

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева»

Новомосковский институт (филиал)

**Химический реактор-абсорбер.
Исследование динамических свойств и расчет
системы автоматического регулирования
ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА**

Новомосковск
2018

УДК 66.012
ББК 32.965
Т 382

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент Лопатин А.Г.
(НИ (филиал) ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева)

Составители: А.И. Ляшенко, Б.А. Брыков, Д.П. Вент
Т 382 **Химический реактор-абсорбер. Исследование динамических свойств и расчет системы автоматического регулирования. Производственная практика /** ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал). Новомосковск, 2018. - 41 с.

Рассматривается технологический процесс производства спирта сернокислотным способом. Приведено подробное описание процесса, его мнемосхема, поставлена задача управления температурой рабочей зоны абсорбера и уровнем экстракта в нижней его части. В процессе выполнения работы предлагается изучить структуру процесса, оценить его динамические характеристики по всем предполагаемым каналам регулирования и возмущения и рассчитать настройки регуляторов для соответствующих одноконтурных систем управления.

Предназначено для студентов по направлению подготовки 15.03.04 "Автоматизация технологических процессов и производств" по программе подготовки бакалавров, а также может быть полезна инженерам данной специальности.

Табл. 6, ил. 36, библиогр.: 2 назв.

УДК 66.012
ББК 32.965

© ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал), 2018

Содержание

1. Краткое описание технологического процесса	4
2. Описание работы с компьютерным стендом.....	5
2.1. Модель (мнемосхема) реактора	5
2.2. Окно выбора варианта	6
2.3. Окно изменения свойств каналов управления	7
2.4. Блок внешних возмущений	7
2.5. Блоки регуляторов.....	8
2.6. Блок аварийной сигнализации	9
2.7. Блок визуализации переходной характеристики процесса.....	9
3. Задание на выполнение работы	12
Этап 1. Изучение технологического процесса и мнемосхемы реактора	12
Этап 2. Исследование внутренней структуры объекта управления.....	12
Этап 3. Синтез одноконтурных систем автоматического регулирования	15
Этап 4. Имитирование аварийной ситуации	18
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Аппроксимация кривой разгона по методу Ормана.....	20
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Расчет настроек регулятора и определение показателей качества переходных процессов	23
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Краткие первоначальные сведения о программном комплексе SimInTech	28
1. Установка программы.....	28
2. Начало работы: интерфейс пользователя SimInTech	28
3. Основные приемы создания расчетных схем в SimInTech	31
4. Основные приемы работы с графиками.....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Образец титульного листа.....	41

1. Краткое описание технологического процесса

В качестве примера рассматривается фрагмент технологии производства спирта сернокислотным способом.

Сырье (смесь газов этан-этиленовой фракции) поступает в нижнюю часть тарельчатого реактора-абсорбера. В верхнюю часть абсорбера для орошения подается концентрированная серная кислота. При абсорбции этилена серной кислотой получается этилсерная кислота и диэтилсульфат.

Реакция экзотермическая, т.е. протекает с выделением большого количества тепла, которое непрерывно отводится холодной водой, проходящей по трубам, помещенным в абсорбере. Неабсорбированные газы выходят из верхней части, а насыщенный экстракт вытекает из нижней части абсорбера.

Регулируемыми переменными являются температура рабочей зоны абсорбера (T) [$^{\circ}\text{C}$] и уровень экстракта в нижней части абсорбера (L) [м].

Управляющими воздействиями являются положение регулирующего клапана на подаче воды в контуре охлаждения ($U1$) [% открытия] и положение регулирующего клапана отвода экстракта ($U2$) [% открытия].

Внешними возмущениями являются: расход сырья (F_c) [$\text{м}^3/\text{мин}$], температура сырья (T_c) [$^{\circ}\text{C}$], состав сырья (Q_c) [мол.%], расход серной кислоты (F_k) [$\text{м}^3/\text{мин}$].

В таблице 1 представлены значения технологических параметров для номинального режима работы установки.

Таблица 1 - Номинальный режим работы реактора-абсорбера

Технологический параметр	Номинальное значение
Расход сырья (F_c), $\text{м}^3/\text{мин}$	27
Температура сырья (T_c), $^{\circ}\text{C}$	150
Состав сырья (Q_c), мол.%	15
Расход кислоты (F_k), $\text{м}^3/\text{мин}$	25
Степень открытия клапана подачи воды, %	50
Степень открытия клапана отвода экстракта, %	50

Задачей управления реактором является поддержание температуры рабочей зоны на отметке $T_{зд}=130^{\circ}\text{C}$ и уровня на отметке $L_{зд}=20$ м.

2. Описание работы с компьютерным стендом

Стенд «Система автоматического управления химическим реактором-абсорбером» (рисунок 1) представляет собой компьютерную модель процесса синтеза спирта серно кислотным способом, реализованную в виде мнемосхемы, которая состоит из следующих элементов:

- модель объекта – реактора-абсорбера;
- окно выбора варианта;
- окно изменения свойств каналов управления;
- датчики температуры (TE) и уровня (LE) (показаны на рисунке 1);
- блок внешних возмущений;
- регуляторы температуры (TC) и уровня (LC), вырабатывающие сигналы управления U1 и U2 на соответствующие исполнительные устройства;
- блок аварийной сигнализации;
- экранные формы визуализации характеристик процесса.

2.1. Модель (мнемосхема) реактора

Мнемосхема процесса приведена на рисунке 1.

