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

В результате можно сделать вывод, что перспективность разработки научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика находятся на одном уровне и имеют среднюю перспективность.

Вывод: Необходимо проработать слабые стороны проекта и улучшить показатели выхода на мировой рынок. Для дальнейшего развития проекта и подготовки его к коммерциализации необходимо провести анализ рынка сбыта и разработать бизнес-план по продвижению продукта на рынок. В будущем также необходимо рассмотреть возможность международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок. Так как уровень компетенций разработчиков в сфере коммерциализации не является достаточным, поэтому в дальнейшем потребуются привлечение дополнительных специалистов в команду проекта. Необходимо также сосредоточить свое внимание на вопросах финансирования научной разработки при ее коммерциализации, рассмотреть возможности использования услуг инфраструктуры поддержки и получения льгот.

## 13.2 Инициация проекта

### 13.2.1 Цели и результат проекта

Информация о заинтересованных сторонах проекта, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты в результате завершения проекта, представлены в таблице 15

Таблица 15 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Удовлетворение потребностей страны в высококвалифицированных специалистах
Разработчик проекта (магистрант)	Получение системы с новыми технологическими показателями
Газо- и нефтехимические предприятия	Появление новой материально выгодной АСУ ТП с улучшенными показателями

В таблице 16 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях их достижения.

Таблица 16 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получение системы с новыми технологическими показателями.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение системы с улучшенными характеристиками распыления топлив.
Критерии приемки результата проекта:	Эффективность готовой полученной системы в результате исследования. Улучшение характеристик распыления топлив.
Требования к результату проекта:	Требования:
	Минимизация расхода топлива.
	Улучшение качества распыления топлив.
	Определение оптимальных условий проведения процесса.

### 13.2.2 Организационная структура проекта

Следующим шагом является определение того, кто будет входить в рабочую группу данного проекта, роли каждого участника в данном проекте, а также функций, выполняемых каждым из участников и их трудозатраты. Данная информация представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Высокоморная О.В., ТПУ, доцент ИШФВП, к.т.н.	Руководитель проекта	Консультирование по выполнению ВКР	150
2	Якимова Т.Б., ТПУ, доцент ОСГН, к.э.н.	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	3

### Продолжение таблицы 7

3	Сечин А.А., ТПУ, доцент ООД, к.т.н.	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению раздела «Социальная ответственность»	3
4	Гончарова Л.А., ТПУ, доцент ОИЯ, к.п.н.	Эксперт проекта	Консультирование по выполнению английской части	3
5	Толкмит Д.В., ТПУ, магистрант	Исполнитель по проекту		1000
Итого				1159

### 13.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Эта информация представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1. Бюджет проекта	3306280,68 рублей
2. Источник финансирования	НИ ТПУ
3. Сроки проекта	10.02.2023 – 20.06.2023
3.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.02.2023
3.2 Плановая дата завершения проекта	20.06.2023

### 13.2.4 Планирование научно-исследовательской работы

В рамках данного раздела необходимо выполнить следующие действия: определить порядок работ в рамках исследования; определить



исполнителей каждой работы; установить продолжительность всех работ; построить календарный план-график проведения НТИ.

Формируется группа для выполнения работ, состоящая из научного руководителя проекта (НР) и инженера (И). Составим таблицу, содержащую перечень работ, основных исполнителей, продолжительность выполнения работ.

Таблица 19 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей при разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом вторичного измельчения распыленных водоугольных и органоводоугольных топливных композиций

Содержание работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях
1. Составление технического задания проекта	НР, И	5
2. Календарное планирование работ	НР, И	5
3. Обзор научной литературы	И	15
4. Экспериментальные исследования	И	35
5. Анализ объекта автоматизации	И	5
6. Проектирование АСУ ТП	И	20
7. Разработка схем	И	20
8. Написание дополнительных разделов ВКР	И	15
9. Оформление итоговых материалов ВКР	И	5
10. Подготовка презентации	И	5
11. Согласование результатов	НР, И	5
Итого	НР	15
	И	130

Таким образом, согласно таблице 19 работа состоит из 11 основных этапов. Основная часть всех работ реализовывается инженером. Решение совокупности всех работ позволит реализовать проект. По данным таблицы 9 построен календарный план-график проведения НТИ в виде диаграммы в таблице 20. На основании полученной диаграммы видно, что работы начинаются с 3 декады февраля и заканчиваются в начале второй декады июня.

Таблица 20 – Календарный план-график проведения НТИ

№	Вид работ	$T_{ki}$ , кален д. дн.	Фев.		Март			Апрель			Май			Июнь	
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление технического задания проекта	3	■												
2	Календарное планирование работ	3	■	■											
3	Обзор научной литературы	6		■	■	■									
4	Экспериментальные исследования	35			■	■	■	■	■						
5	Анализ объекта автоматизации	5						■							
6	Проектирование АСУ ТП	20						■	■	■					
7	Разработка схем	15							■	■	■	■			
8	Написание дополнительных разделов ВКР	15									■	■	■	■	
9	Оформление итоговых материалов ВКР	5												■	■
10	Подготовка презентации	6												■	■
11	Согласование результатов	4													■

НР – ■ ; И – ■.

### 13.2.5 Бюджет научно-технического исследования

Размер затрат НТИ является основой для определения бюджета данного проекта, который при составлении договора с заказчиком защищается научной организацией в виде нижнего предела затрат на создание научно-технической продукции.

Для формирования затрат исследования используются следующие виды затрат: материальные затраты НТИ; накладные расходы; основная заработная плата участников исследования; дополнительная заработная плата участников исследования; отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); амортизация.

### 13.2.6 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

К материальным затратам научно-технического исследования относятся: канцелярские принадлежности, покупные материалы и т.п. В таблице 21 представлены материальные затраты.

Таблица 21 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм-я	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З <sub>м</sub> ), руб.
Бумага для принтера	пачка	2	1300	2600
Ручки	шт.	4	70	280
Карандаши	шт.	4	35	140
Мультифоры	шт.	10	3	30
Картридж для принтера	шт.	1	900	900
Итого				3950

Итоговые затраты согласно таблице 21 составили 3950 рублей. Цены на все товары взяты средние по г. Томску.

### 13.2.7 Амортизация

Осуществим расчет амортизации отчислений. При разработке автоматизированной системы управления используется компьютерная техника, имеющая срок службы, и, как следствие, существует необходимость учета затрат на ее износ.

Затраты на амортизацию рассчитываются по формуле:

$$Z_{амор} = \frac{H_a \cdot Ц_{об} \cdot t_{исп} \cdot n}{F_0}, \quad (20)$$

где  $H_a$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;  $Ц_{об}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом транспортно-заготовительных расходов, руб.;  $t_{исп}$  – фактическое время использования единицы оборудования, ч.;  $n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования;  $F_0$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования (для шестидневной рабочей недели 2408 часов), ч.

$$Z_{амор} = \frac{0,15 \cdot 100000 \cdot 654 \cdot 1}{2408} = 4073,9 \text{ руб.},$$

Итоговая сумма амортизации составила 4073,9 рублей.

### 13.2.8 Заработная плата исполнителей

Под заработной платой понимается оплата труда всех участников исследования: инженера и научного руководителя). Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Затраты на заработную плату рассчитываются по формуле:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (21)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.;  $Z_{доп}$  – доп. заработная плата, руб.

Основная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \cdot (1 + K_{пр} + K_0) \cdot K_p, \quad (22)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни;  $K_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент;  $K_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;  $K_p$  – районный коэффициент (равен 1,3 для г. Томска);

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (23)$$

где  $Z_m$  – оклад работника за месяц, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя и при отпуске в 48 рабочих дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная рабочая неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Далее в таблице 22 представлен баланс рабочего времени для шестидневной рабочей недели.

Таблица 22 – Баланс рабочего времени (для шестидневной рабочей недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	233

Рассчитаем среднедневную заработную плату для инженера и научного руководителя, данные внесем в таблицу 23:

$$Z_{\text{дн.ин}} = \frac{16300 \cdot 10,4}{233} = 728 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{дн.нр}} = \frac{39300 \cdot 10,4}{233} = 1754 \text{ руб.}$$

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{дн}$ , руб.	$K_{нр}$	$K_{д}$	$K_{р}$	$T_{р}$	$Z_{осн}$ , руб.
Инженер	728	0,3	0,4	1,3	130	209154
Научный руководитель	1754	0,3	0,4	1,3	15	58114
Итого						267298

Дополнительная заработная плата исполнителей определяется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (24)$$

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

Результаты расчетов дополнительной заработной платы внесем в таблицу 24.