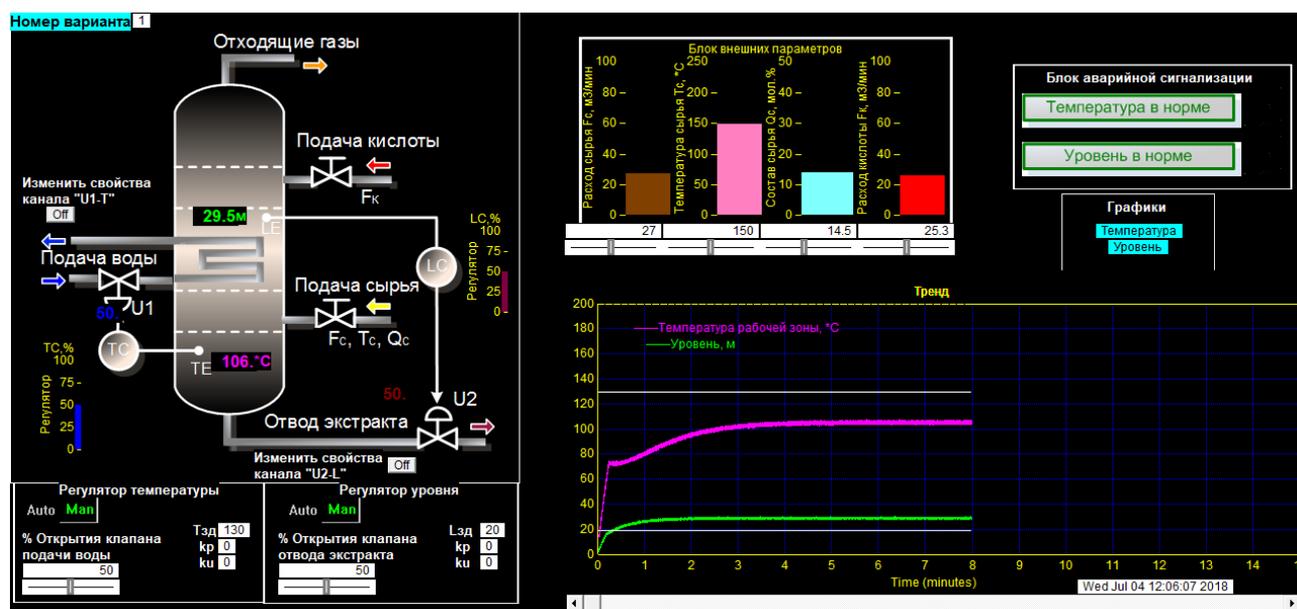


Рисунок 1 – Мнемосхема процесса

Стенд предназначен для тренировки действий оператора-диспетчера, выполняющего в режиме реального времени контроль и управление основными

технологическими переменными, характеризующими процесс синтеза спирта в химическом реакторе. Предусмотрена возможность выбора одного из шестнадцати вариантов с разными динамическими свойствами каналов управления.

Для того чтобы открыть на рабочем месте соответствующую мнемосхему процесса необходимо запустить программу **VisSim Viewer** (щелчок ЛК мыши по иконке  на панели задач) и выполнить команду «**File->Open...**», после чего выбрать файл с именем **reactor.vsm**.

Процесс моделирования запускается нажатием кнопки  на панели инструментов. Приостановить процесс моделирования можно нажатием кнопки , а для возобновления процесса моделирования необходимо нажать кнопку .

2.2. Окно выбора варианта

В левом верхнем углу мнемосхемы находится диалоговое окно для ввода **номера варианта**, в котором нужно задать константу от 1 до 16 согласно своему варианту (рисунок 2).

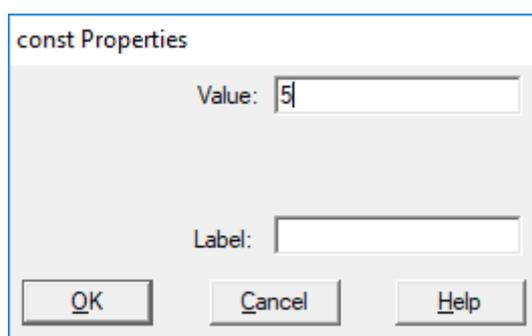


Рисунок 2 – Окно для ввода варианта

Непосредственно на изображении модели объекта выведены элементы индикации температуры и уровня (сигналы с датчиков TE и LE), а также значения управляющих воздействий на клапан подачи воды в контуре охлаждения (U1) и клапан отвода экстракта (U2).

2.3. Окно изменения свойств каналов управления

Предусмотрена возможность имитировать изменение свойств каналов управления. Для этого нужно нажать соответствующие кнопки на мнемосхеме (привести в состояние **On**) (рисунок 3).

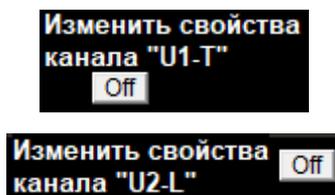


Рисунок 3 – Элементы для имитирования изменения динамики каналов управления

2.4. Блок внешних возмущений

Блок внешних параметров (рисунок 4) позволяет имитировать различные внешние возмущения на реактор. Изначально в блоке задаются не зашумлённые значения этих параметров, к которым в системе моделирования добавляется Гауссов шум.

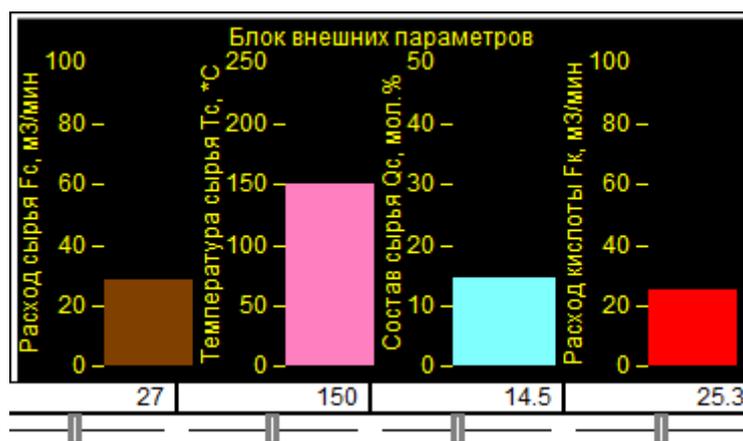


Рисунок 4 – Блок подачи внешних возмущений

(F_c - расход сырья, T_c - температура сырья, Q_c - состав сырья, F_k - расход кислоты)

Для изменения значений внешних параметров необходимо с помощью ЛК мыши переместить ползунок соответствующего слайдера до нужной отметки.

2.5. Блоки регуляторов

Блоки «Регулятор температуры» и «Регулятор уровня» (рисунок 5) позволяют управлять процессом, вносить изменения в параметры настройки регуляторов, переходить из автоматического режима управления в ручной и наоборот.

Регуляторы формируют выходной сигнал и оказывают воздействие на регулирующие органы по ПИ-закону управления:

$$u_i(s) = k_{p_i} + k_{и_i} \cdot \frac{1}{s},$$

где k_{p_i} – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора; $k_{и_i}$ – коэффициент усиления интегральной части, $k_{и_i} = 1/T_{и_i}$ ($T_{и_i}$ – постоянная времени интегрирования); i – порядковый номер регулятора.

Чтобы активировать автоматический режим поддержания температуры и уровня с помощью одноконтурных САР, нужно нажать ЛК мыши на кнопку **Auto**. Предварительно в диалоговом окне $T_{зд}$ и $L_{зд}$ ввести величину задания, а в диалоговых окнах k_p и k_u ввести рассчитанные настройки регулятора.

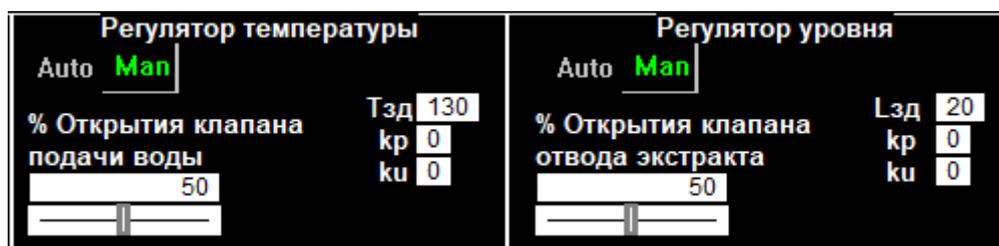


Рисунок 5 – Блоки регуляторов

Чтобы активировать ручной режим, нужно нажать ЛК мыши на кнопку **Man**. В этом случае управление подачей воды и отводом экстракта осуществляется с помощью соответствующих слайдеров перетаскиванием ползунка вручную ЛК мыши.

В ручном режиме удобно снимать кривые разгона реактора, для чего необходимо подать ступенчатое возмущение на вход со стороны управляющего устройства, т.е. резко изменить % Открытия клапана подачи воды и % Открытия клапана отвода экстракта не более, чем на 10%.

2.6. Блок аварийной сигнализации

Блок аварийной сигнализации (рисунок 6) оповещает оператора о том, что значения регулируемых переменных находятся в норме (а), либо выходят за технологические ограничения (б, в) и нужно принять соответствующие меры. Возможность аварийной ситуации сопровождается звуковым сигналом сирены.

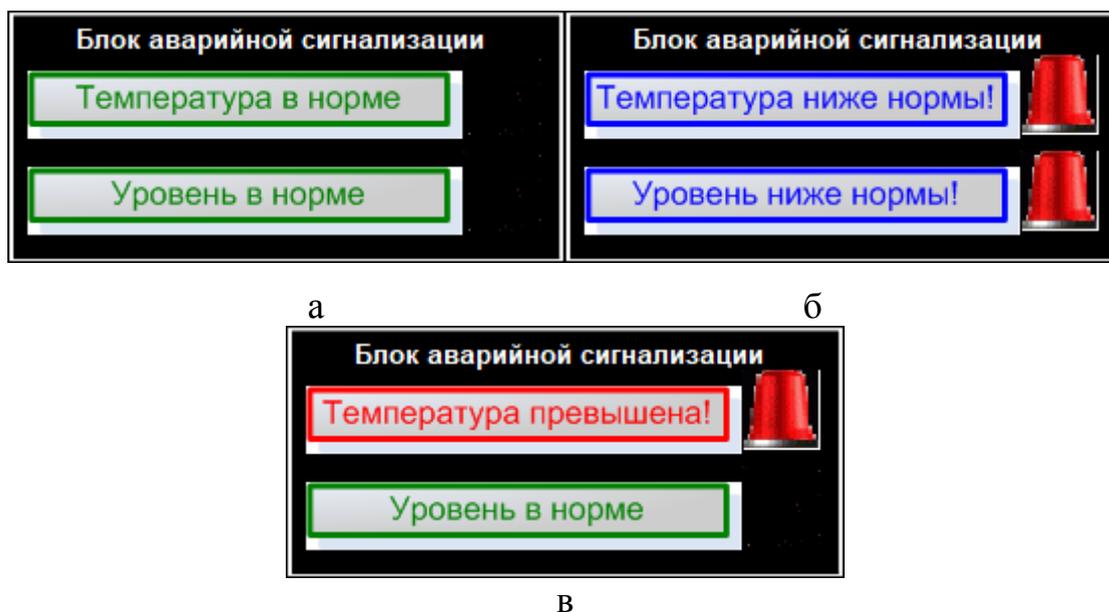


Рисунок 6 – Блок аварийной сигнализации

2.7. Блок визуализации переходной характеристики процесса

Блок Тренд (рисунок 7) отображает в режиме реального времени показания датчиков температуры (кривая розового цвета) и уровня (кривая зеленого цвета), а также соответствующие сигналы задания (белые линии).

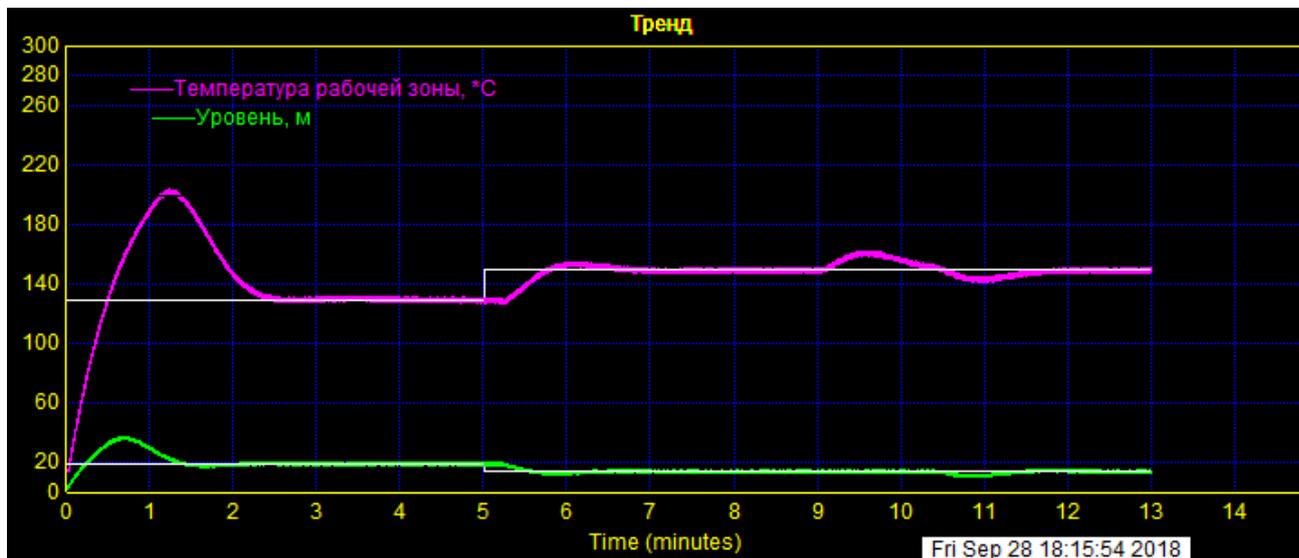


Рисунок 7 – Блок Тренд

Блок «Графики» (рисунок 8) позволяет открыть удобные для масштабирования графики по температуре и уровню. Для этого необходимо выполнить двойной щелчок ЛК мыши по соответствующему названию переменной.

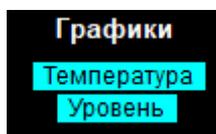


Рисунок 8 – Блок Графики

Для масштабирования графика нужно перейти в окно его свойств (щелчок ПК мыши по графику) и выбрать вкладку Axis (оси). После ввести интересующие интервалы по X и Y (рисунок 9). Также можно увеличить фрагмент графика следующим образом: провести по диагонали нужного фрагмента курсором, удерживая нажатой левую кнопку мыши и клавишу Ctrl.

Для восстановления исходного вида графика, достаточно щелкнуть правой кнопкой по экрану осциллографа, удерживая клавишу Ctrl.