Таблица 24 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{доп}$ , руб.
Научный руководитель	8717
Инженер	31373
Итого	40090

Таким образом, суммарная надбавка к основной заработной плате руководителя и инженера составила 40090 рублей.

### 13.2.9 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (25)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30,2 %.

Результаты расчетов отчислений во внебюджетные фонды внесем в

таблицу 25.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{внеб}$ , руб.
Научный руководитель	20183
Инженер	72639
Итого	92822

Сумма отчислений во внебюджетные фонды составила 92822 рублей.

#### 13.2.10 Накладные расходы

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

$$Z_{накл} = 0,2 \cdot (Z_{мат} + Z_{амор} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}); \quad (26)$$

$$Z_{накл} = 0,2 \cdot (3950 + 4073,9 + 267298 + 40090 + 92822) = 81646,78 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составили 81646,78 рублей.

#### 13.2.11 Смета затрат на оборудование

Смета составляется как на приобретение технологического оборудования, так и на строительные-монтажные работы. В таблице 26 представлена смета затрат на оборудование.

Таблица 26 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом 4...20мА Siemens Sitrans TN1000	4	55000	220000
Преобразователь давления с унифицированным выходным сигналом 4...20мА 3051S 3А	1	34500	34500
Измеритель массового расхода Yokogawa DY	9	120000	1080000
Газоанализатор содержания кислорода LAMTEC LT1	1	380000	380000
ПЛК FA-M3 с набором всех необходимых модулей	1	300000	300000
Пускатель реверсивный ПБР-3И	10	10500	105000
Исполнительный механизм МЭОФ-1000/37-0,63	10	22750	227500
Итого			2347000

Стоимость оборудования составила  $Z_{об} = 2347000$  рублей.

Капитальные вложения в монтаж рассчитываются как 20 % от вложений в оборудование:

$$Z_{\text{монт}} = 0,2 \cdot Z_{\text{об}}; \quad (27)$$

$$Z_{\text{МОНТ}} = 0,2 \cdot 2347000 = 469400 \text{ рубля.}$$

Затраты на покупку оборудования и его монтаж составят:

$$Z_{\text{м.об.}} = Z_{\text{об}} + Z_{\text{монт}}; \quad (28)$$



$$Z_{\text{м.об.}} = 2347000 + 469400 = 2816400 \text{ рубля.}$$

Таким образом, суммарные затраты на покупку и монтаж оборудования испытательного стенда составили 2816400 рубля.

### 13.2.12 Формирование затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком зачитывается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Данные бюджета затрат приведены в таблице 17.

Таблица 27 – Бюджет затрат

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты НТИ	3950	0,11
Затраты на амортизацию	4073,9	0,12
Затраты на основную заработную плату	267298	8,08
Затраты на дополнительную заработную плату	40090	1,23
Страховые взносы	92822	2,82
Накладные расходы	81646,78	2,46
Затраты на оборудование	2816400	85,18
Общий бюджет	3306280,68	100

Анализируя таблицу 27, можно сделать вывод, что наибольший процент затрат приходится на закупку и монтаж оборудования и составляет 85,18 %. Бюджет всех затрат составил 3306280,68 рублей.

### 13.2.13 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научной работы определяется с использованием интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (29)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент проекта;  $b_i$  – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Результаты расчетов интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Безопасность	0,3	5
Надежность	0,3	4
Удобство эксплуатации	0,2	4
Унификация	0,1	5
Энергосбережение	0,1	4
Итого	1	4,3

### 13.3 Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В рамках раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи: составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения; составлена смета затрат на проект; составлена смета затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта; определена ресурсоэффективность проекта.

Анализ затрат на разработку позволяет сделать вывод, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе являются затраты на оборудование, составившие 2816400 рубля, далее затраты на заработную плату – 267298 рублей. Меньше всего средств уходит на материальные затраты НИИ – 3950 рублей. Общий бюджет разработки составил 3306280,68 рублей, при этом, продолжительность работы составляет 130 дней.

Интегральный критерий ресурсоэффективности имеет высокий показатель (4,3 из 5), что говорит об эффективности проекта.

Внедрение автоматизированной системы управления подачей сырья и теплоносителей в печь пиролиза бензина F-11 установки пиролиза углеводородов нефти позволит увеличить производительность установки, снизить потребление энергоресурсов, повысить надежность эксплуатации установки и ее безопасность, надежность. А также улучшить качество производимого сырья за счет снижения СКО контролируемых параметров.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 5БМ13		<b>ФИО</b> Толкмит Дмитрий Валерьевич	
<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И.Н.Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» Автоматизация теплоэнергетических процессов

Тема ВКР:

Автоматизированная система управления подачей сырья и теплоносителя в печь пиролиза бензина F-11 установки пиролиза углеводородов нефти	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Объект исследования процесс создания автоматизированной системы управления подачей сырья и теплоносителей в печь пиролиза бензина.</p> <p>Область применения нефтехимическая промышленности, производство мономеров.</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение.</p> <p>Размеры помещения климатическая 4*8 м.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: АРМ оператора и шкаф АСУ.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации</b></p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»;</p> <p>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>– ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения;</p> <p>– ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ; Конституция РФ.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p> <p>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Отклонение параметров микроклимата; превышение уровня шума;</li> <li>Превышение уровня вибрации; недостаточная освещённость рабочей зоны;</li> <li>Повышенный уровень электромагнитного излучения.</li> </ol> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Повышенное значение напряжения в электрической цепи,</li> <li>Замыкание которой может произойти через тело человека.</li> </ol> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> использование защитных костюмов, беруши, наушники.</p>

	<b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения
<b>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></b>	<b>Воздействие на селитебную зону:</b> вредных веществ, отходов. <b>Воздействие на литосферу:</b> выбросы твердых продуктов сгорания. <b>Воздействие на гидросферу:</b> загрязнение природных источников воды при ее использовании в контуре печи пиролиза. <b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы твердых продуктов сгорания.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></b>	Возможные ЧС: - пандемия; - обрушение здания; - прорыв топливной магистрали; - возникновение пожара. Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара.
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Толкмит Дмитрий Валерьевич		

Автоматизация технологических процессов и производств позволяет осуществлять работу производства топлива без непосредственного участия обслуживающего персонала. Задачи оператора АСУ включают: контролирование параметров процесса пиролиза бензина, управление и принятие решений в случае возникновения аварийных ситуаций. Большая часть работы оператора АСУ производится с использованием компьютера в закрытом помещении, поэтому важными факторами при работе оператора являются микроклимат помещения, освещение, шум, электромагнитное излучение, рабочая поза. Также необходимо рассмотреть факторы, влияющие на электробезопасность и пожарную безопасность, и рассмотреть вопросы ее организации на производстве топлива.

Рабочая зона представляется собой операторскую комнату, в которой оператор работает за персональным компьютером – автоматизированным рабочем местом. В комнате оператора также находится шкаф щита управления. Область применения технологии – газоперерабатывающие и нефтехимические производства.

### 14.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020) обеспечивает гарантию надлежащих условий труда, соблюдения прав работодателя, работника и регулирует вопросы, касающиеся трудовых отношений в целом [34]. Конституция Российской Федерации обеспечивает право на труд, безопасность, оплату труда не ниже минимальной, возмещение ущерба в случае производственных травм или профессиональных заболеваний, защиту экологии и т. д. [36].

Рабочие должны проходить регулярные медицинские осмотры, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты [35].

Также согласно ТК РФ должна соблюдаться защита персональных данных сотрудника, продолжительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю, не менее 30 минут каждый рабочий день должно выделяться для отдыха и приема пищи [34].

Конструкция щита автоматизации отвечает требованиям эргономики по ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [36], в том числе в плане обеспечения соответствующих размеров оборудования и его составных частей, расположения датчиков, рабочих органов, трудозатрат работника за рабочий день. Поворотные переключатели должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 22613-77 [37], а кнопочные – с ГОСТ 22614-77 [38].

Раз в три месяца оператор АСУ должен проходить инструктаж по технике безопасности, а также соблюдать правила пожарной безопасности. Оператор не должен оставлять АСУ без присмотра и надзора. Предприятие должно обеспечить оператора индивидуальными средствами защиты, такие как спецодежда, спец-обувь и так далее. Остановка работы системы производится в случаях аварии или после получения распоряжения от администрации предприятия. В конце рабочего дня оператор обязан сдать дежурство, сделав отметку в журнале.

## 14.2 Производственная безопасность

При выборе факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [39]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 29.

Таблица 29 – Опасные и вредные фактора при работе оператора АСУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень шума	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
2. Повышенный уровень вибрации		+	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах/
3. Электрический ток и электромагнитное воздействие	+	+	ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

Вредные и опасные факторы присутствуют в основном на этапе эксплуатации. Необходимо принять меры по предотвращению либо минимизации воздействия вредных и опасных факторов на организм человека и предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций.



## 14.3 Анализ вредных и опасных производственных факторов

### 14.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат помещения - состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

Степень физической тяжести работы оператора АСУ определяется как лёгкая категория работ. Главные нагрузки на организм оператора – нервно-психологические, а также зрительные. Так как основным видом работы оператора АСУ является работа с прикладным программным обеспечением и технической документацией, то потенциальными источниками опасных и вредных факторов являются персональные компьютеры и мониторы.

Поэтому в помещении должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата, которые установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Оптимальными параметрами для данного типа работ является температура воздуха в холодное время года 23–25 °С (в теплое время года – 20–22 °С), относительная влажность 40-60 % и скорость движения потоков воздуха не более 0,1 м/с.

### 14.3.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Один из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих пространств. На производственных объектах применяется естественное и искусственное освещение. Недостаточная или неправильная освещённость территории, установок, подходов к аппаратам и лестничных пролётов может привести к утомлению и несчастным случаям. Естественное освещение создается в производственных помещениях через оконные и другие остеклённые проёмы.

Искусственное освещение создается светильниками и может быть: общее, предназначенное для освещения всего рабочего помещения, либо местное, которое освещает только рабочее место.

Нормирование естественного освещения промышленных зданий сводится к нормированию коэффициента естественного освещения. По СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [40].

Для работ, выполняемых в лабораториях и относящимся к точным работам, при боковом освещении коэффициент естественной освещенности должен быть не менее 1,5 %.

Искусственное освещение нормируется в единицах освещенности – люксах (лк).

Выбор освещенности производится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

### Расчёт искусственного освещения

Имеется помещение с размерами:

- длина  $A = 4$  м,
- ширина  $B = 8$  м,
- высота  $H = 3$  м,
- высота рабочей поверхности  $h_{рп} = 0,7$  м.

Требуется создать освещенность  $E = 300$  лк. Коэффициент отражения стен  $R_c = 50$  %, потолка  $R_n = 50$  %.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

На рисунке 43 представлено помещение размером 4\*8 м.

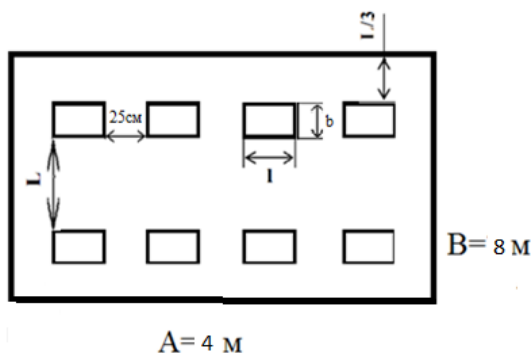


Рисунок 43 – Помещение размером 4\*8 м

Выбираем светильники типа ОД, по табл. 6 [8]  $\lambda = 1,4$  м.

Приняв  $h_c = 0,5$  м, получаем

$$h = H - h_{рп} - h_c = 3 - 0,7 - 0,5 = 1,8 \text{ м.}$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,8 = 2,52 \text{ м.}$$

$$\frac{L}{3} = \frac{2,52}{3} = 0,84 \text{ м.}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной  $l=1,230$  м; шириной  $b=0,265$  м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 25 см.

На рисунке 44 представлен способ установки светильника.

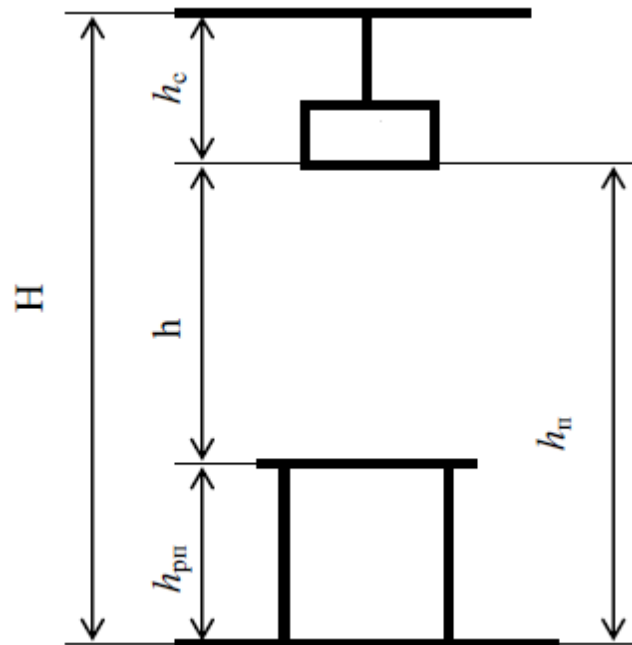


Рисунок 44 – Способ установки светильника

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении:

$$N = 4 \cdot 2 \cdot 2 = 16.$$

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 4}{1,8 \cdot (4 + 8)} = 1,48 \approx 1,5.$$

По табл. 13 [41] определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 52 \% \quad \text{или} \quad \eta = 0,52$$

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равен 1,5;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчетах берется равным 1,1.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,52} = 651,3 \text{ Лм}$$

По табл. 1 [8] выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 15 Вт с потоком 700 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \% \leq \frac{\Phi_{\text{л. стандарт.}} - \Phi_{\text{л. расч.}}}{\Phi_{\text{л. стандарт.}}} \cdot 100 \% \leq +20 \%$$

$$-10 \% \leq \frac{700 - 651,3}{700} \cdot 100 \% = 6,95 \% \leq +20 \% \quad \text{- входит в диапазон.}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 40 \cdot 16 = 640 \text{ Вт.}$$

### 13.3.3 Превышение уровня шума

Шум непосредственно связан с вибрацией. Помимо этого, шум создает динамическое оборудование, установленное на производстве. Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10 – 15 %, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям. Последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других симптомах.

В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких условий, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование

допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [44]. По данному документу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБ.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума аппаратов, входящих в состав исследуемой технологии используются [45]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные шлемы и каски.

#### 14.3.4 Повышенное воздействие электромагнитного излучения и электрического тока

Источниками электромагнитного излучения на производстве могут являться персональный компьютер, монитор, щит автоматизации, силовой щит и множество других сложных технологических устройств.

Во избежание негативного воздействия от электромагнитного излучения нужно следовать основным нормам, представленным в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [46].

В операторской комнате находится шкаф щита управления, который представляет собой шкаф с приборами, проводами и кабелями повышенной напряженности электрического поля. Требования электробезопасности объекта автоматизации направлены на создание условий эксплуатации оборудования, при которых исключаются образование электрической цепи через тело человека.

Основной фактор безопасности – это заземление оборудования с помощью присоединения его к контуру заземления. Устройство заземления представляет собой один из средств защиты персонала в помещении от возникновения искры, от напряжения, возникающего на металлических частях оборудования, не находящихся под напряжением, но могущих оказаться под ним в результате повреждения изоляции.

Сооружения установок заземляются от прямых ударов, вторичных проявлений молнии и статического электричества с помощью заземляющих устройств. Все части электроустановки, подлежащие заземлению, присоединяются к сети заземления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий проводник заземляющих частей и электроустановок [47].

14.3.5 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

При работе возможно поражение электрическим током, для его предотвращения соблюдаются требования: изоляция проводов, использование знаков безопасности и предупреждающих сигналов, использование персоналом диэлектрических перчаток, инструментов с изолированными рукоятками для работы с электрооборудованием, использование изоляционных дополнительных средств защиты.

Влияние шума можно уменьшить путем гашения в источнике, проведения акустической обработки, шумоизоляции, использования средств индивидуальной защиты (наушники).

Для уменьшения влажности в помещении устанавливается вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно.

#### 14.4 Экологическая безопасность

Внедрение экологических технологий помогает сберечь энергетические и прочие ресурсы, что в свою очередь влияет на рентабельность производства, продуктивность работы.

#### 14.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Сектор газо- и нефтепереработки является одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Одним из основных источников загрязнения атмосферы являются выбросы загрязняющих веществ, которые обусловлены процессами сгорания топлива и перерабатываемого сырья. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством перерабатываемого сырья и сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы производства.