Кроме того, удобно использовать команду Read Coordinates... на вкладке Options (рисунок 9). После нажатия кнопки появится перекрестие, которое можно переместить на точку, координаты которой следует вычислить, и

щелкнуть левой кнопкой мыши. Координаты будут отображены в специальном поле. Повторный щелчок по графику убирает перекрестие.

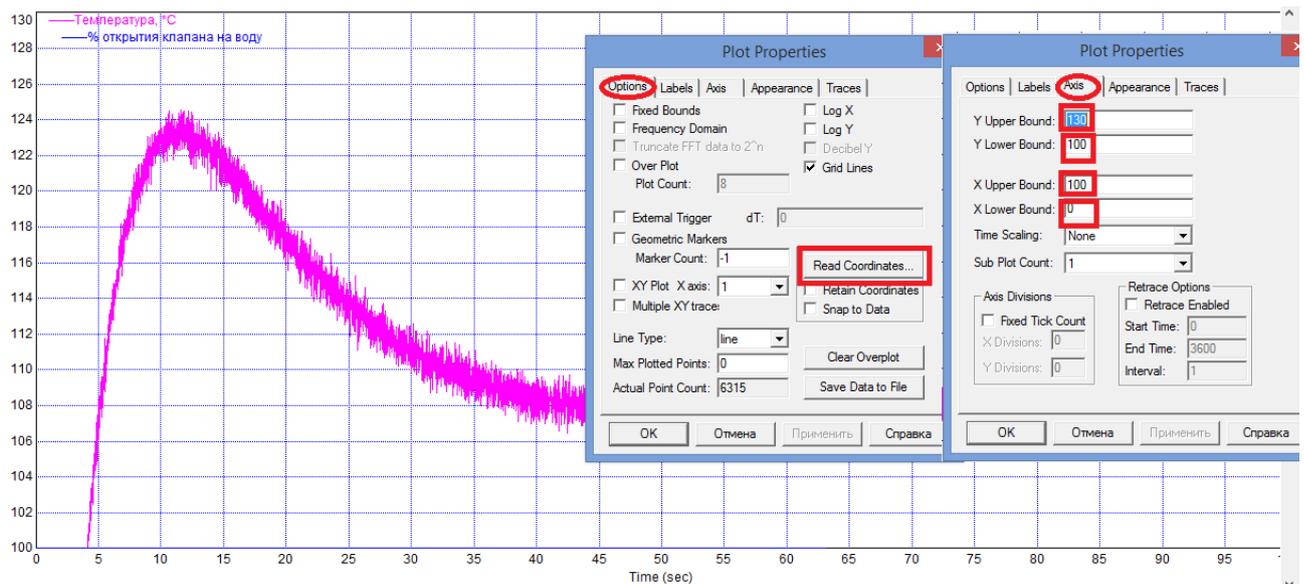


Рисунок 9 – Возможности масштабирования графика

Для возврата к начальному экрану выполнить щелчок ПК мыши в любом свободном месте за пределами графика.

3. Задание на выполнение работы

Работа включает в себя 4 этапа, каждый из которых выполняется студентом самостоятельно согласно своему варианту. По мере выполнения каждого этапа работы оформляется протокол, включающий в себя титульный лист (образец приведен в приложении Г) и скриншоты всех действий, выполненных на текущем этапе (подробнее описано далее).

Этап 1. Изучение технологического процесса и мнемосхемы реактора

Первый этап выполнения работы заключается в изучении технологического процесса и его мнемосхемы. Данное методическое пособие необходимо отправить себе на электронную почту, либо скопировать на свой USB-накопитель.

При защите этого этапа необходимо:

- знать технологические особенности процесса;
- устройство мнемосхемы (расположение всех элементов функциональной схемы автоматизации и их название, расположение и функциональное назначение всех блоков мнемосхемы процесса).

Протокол должен включать в себя:

- Титульный лист (образец приведен в приложении Г);
- Параграфы 1 и 2 настоящего методического пособия;
- Выводы по работе.

Срок выполнения этапа – 1 неделя.

Этап 2. Исследование внутренней структуры объекта управления

Второй этап работы включает в себя анализ структуры технологического объекта управления – реактора-абсорбера.

- 1) Задать номинальный режим работы реактора (таблица 1) и выбрать свой вариант (от 1 до 16);

2) Запустить процесс имитационного моделирования (см. п. 2.1);
3) Дождаться выхода регулируемых переменных (температуры и уровня) на установившийся режим (как показано на рисунке 1);

4) Приостановить процесс имитационного моделирования нажатием кнопки , после чего изменить % открытия клапана подачи воды U1 в большую или меньшую сторону;

5) Возобновить имитационное моделирование нажатием кнопки . Дождаться реакции объекта на ступенчатое изменение сигнала управления. Здесь возможны 3 реакции:

- изменение температуры;
- изменение уровня;
- изменение обоих технологических параметров.

По окончании переходного процесса, когда регулируемая(ые) переменная(ые) перейдут в установившийся режим, сделать скриншот полученной кривой разгона, используя блок «Графики» (если изменилась только температура или только уровень – значит будет только 1 кривая разгона, если изменились оба технологических параметра – будет 2 кривые);

б) Аппроксимировать кривую разгона апериодическим звеном 1 порядка с запаздыванием, передаточная функция которого имеет вид:

$$W_i(s) = \frac{K_i}{T_i \cdot s + 1} e^{-\tau_i \cdot s},$$

где K_i – коэффициент усиления/передачи, T_i – постоянная времени, τ_i – время запаздывания, i – порядковый номер канала регулирования или возмущения.

Один из методов аппроксимации (метод Ормана) приведен в приложении А.

7) Повторить действия с п.1 по п.6 для клапана отвода экстракта U2, расхода сырья Fс, температуры сырья Tс, состава сырья Qс и для расхода кислоты Fк.

8) Определенные в ходе аппроксимации передаточные функции привести в сводной таблице вида:

Таблица 2 – Пример сводной таблицы передаточных функций по каналам управления и возмущения

№ канала	Название канала	Передаточная функция по каналу управления или возмущения
1	U1-T	$W_1(s) = \frac{-3}{35 \cdot s + 1} e^{-15 \cdot s}$
...