Также при сжигании топлива образуются шлаки, которые являются не перерабатываемыми отходами, которые наносят вред литосфере и гидросфере в результате неправильной утилизации. При переработке сырья выбрасываются предельные и непредельные углеводороды, которые также наносят вред литосфере и гидросфере в результате неправильной утилизации.

#### 14.4.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

Процесс пиролиза бензина включает несколько линий с различными компонентами, которые представляют собой нефтепродукты, топливный газ и пар, содержащий различные углеводороды. При повреждении или сбое системы данные компоненты могут оказать негативное влияние на почву, тем самым уничтожить растительность на прилегающей территории. Разлив жидких компонентов может привести к заражению и загрязнению водостоков и почвенного покрова. При сжигании углеводородного сырья образуются сернистые соединения, которые также могут привести к заражению водостоков или кислотному дождю.

Данные факторы загрязнения окружающей среды представляют наивысшую опасность для экологической обстановки и для человека. Эти воздействия на окружающую среду могут вызвать уничтожение некоторых

видов растительности, загрязнение атмосферы и водоемов. Также негативное влияние оказывается на здоровье человека. Загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

#### 14.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения рисков загрязнения литосферы и гидросферы должен осуществляться контроль хранения сырья и продуктов пиролиза бензина в складских помещениях и емкостях. Должны быть установлены катализаторный комплекс очистки от сернистых соединений.

Таким образом, снижение выбросов токсичных веществ в атмосферу и повышение экологической эффективности газо- и нефтеперерабатывающих производств может быть реализовано в несколько направлений, таких как выполнение природоохранных мероприятий, внедрение экологического мониторинга, выполнение мероприятий по энергосбережению, установки катализаторных узлов, использование научных исследований и новейших научных разработок.

#### 14.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

##### 14.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наибольшую опасность, которую представляет разрабатываемая АСУ, является возникновение очагов возгорания.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние линии подачи бензина в печь пиролиза путем внешнего осмотра и контроля рабочих параметров в системе. При появлении признаков возгорания бензина или сопутствующих продуктов пиролиза следует в первую очередь начать закрыть



линию подачи бензина в печь пиролиза, при этом контролировать отсутствие очагов огня во избежание пожара.

Распространённая причина возникновения пожара в объектах газо- и нефтеперерабатывающих производств - это нарушение противопожарных правил, поэтому обслуживающий персонал должен их знать и выполнять.

14.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований

При установке оборудования автоматизации особое требование предъявляется к качеству монтажа технических средств. Некачественный монтаж может привести к утечке бензина или воздуха, что может стать причиной возгорания. Поэтому такой монтаж производят слесари КИПиА с разрядом не ниже 4, так как от их квалификации и качества выполнения монтажных работ зависят жизни людей. Помимо риска обслуживающего персонала, существует риск аварий в зимний период, и тогда потребители останутся без произведенного полимерного сырья – полиэтилена и полипропилена.

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

К возникновению пожара приводят неисправная электропроводка на объекте теплоэнергетики, а также оседающая на пол, стены, на котлы и в другие места топливная горячая пыль, которая может в любое время загореться, и пламя быстро распространится по всему помещению. Поэтому необходимо осуществлять качественный электромонтаж всего оборудования, содержать в частоте нагретые поверхности в котельном цехе, а также поддерживать работоспособное состояние всех автоматических и автоматизированных устройств оповещения о ЧС. В случае возникновения ЧС

необходимо покинуть помещение, используя лестницу. Также необходимо оповестить чрезвычайные службы по номеру 112. Кроме того, если не сработала система автоматического оповещения, необходимо активировать ее вручную при помощи соответствующих устройств.

#### 14.6 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Результатом анализа социальной ответственности разрабатываемой технологии стали ряд мероприятий по снижению вредных и опасных факторов технологического процесса, усовершенствование как конструкции аппаратов, так и помещения, в котором планируется проводить технологический процесс. Проанализировано влияние на экологию в целом и возможное негативное влияние непосредственно на сотрудника, принято решение о необходимых средствах индивидуальной защиты.

Проблема деградации окружающей среды в настоящее время стоит очень остро, это связано с тем, что многие предприятия не используют передовые разработки в сфере АСУ. Выбросы и отходы негативно влияют на окружающий мир и здоровье человека. Данная система позволит снизить влияние на атмосферу и литосферу.

## Заключение

В рамках магистерской диссертации разработана автоматизированная система управления подачей сырья и теплоносителей в печь пиролиза бензина F-11 установки пиролиза углеводородов нефти. Для этого был разработан комплект проектной документации, включающий в себя структурную и функциональную схемы разрабатываемой системы управления, схему электрическую соединений и чертеж общего вида щита управления. На базовом уровне производилась настройка контуров управления. Также разработан многопараметрический контроллер СУУТП для перфективного управления температурой пиролиза бензина печи пиролиза. Для этого была разработана стратегия управления объектом автоматизации; проведено пошаговое тестирование всех контролируемых и манипулируемых переменных. По данным, выгруженным из РСУ, проведена идентификация моделей управления. Для передачи данных из сервера СУУТП в сервер АСУТП были разработаны интеграционные блоки в АСУТП Yokogawa CS3000 и настроена адресация. Также выполнена тонкая настройка контроллера СУУТП. Для удобства использования данной системой оператором разработана мнемосхема в ПО Yokogawa CS3000. По результатам проделанной работы можно сделать вывод о том, что разработанная система полностью отвечает заявленным требованиям.

По кривой разгона была выполнена идентификация объекта управления. Рассчитаны прямые оценки качества.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы могут являться основанием для реализации аналогичной системы на аналогичных газо- и нефтеперерабатывающих производствах.

## Список используемых источников

1. Шустова, О. О.. Применение Advanced process control в задачах автоматического регулирования технологическими установками нефтедобычи / О. О. Шустова, Е. И. Разумова, Е. И. Громаков; науч. рук. Е. И. Громаков // Современные техника и технологии сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14-18 апреля 2014 г.: в 3 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — 2014 .
2. КРАСОВСКИЙ А.А., БУКОВ В.Н., ШЕНДРИК В.С. Универсальные алгоритмы управления непрерывными процессами. – М.: Наука, 1977. – 272 с.
3. ПОЛЯК Б.Т., ЩЕРБАКОВ П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
4. ПУПКОВ К.А., ЕГУПОВ Н.Д. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с.
5. ЦЫКУНОВ А.М. Адаптивное и робастное управление динамическими объектами по выходу. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 268 с.
6. PANA I., DASA S., GUPTA A. Tuning of an optimal fuzzy PID controller with stochastic algorithms for networked control systems with random time delay // ISA Transactions. – 2011. – Vol. 50. – P. 28–36.
7. Деменков, Н. П.. Управление с прогнозированием : учебное пособие [Электронный ресурс] / Деменков Н. П.. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. — 66 с.
8. Garcia, C. E., and D. M. Prett, "Advances in Industrial Model-Predictive Control," in Chemical Process Control - CPC 11/ (M. Morari and T. J. McAvoy, Ed.) Elsevier NY (1986).
9. Camacho, E.F.; Alba, C.B. *Model Predictive Control*; Springer Science & Business Media: New York, NY, USA, 2013.

10. Sandoz, D.J.; Desforges, M.J.; Lennox, B.; Goulding, P.R. Algorithms for industrial MPC. *Comput. Control Eng. J.* 2000, *11*, 125–134.
11. Zhao, K.; Wang, C.; Xiao, G.; Li, H.; Ye, J.; Liu, Y. Research for Nonlinear Model Predictive Controls to Laterally Control Unmanned Vehicle Trajectory Tracking. *Appl. Sci.* 2020, *10*, 6034.
12. Mesbah, A. Stochastic model predictive control: An overview and perspectives for future research. *IEEE Control Syst. Mag.* 2016, *36*, 30–44.
13. Mesbah, A. Stochastic model predictive control: An overview and perspectives for future research. *IEEE Control Syst. Mag.* 2016, *36*, 30–44.
14. Orukpe, P. Model predictive control fundamentals. *Niger. J. Technol.* 2012, *31*, 139–148.
15. Piazzzi, A.; Visioli, A. Robust multivariable set-point regulation via stable dynamic inversion. *IFAC Proc. Vol.* 2002, *35*, 1–6.
16. Nevistić, V.; Morari, M. Robustness of mpc-based schemes for constrained control of nonlinear systems. *IFAC Proc. Vol.* 1996, *29*, 5823–5828.
17. Richards, A.; How, J. Robust stable model predictive control with constraint tightening. In Proceedings of the 2006 American Control Conference, Minneapolis, MN, USA, 14–16 June 2006; IEEE: New York, NY, USA, 2006; pp. 1557–1562.
18. Langson, W.; Chrysochoos, I.; Raković, S.; Mayne, D.Q. Robust model predictive control using tubes. *Automatica* 2004, *40*, 125–133.
19. Lucia, S.; Finkler, T.; Engell, S. Multi-stage nonlinear model predictive control applied to a semi-batch polymerization reactor under uncertainty. *J. Process Control* 2013, *23*, 1306–1319.
20. Lucia, S.; Subramanian, S.; Limon, D.; Engell, S. Stability properties of multi-stage nonlinear model predictive control. *Syst. Control Lett.* 2020, *143*, 104743.
21. Subramanian, S.; Lucia, S.; Paulen, R.; Engell, S. Tube-enhanced multi-stage model predictive control for flexible robust control of constrained linear

systems with additive and parametric uncertainties. *Int. J. Robust Nonlinear Control* 2021, 31, 4458–4487.