9) Получив все кривые разгона, тем самым поняв влияние каждого управляющего и возмущающего воздействия на регулируемые переменные, построить структурную схему объекта управления, представляющего собой черный ящик – т.е. указать на структурной схеме все возможные каналы регулирования. Пример такого черного ящика (рисунок 10):

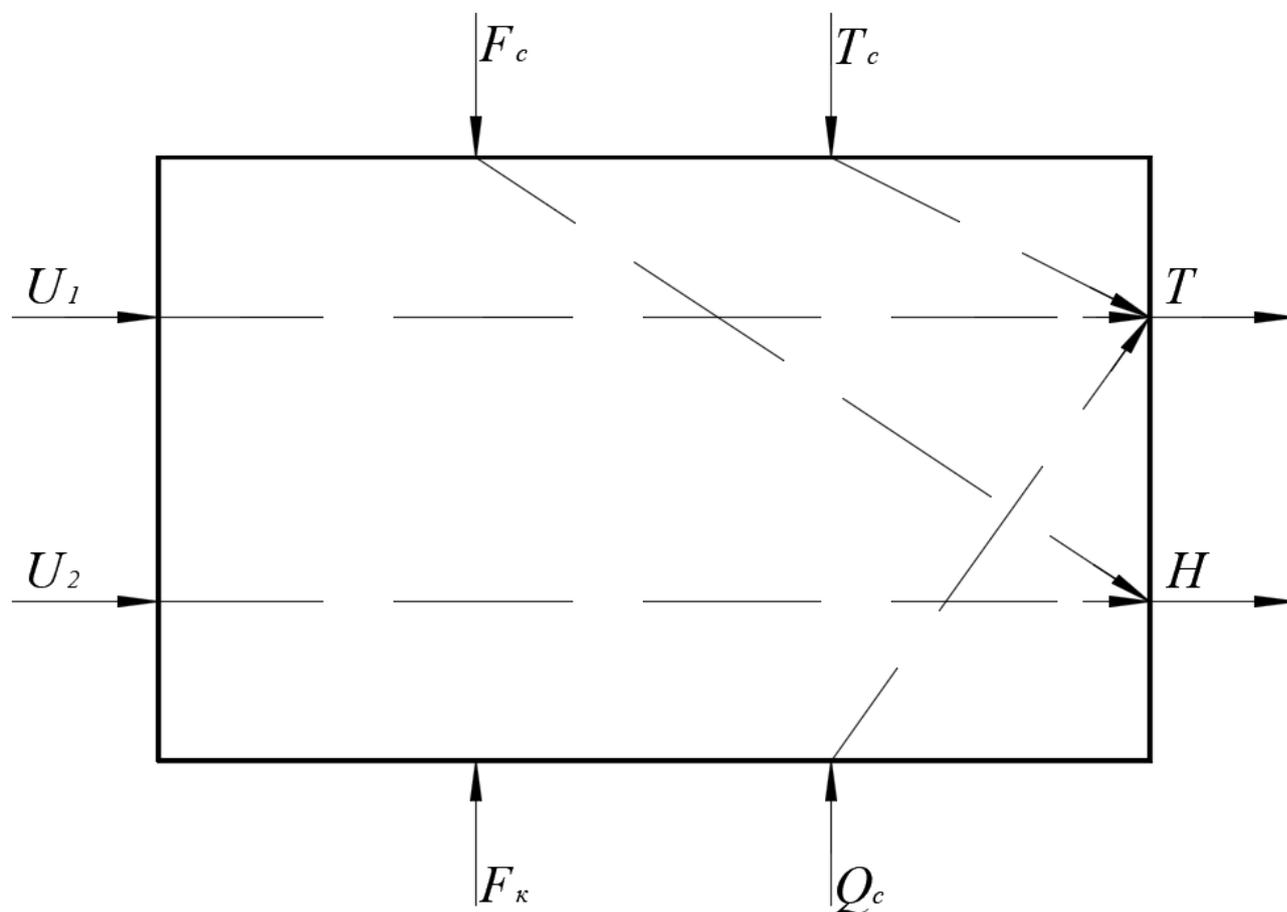


Рисунок 10 – Черный ящик

При защите этого этапа необходимо:

- иметь четкое представление о влиянии каждого управляющего и возмущающего воздействия на регулируемые величины, а также предложить возможные варианты контуров управления температурой и уровнем;

- по динамическим характеристикам полученных передаточных функций предположить, какой из возможных контуров управления будет более или менее пригоден для управления температурой или уровнем;

- знать порядок действий, выполняемых при аппроксимации кривой разгона (метод Ормана см. в приложении А).

Протокол должен включать в себя:

- Титульный лист (образец приведен в приложении Г);

- Скриншот мнемосхемы с выбранным вариантом, установленным номинальным режимом работы и выходом регулируемых переменных в установившийся режим (по аналогии с рисунком 1).

- Скриншоты всех полученных кривых разгона с подписанными каналами управления;

- Расчеты по аппроксимации кривых разгона;

- Сводная таблица полученных передаточных функций;

- Структурная схема объекта управления;

- Выводы по работе.

Срок выполнения этапа – 4 недели.

Этап 3. Синтез одноконтурных систем автоматического регулирования

На данном этапе работы необходимо синтезировать системы автоматического регулирования по всем возможным контурам управления, установленным в результате выполнения предыдущего этапа работы.

1) Для каждого полученного канала управления рассчитать настройки ПИ регулятора любым возможным методом (некоторые методы определения настроек приведены в приложении Б), учитывая, что сигнал управления ПИ регулятора должен иметь вид, как показано в п.2.5, а перерегулирование не должно превышать 30%;

2) Все рассчитанные передаточные функции ПИ регуляторов записать в таблицу вида:

Таблица 3 – Пример сводной таблицы передаточных функций

№ канала	Название канала	Передаточная функция по каналу управления или возмущения	Передаточная функция ПИ регулятора
1	U1-T	$W_1(s) = \frac{-3}{35 \cdot s + 1} e^{-15 \cdot s}$	$W_{рег1}(s) = 0.42 + +0.015 \cdot \frac{1}{s}$
...

3) В программной среде SimInTech реализовать все одноконтурные САР (рисунок 11) и в результате проведения имитационного моделирования получить переходные процессы по заданию и по внешнему возмущению (рисунок 12). Основные принципы работы в данной программной среде приведены в приложении В;

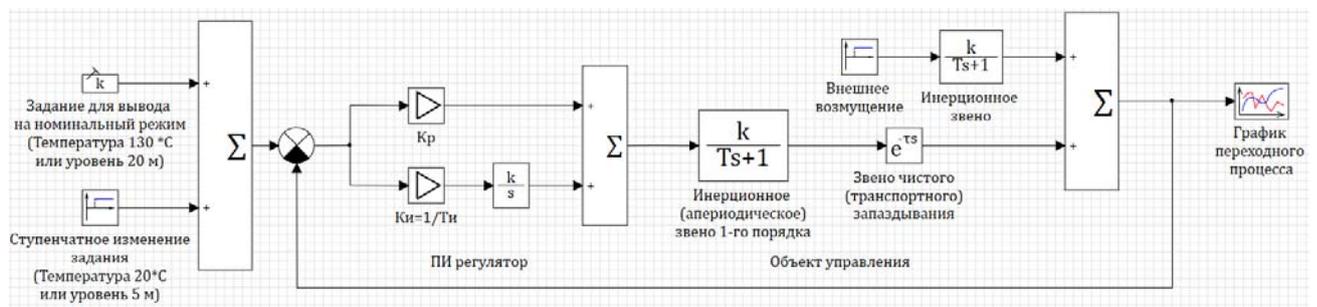


Рисунок 11 – Структурная схема типовой одноконтурной САР в среде SimInTech

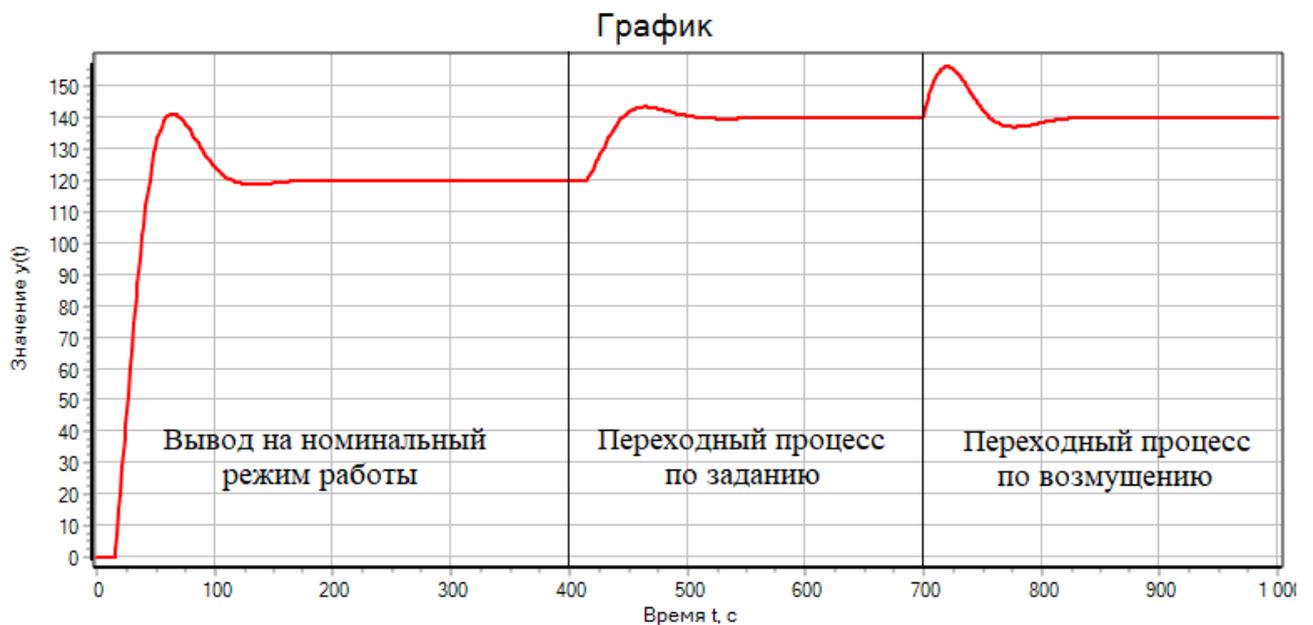


Рисунок 12 – Переходный процесс при регулировании по заданию и по возмущению

4) Получив все переходные процессы, рассчитать такие показатели качества, как время переходного процесса t_p , перерегулирование σ и динамическое отклонение $Y_{дин}$ для случая регулирования по заданию.

Подробнее про показатели качества переходных процессов см. приложение В.

Рассчитанные показатели качества записать в таблицу:

Таблица 4 – Показатели качества систем регулирования

№ канала управления	Название канала управления	Показатели качества		
		Регулирование по заданию		
		t_p , сек	σ , %	Y_{din}
1	U1-T	96	17.5	21°C
...

По совокупности рассчитанных показателей качества определить наилучший контур управления.

5) Вернуться к мнемосхеме процесса и применить рассчитанные настройки регуляторов для каналов управления U1-T и U2-L, используя блоки регуляторов.

6) Выбрать свой вариант, установить номинальный режим работы реактора, в блоках регуляторов переключиться на режим **Auto** и получить переходные процессы по заданию и по какому-либо внешнему возмущению. Внести возмущение в процесс можно с использованием блока внешних возмущений. После завершения переходного процесса по заданию нужно изменить значение какой-либо одной технологической переменной (возмущения).

7) Получив переходные процессы по заданию и по возмущению для температуры и уровня, рассчитать показатели качества по аналогии с п.4.

8) Сравнить полученные результаты из п.4 и п.7. Сделать выводы.

При защите этого этапа необходимо:

- Знать структуру типовой системы автоматического управления;
- Знать принцип работы и передаточную функцию ПИ регулятора;
- Знать метод расчета настроек регулятора;
- Знать основные показатели качества переходных процессов;
- Продемонстрировать навыки работы в программной среде SimInTech (знание элементов интерфейса, основы синтеза систем управления).

Протокол должен включать в себя:

- Титульный лист (образец приведен в приложении Г);

- Расчеты ПИ регуляторов для каждого канала управления;
- Таблицу рассчитанных передаточных функций регуляторов;
- Скриншот реализованных в SimInTech систем управления и полученных графиков переходных процессов;
- Таблицу рассчитанных показателей качества;
- Скриншот мнемосхемы с введенными настройками регуляторов;
- Скриншоты переходных процессов для температуры и уровня по заданию и по возмущению;
- Показатели качества этих переходных процессов;
- Выводы по работе.

Срок выполнения этапа – 4 недели.

Этап 4. Имитирование аварийной ситуации

На последнем этапе выполнения работы необходимо смоделировать аварийную ситуацию с использованием окна изменения свойств каналов управления.

1) Используя настройки регуляторов, рассчитанные на 3 этапе выполнения работы, получить переходные процессы по заданию;

2) По окончании переходного процесса по заданию произвести изменения свойств каналов управления согласно варианту (для вариантов 1-4, 11-14 менять свойства канала $U1 - T$, для вариантов 5-8, 9-10, 15-16 менять свойства канала $U2 - L$) и пронаблюдать реакцию системы на эти изменения;

3) Вернуться в ручной режим управления, получить кривую разгона по измененному каналу управления;

4) Аппроксимировать эту кривую разгона и рассчитать настройки ПИ регулятора для полученной передаточной функции;

5) Ввести новые настройки регулятора в соответствующий блок, перейти в автоматический режим управления и получить переходный процесс по заданию и по внешнему возмущению;

6) Определить показатели качества полученного переходного процесса.

При защите последнего этапа необходимо:

- полностью владеть всеми элементами интерфейса мнемосхемы;
- знать принципы получения кривых разгона;
- знать методы аппроксимации кривых разгона;
- знать методы расчета настроек регуляторов;
- знать основные показатели качества переходных процессов.