22. Subramanian, S.; Abdelsalam, Y.; Lucia, S.; Engell, S. Robust Tube-enhanced Multi-stage NMPC with Stability Guarantees. *IEEE Control Syst. Lett.* 2021, 6, 1112–1117.

23. ГОСТ 21.403–80 Система проектной документации для строительства.

24. Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901706028>. – Загл. с экрана.

25. ГОСТ 21.208-2013 Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200108003>. – Загл. с экрана

26. Yokogawa Electric CIS Ltd. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yokogawa.com/cis/solutions/products-and-services/> свободный. – Загл. с экрана.

27. ГК «Новые технологии». Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sitrans.nt-rt.ru/images/manuals/termocouple.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

28. ООО «ЭМЕРСОН». Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/каталог-датчики-давление-ru-61692.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

29. ООО «ЭКО-ИНТЕХ». Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eco-intech.com/product/gazoanalizatory-kislороda-v-dymovykh-gazakh-lamtec-modeli-lt/> свободный. – Загл. с экрана.

30. . ГК «Теплоприбор» Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlpccsjdm.xn--p1ai/catalog/mehanizm-ispolnitelnyjmeo-250-63-25-160-meof/>, свободный. – Загл. с экрана.

31. Проектирование электрических и трубных проводок. Трубные проводки. РМ4-6-92 ч. 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://anihttps://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293851/4293851760.htm>, – Загл. с экрана.

32. Принципиальные электрические схемы средств автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/10\\_114033\\_printsipialnie-elektricheskie-shemi-sredstvavtomatizatsii.html](https://studopedia.ru/10_114033_printsipialnie-elektricheskie-shemi-sredstvavtomatizatsii.html), свободный. – Загл. с экрана.

33. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Игольско-талового месторождения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/23031> свободный. – Загл. с экрана.

34. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020) [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения: 10.03.2021).

35. Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28399/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/) (дата обращения: 10.03.2021).

36. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.

37. ГОСТ 22613-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 6 с.

38. ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 10 с.

39. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные факторы. Классификация». – М.; Москва: Изд. Стандартиформ, 2016. – 11 с.
40. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*
41. МУ Расчет искусственного освещения [Электронный ресурс] // Stud.lms.tpu.ru – Режим доступа: [https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1246294/mod\\_resource/content/1/МУ%20Расчет%20искусственного%20освещения.pdf](https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1246294/mod_resource/content/1/МУ%20Расчет%20искусственного%20освещения.pdf) (дата обращения 15.05.2021)
42. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – М.: Стандартиформ, 2015. – 4 с.
43. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
44. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – Москва: Изд. Деан, 2003. – 56 с
45. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.; Москва: Изд. Стандартиформ, 2018. – 12 с.
46. Принципиальные электрические схемы средств автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://him-nn.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.



**Приложение А**  
(справочное)

Development of a multi-parameter APC controller for the pyrolysis furnace F-11 for the production of monomers by Tomskneftekhim LLC

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Толкмит Дмитрий Валерьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гончарова Любовь Анатольевна	к.п.н.		

# I Development of a multi-parameter APC controller for the pyrolysis furnace F-11 for the production of monomers by Tomskneftekhim LLC

## I.1 Software structure

The development and creation of a multi-parameter controller is carried out in several software products for modeling, as well as for online operation of the created models (installed on a server connected to an existing process control system via the OPC interface) called Aida Pro and SMOC Pro from Yokogawa Electric. Aida Pro is an empirical dynamic process modeling tool. SMOC Pro is an application for creating and modeling linear, multivariable controllers based on a predictive model [1].

### I.1.1 Aida Pro

Model-based controller development methods transform input-output models to obtain a control algorithm. Figure 1 shows the model of the control object.

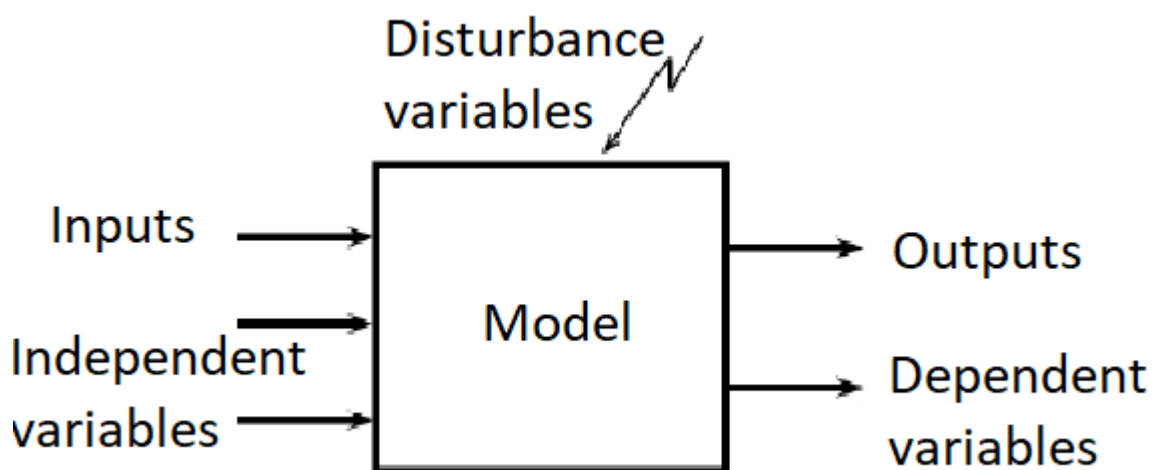


Figure 1 - Control object model

The purpose of using AIDA Pro is to create models for further use in modeling the SMOC controller. The AIDA Pro model uses impulse response (FIR) which is further converted into a parametric model that can be imported into SMOC Pro [1,2].

Figure 2 shows the structure of data transformation into a parametric model.

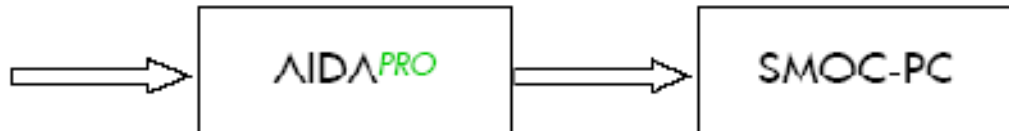


Figure 2 - The structure of data transformation into a parametric mode

The finite impulse response FIR is the dynamic response of the output in response to a single pulse at the input.

The mathematical description of process modeling through FIR is as follows:

$$\text{input}(t) = b_0 * \text{input}(t) + b_1 * \text{input}(t-1) + \dots + b_n * \text{input}(t-n)$$

Having obtained the FIR finite impulse response model, it is converted to a parametric model [10]. The parametric model considers three parameters:

- amplification factor K,
- delay time DT,
- time constant t.

Figure 3 shows the run-up curve of the process.

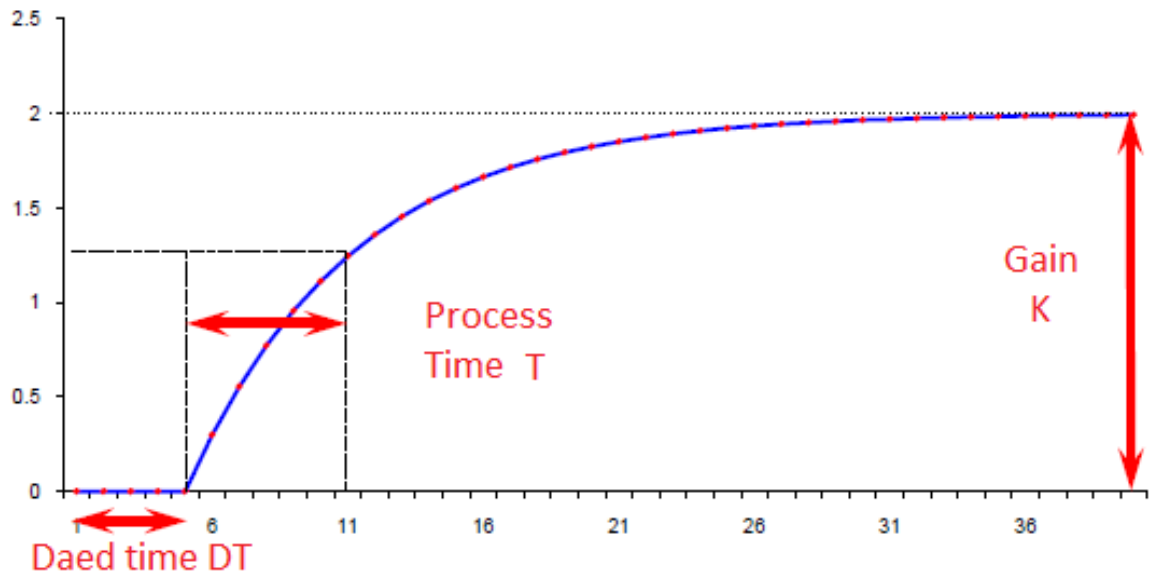


Figure 3 - The acceleration curve of the technological process

### I.1.2 SMOC Pro

SMOCpro is a stand-alone (off-line) application designed to create and simulate linear, multi-variable model-based predictive controllers for technological processes in the oil and petrochemical industry.

Thus, the creation of a controller model makes it possible, among other things, to simulate the effect of measured disturbances on the target variables of the process. In turn, due to this, the SMOC controller of the APC system has proactive control, acting on the circuits in advance, starting to correct the mode until the moment when a change in the measured disturbances will affect the controlled process parameters.

The parameters  $G$ ,  $T$  and  $DT$  previously defined in AIDA Pro are transferred to SMOC Pro, where they can be viewed in the visual controller builder and, if necessary, adjusted [3].

Figure 4 shows an example of a model of the relationship between manipulated and controlled variables in SMOC Pro.

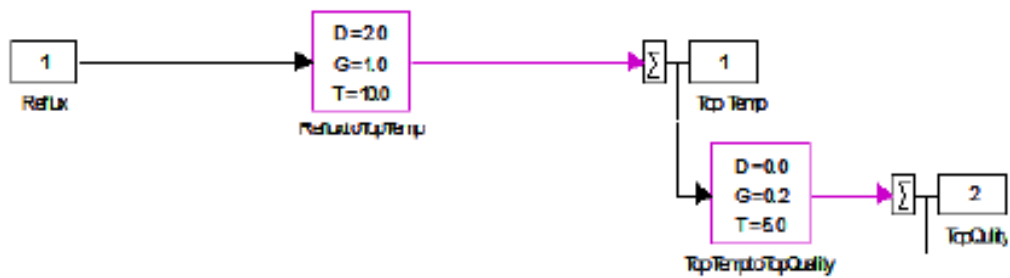


Figure 4 - An example of a model of the relationship of manipulated and controlled variables in SMOC Pro

Taking into account the already known quantitative influence of the measured disturbances on the target process variable, and predicting their behavior in the future, it is possible to calculate the calculation error and evaluate them.

The process of developing and testing the controller of the APC system in SMOC Pro can be characterized by the following diagram.

## I.2 Development of a multi-parameter controller

To develop into a multivariable controller application, you need to get models in the AidaPro application. To do this, you need to select an identifiable segment on which the step test was carried out.

Figure 5 shows a trend group of step tests.

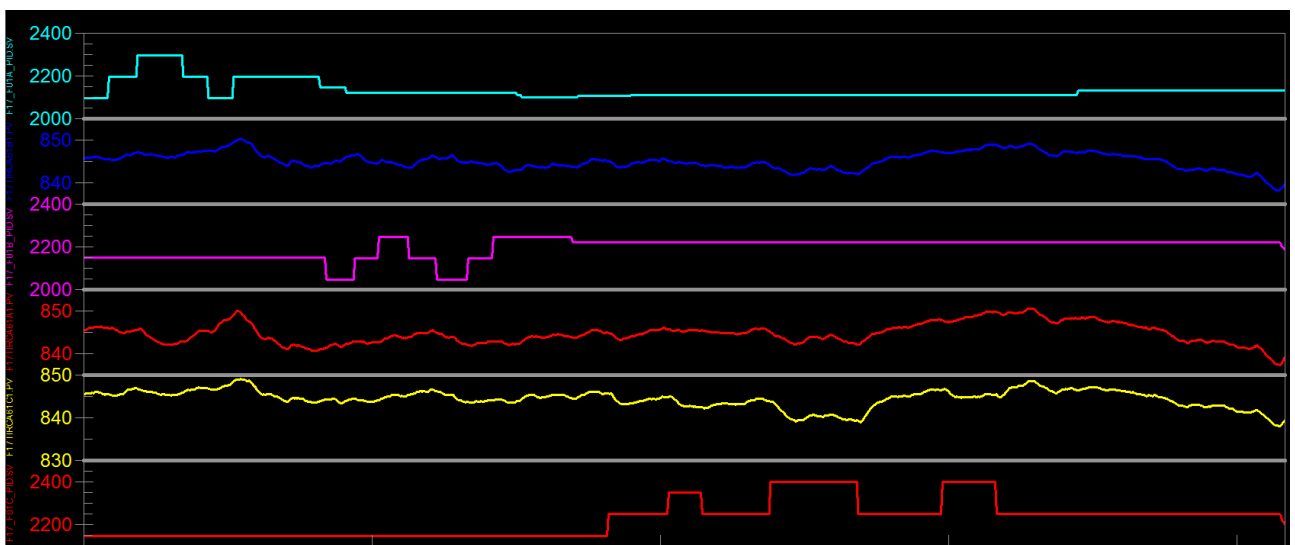


Figure 5 - Trend group

Figure 6 shows the selected identifiable segment.

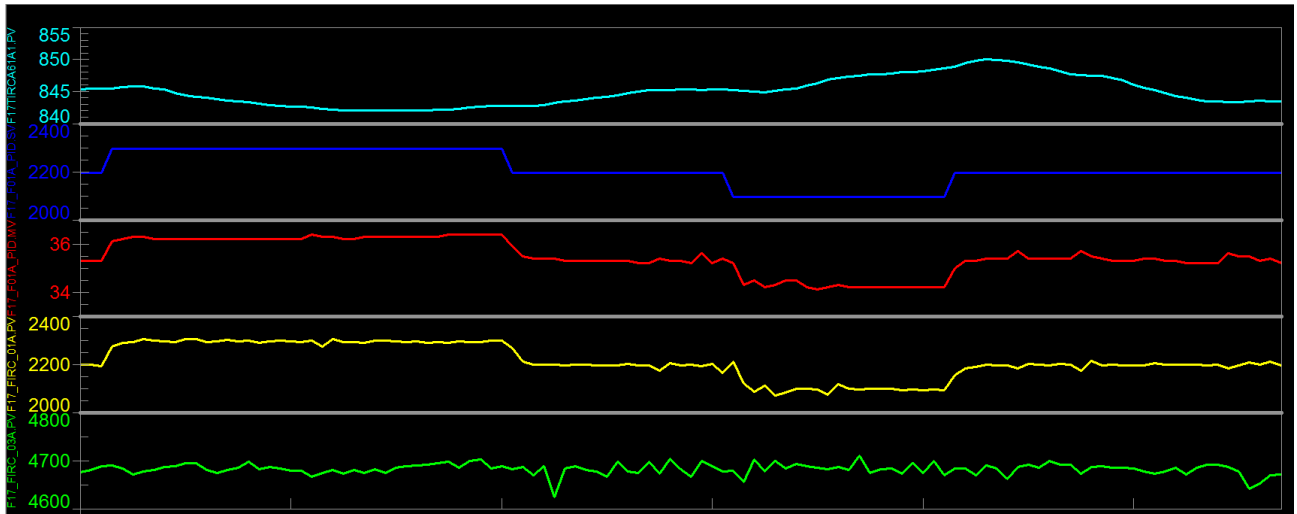


Figure 6 - Identified segment

From the general array of data, the considered segment is selected on which the acceleration curve is identified. From this acceleration curve, the dynamic coefficients of the models are determined. To more accurately perform model identification, it is necessary to set the starting parameters based on step-by-step testing. Visually determine the starting parameters of identification: set Settling time - 12 minutes and Dead time - 2 minutes [2,3].