Протокол должен включать в себя:

- Титульный лист (образец приведен в приложении Г);
- Скриншот графиков переходных процессов с реакцией на изменение свойств канала управления;
- Скриншот кривой разгона;
- Расчеты по аппроксимации кривой разгона;
- Расчеты по определению настроек ПИ регулятора;
- Скриншот мнемосхемы с введенными настройками регулятора;
- Скриншоты переходного процесса по заданию и по возмущению;
- Показатели качества переходного процесса;
- Выводы по работе.

Срок выполнения этапа – 2 недели.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Аппроксимация кривой разгона по методу Ормана

Данная методика позволяет получить передаточную функцию объекта управления в виде аperiodического звена 1 порядка с запаздыванием:

$$W(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1} e^{-\tau \cdot s},$$

где K – коэффициент усиления/передачи, T – постоянная времени, τ – время запаздывания.

Суть метода Ормана заключается в нахождении двух точек – t_1 и t_2 , по которым можно определить значение постоянной времени объекта управления T и время запаздывания τ , используя эвристические формулы.

На рисунке 13 показан принцип определения этих точек.

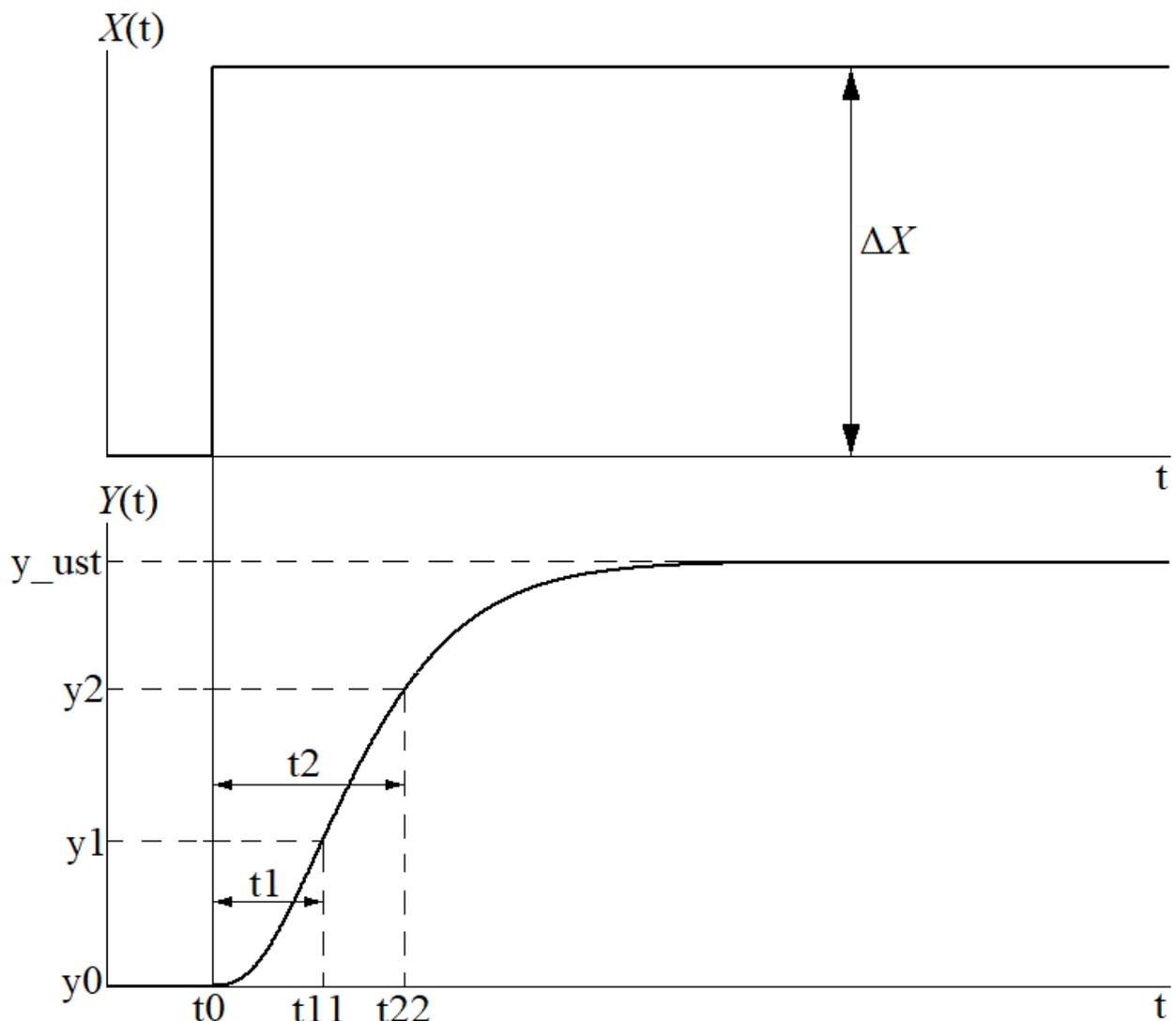


Рисунок 13 – Метод Ормана

По данным полученных кривых разгона можно определить следующие данные:

- Начальное значение температуры/уровня y_0 ;
- Установившееся значение температуры/уровня y_{ust} ;
- Изменение управляющего воздействия (% открытия клапана) ΔX ;
- Момент времени t_0 , в который было изменено управляющее/возмущающее воздействие.

Аппроксимацию кривой разгона рассмотрим на примере графика температуры (рисунок 14):

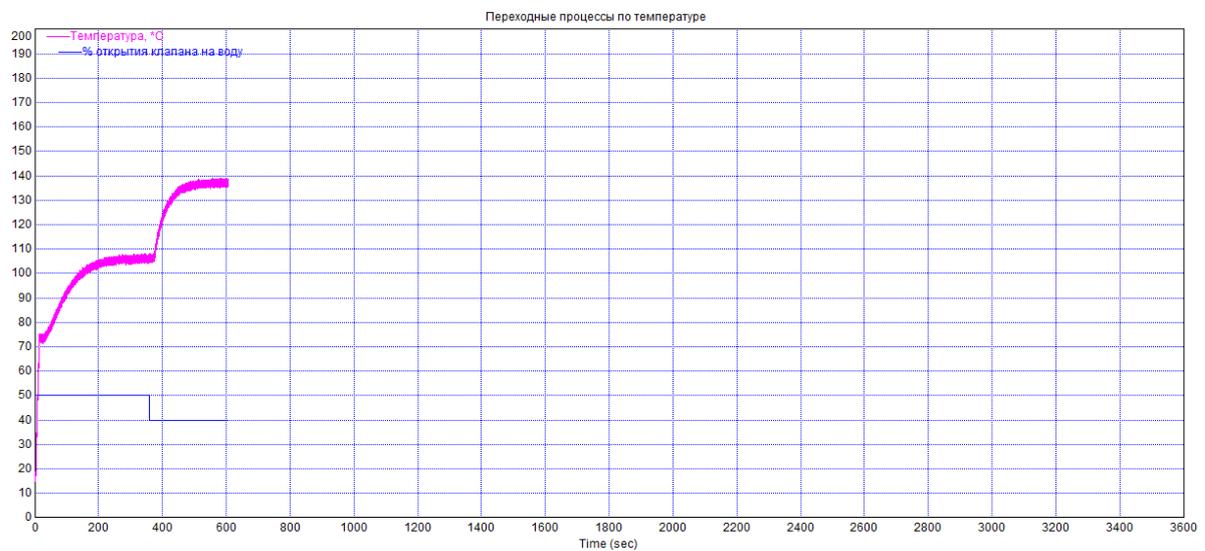


Рисунок 14 – График кривой разгона

Выделяем необходимую нам область (рисунок 15):