Figure 7 shows a table with starting parameters for identification.

		F17TIRCA61A1.PV
<b>Ramp</b>		<input type="checkbox"/>
F17_F01A_PID.SV	Dead Time	2.0000
	Settling Time	8.0000
F17_F01A_PID.MV	Dead Time	2.0000
	Settling Time	12.0000
F17_FIRC_01A.PV	Dead Time	2.0000
	Settling Time	12.0000

Figure 7 - Table with starting parameters for identification

The next step is to identify the models. As a result of identification, we obtain a table with dynamic coefficients and a matrix of models. The FitStat parameter indicates how well the model fits the identified curve. The more FitStat, the better the quality of identification.

Figure 8 shows a table with dynamic coefficients.

F17TIRCA61A1.PV					
T61 coil A					
Ramp	<input type="checkbox"/>				
F17_F01A_PID.SV	steam SV coil A	2nd Order			
			Value	95% Low	95% High
		Dt	1.48	0.0	3.511
		Gain	-0.03	-0.00687	0.00687
		Tau1	1.812	0.00005	4.217
		Tau2	1.997	0.5818	3.412
	FitStat	9.542			
F17_F01A_PID.MV		1st Order			
			Value	95% Low	95% High
		Dt	7.2	6.781	7.619
		Gain	-3.99	-11.18	3.199
		Tau1	3.59	0.00005	12.01
			FitStat	13.0	
F17_FIRC_01A.PV	steam FIRC01.PV coil A	1st Order			
			Value	95% Low	95% High
		Dt	0.578	0.0	2.718
		Gain	0.07266	-0.0828	0.2281
		Tau1	20.52	15.55	25.5
			FitStat	7.149	

Figure 8 - Table with dynamic coefficients

Figure 9 shows the matrix of identified models.

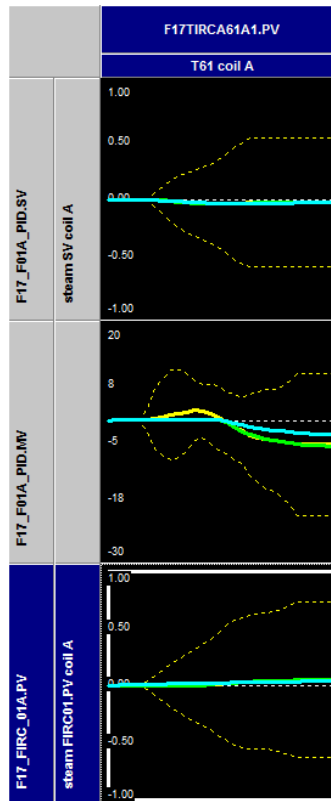


Figure 9 - Matrix of identified models

After receiving the models, we will simulate the temperature of gasoline pyrolysis. Based on the resulting graph, it is possible to assess how accurately the model describes the real measured value.

Figure 10 shows a graph of the simulation of the response of models to the previously conducted step test.

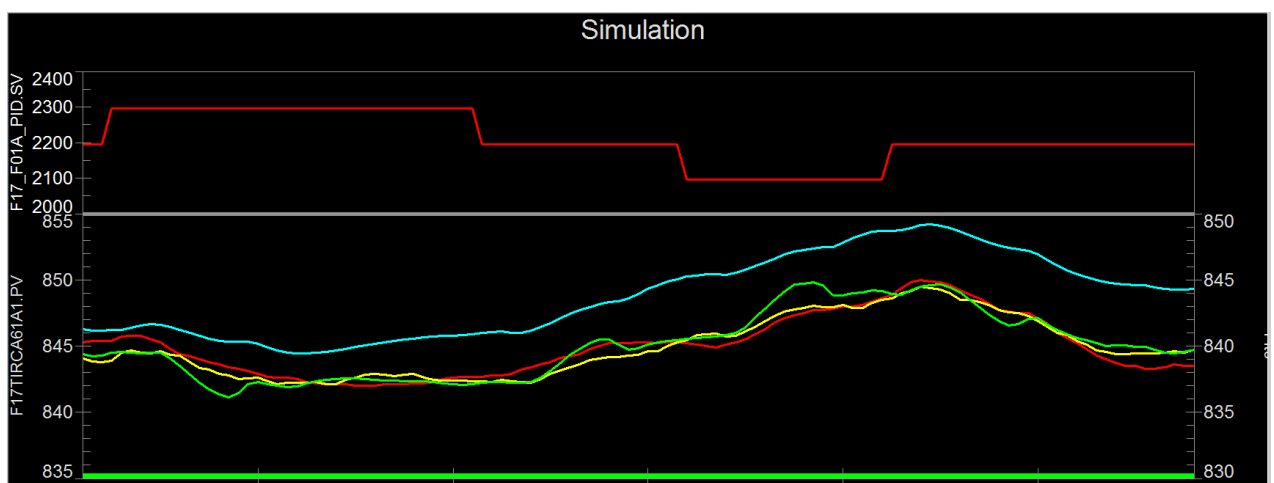


Figure 10 - Graph of the simulation of the response of models to the previously conducted step test



The identified parameter models are transferred to the SMOC Pro application. Based on them, the control logic of the APC controller is created. The manipulated variable must control the controlled variable. In the "GMB model editor" tab, the APC controller configuration is created, into which the dynamic coefficients of the models are transferred [1,2].

Figure 11 shows the configuration of model relationships in the GMB model editor.

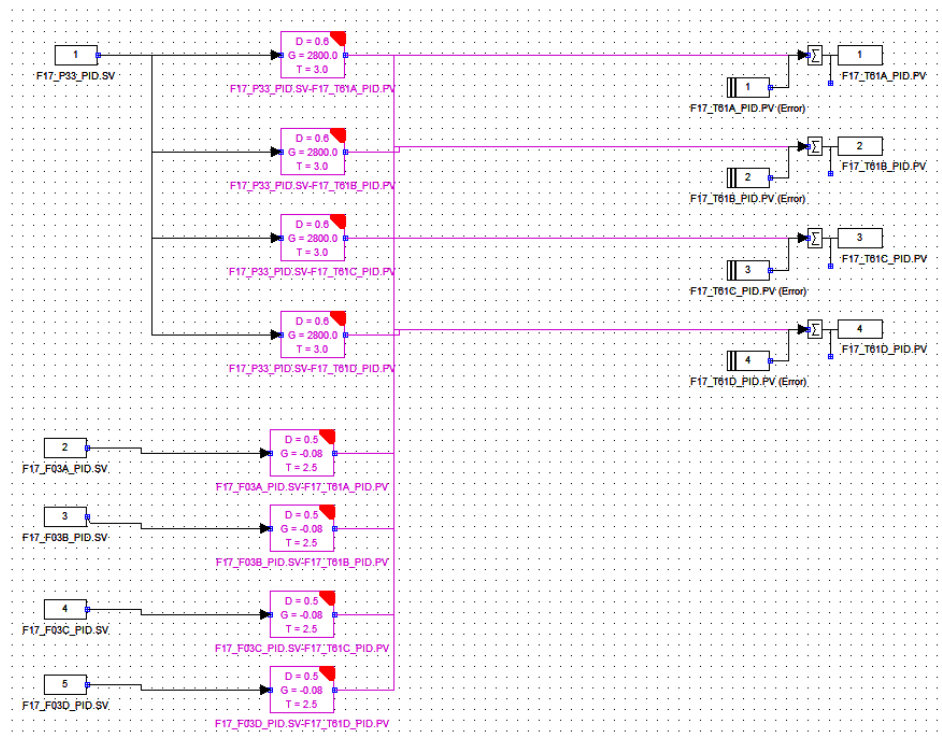


Figure 11 - Configuration of model relationships in the GMB model editor

Weight coefficients are necessary for the correct setting of parameters. Based on the properties of the technological process, the necessary coefficients are selected.

Figure 12 shows a table of weight coefficients for controller variables.

MV Weights			CV Weights		
Name	Damping	Weight	Name	Deviation	Weight
Input	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Output	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
F17_P33_PID	0.003892	50.000000	F17_T61A_PI	0.500000	2.000000
F17_F03A_PI	0.557984	0.100000	F17_T61B_PI	0.500000	2.000000
F17_F03B_PI	0.557984	0.100000	F17_T61C_PI	0.500000	2.000000
F17_F03C_PI	0.557984	0.100000	F17_T61D_PI	0.500000	2.000000
F17_F03D_PI	0.588047	0.100000	F17_QIR_93	0.500000	2.000000
F17_M41_PIC	44.721361	1.000000	F17SFRATIOA	0.050000	20.000000
F17_F01A_PI	11.363636	5.000000	F17SFRATIOB	0.050000	20.000000
F17_F01B_PI	11.363636	5.000000	F17SFRATIOC	0.050000	20.000000
F17_F01C_PI	11.363636	5.000000	F17SFRATIOD	0.050000	20.000000
F17_F01D_PI	11.363636	5.000000	F17AVT	0.500000	2.000000
			F17DT61A	1.000000	1.000000
			F17DT61B	1.000000	1.000000
			F17DT61C	1.000000	1.000000
			F17AVC2	1.000000	1.000000
			F17AVC3	1.000000	1.000000
			F17TOTALFE	100.000002	0.010000
			F17AVTSV	1.000000	1.000000
			F1702OPT	1.000000	1.000000

Figure 12 - Table of weight coefficients for controller variables

After that, the addressing of data of controlled and manipulated variables between the APC controller and the distributed control system is prescribed. The data is sent to the integration block in the DCS. From this block they are sent to the setpoint in the PID-control block [3].

Figure 13 shows a table with addressing controller variables.

Alias	F17_T61A_PID.PV	F17_T61B_PID.PV	F17_T61C_PID.PV	F17_T61D_PID.PV	F17_QIR_93_1.PV	F17SFRATIOA
Description	F17 COT A PV	F17 COT B PV	F17 COT C PV	F17 COT D PV	F17 D2%	F17 Steam to Feed Ratio
Set Value Type [v]	SetRange	SetRange	SetRange	SetRange	SetRange	SetRange
Tracking Flag [v]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calculated Value [t/v]	TMG1CV01.DT01	TMG1CV02.DT01	TMG1CV03.DT01	TMG1CV04.DT01	TMG1CV05.DT01	TMG1CV06.DT01
SetRange High [t/v]	TMG1CV01.DT10	TMG1CV02.DT10	TMG1CV03.DT10	TMG1CV04.DT10	TMG1CV05.DT10	TMG1CV06.DT10
SetRange Low [t/v]	TMG1CV01.NX10	TMG1CV02.NX10	TMG1CV03.NX10	TMG1CV04.NX10	TMG1CV05.NX10	TMG1CV06.NX10
SetRange Entry High Limit [t/v]	TMG1CV01.DT11	TMG1CV02.DT11	TMG1CV03.DT11	TMG1CV04.DT11	TMG1CV05.DT11	TMG1CV06.DT11
SetRange Entry Low Limit [t/v]	TMG1CV01.NX11	TMG1CV02.NX11	TMG1CV03.NX11	TMG1CV04.NX11	TMG1CV05.NX11	TMG1CV06.NX11
Remove Flag [t/v]	TMG1CV01.DT02	TMG1CV02.DT02	TMG1CV03.DT02	TMG1CV04.DT02	TMG1CV05.DT02	TMG1CV06.DT02
Priority [t/v]	TMG1CV01.NX02	TMG1CV02.NX02	TMG1CV03.NX02	TMG1CV04.NX02	TMG1CV05.NX02	TMG1CV06.NX02
Setpoint Tracking Filter [s] [v]	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	60.000000
Weight [v]	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	20.0
Calculated Constraint Flag [t/v]	TMG1CV01.NX03	TMG1CV02.NX03	TMG1CV03.NX03	TMG1CV04.NX03	TMG1CV05.NX03	TMG1CV06.NX03
Steady State Reachable Value [t/v]	TMG1CV01.DT14	TMG1CV02.DT14	TMG1CV03.DT14	TMG1CV04.DT14	TMG1CV05.DT14	TMG1CV06.DT14
Steady State Constraint Flag [t/v]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Actual CV Status [t/v]	TMG1CV01.NX01	TMG1CV02.NX01	TMG1CV03.NX01	TMG1CV04.NX01	TMG1CV05.NX01	TMG1CV06.NX01
Remote Target Value [t/v]	RT017.F2[2.1]	RT017.F2[2.1]	RT017.F2[2.1]	RT017.F2[2.1]	0.0	TMG1CV06.NX08
Remote Target Remove Flag [t/v]	RT017.I2[1.2]	RT017.I2[1.2]	RT017.I2[1.2]	RT017.I2[1.2]	True	RT017.I2[1.2]
Remote Target Weight [t/v]	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0
Remote Target Status [t/v]	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive
Comment						

Figure 13 - Table with addressing controller variables

The finished APC controller is loaded onto the server in the Scheduler application, where it is launched [4].

Figure 14 shows the Scheduler application.

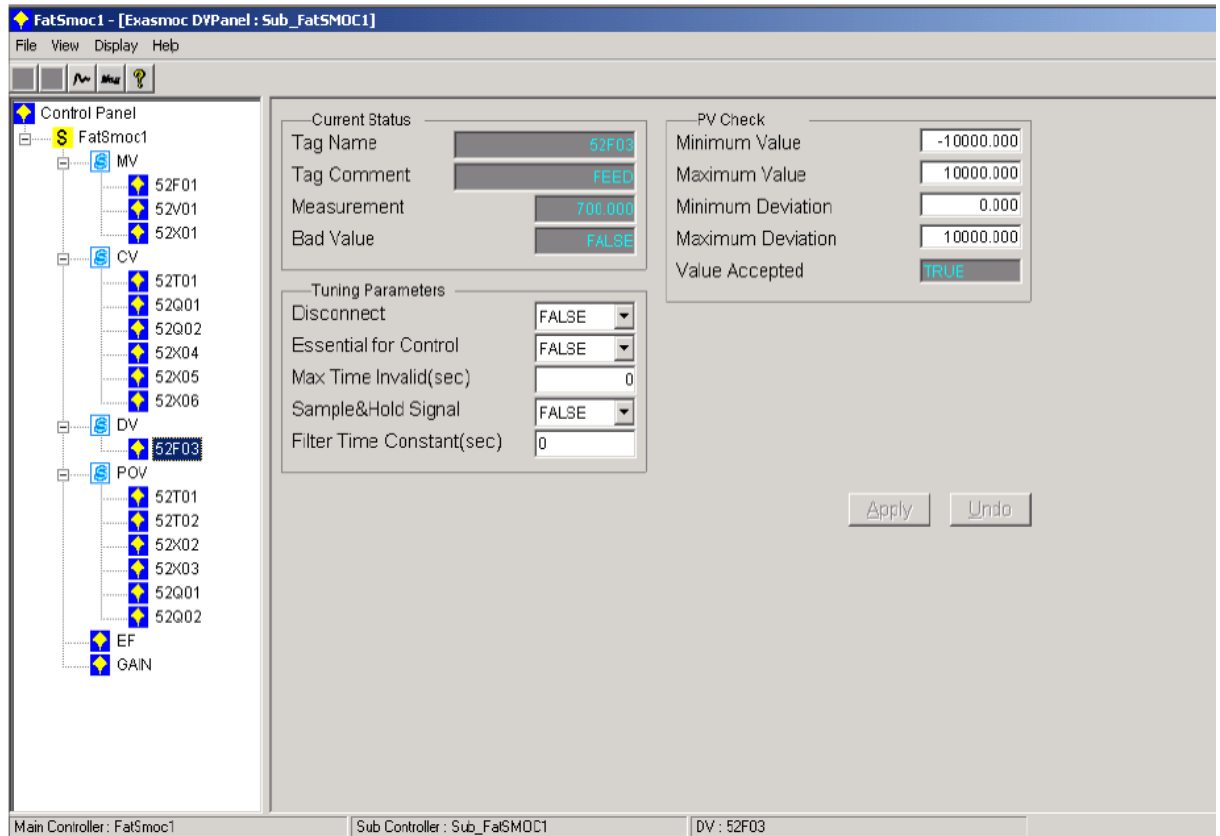


Figure 14 - Scheduler Application

## References

1. Garcia, C. E., Prett, D.M. "Advances in Industrial Model-Predictive Control," in *Chemical Process Control - CPC 11/* (M. Morari and T. J. McAvoy, Ed.) Elsevier NY (1986).
2. Camacho, E.F.; Alba, C.B. *Model Predictive Control*; Springer Science & Business Media: New York, NY, USA, 2013.
3. Sandoz, D.J.; Desforges, M.J.; Lennox, B.; Goulding, P.R. Algorithms for industrial MPC. *Comput. Control Eng. J.* 2000, *11*, 125–134.
4. Zhao, K.; Wang, C.; Xiao, G.; Li, H.; Ye, J.; Liu, Y. Research for Nonlinear Model Predictive Controls to Laterally Control Unmanned Vehicle Trajectory Tracking. *Appl. Sci.* 2020, *10*, 6034.