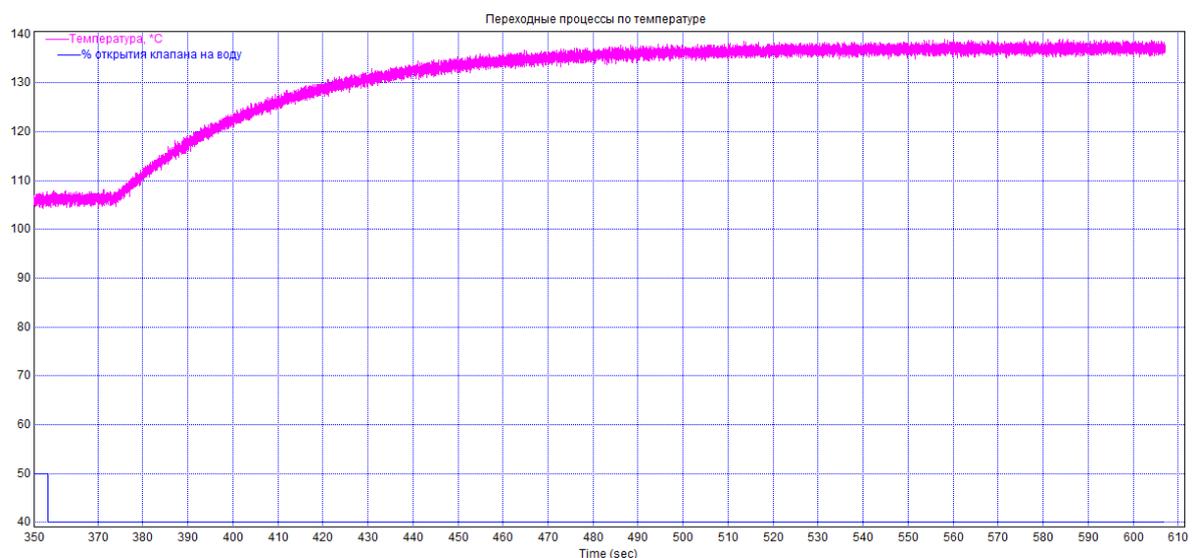


Рисунок 15 – Масштабированный график

Выделяем еще ближе (рисунок 16):

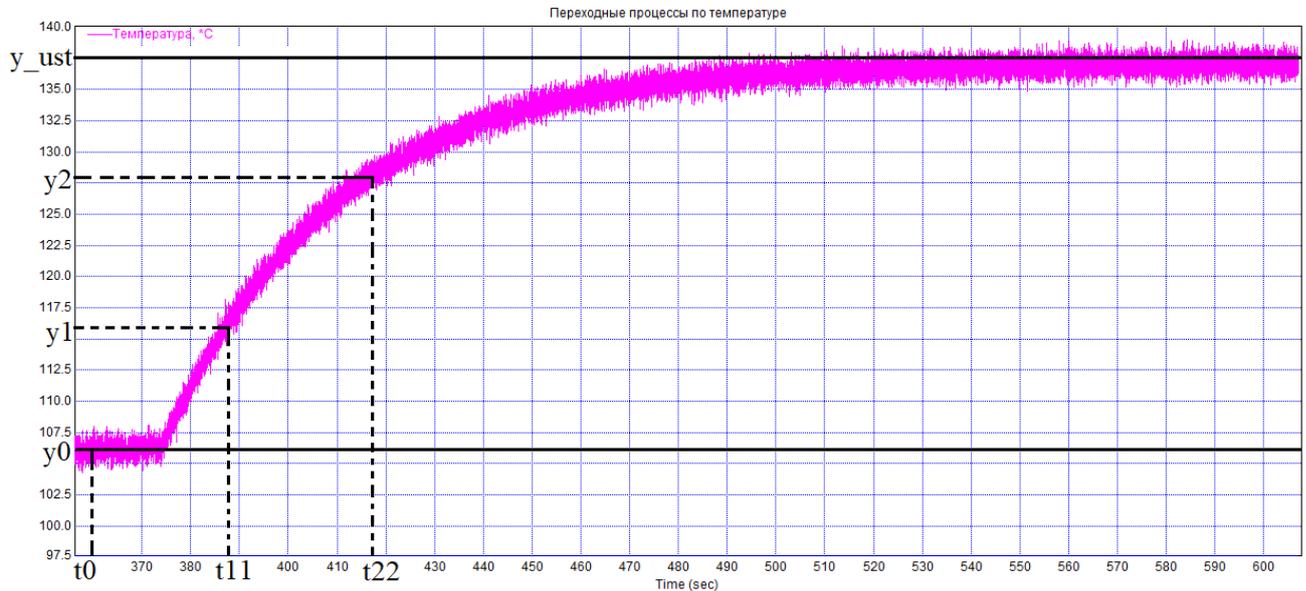


Рисунок 16 – Масштабированный график

В данном примере на вход системы было подано ступенчатое воздействие $\Delta X = -10$ [% открытия клапана], начальное значение температуры $y_0 = 106^\circ\text{C}$, конечное (установившееся) значение температуры $y_{ust} = 137.5^\circ\text{C}$, тогда коэффициент передачи K :

$$K = \frac{y_{ust} - y_0}{\Delta X} = \frac{137.5 - 106}{-10} = -3.15 \left[\frac{^\circ\text{C}}{\% \text{ открытия клапана}} \right]$$

Определяем по кривой разгона значения t_{11} и t_{22} :

$$y_1 = 0.33 \cdot (y_{ust} - y_0) + y_0 = 116.4 [^\circ\text{C}],$$

$$y_2 = 0.7 \cdot (y_{ust} - y_0) + y_0 = 128 [^\circ\text{C}].$$

Тогда $t_{11} = 387$ с, а $t_{22} = 415$ с.

Управляющее воздействие было подано в момент времени $t_0 = 355$ с, следовательно, значения t_1 и t_2 :

$$t_1 = t_{11} - t_0 = 32 [c],$$

$$t_2 = t_{22} - t_0 = 60 [c].$$

Определяем значение постоянной времени T и времени запаздывания τ :

$$T = 1.25(t_2 - t_1) = 35 [c],$$

$$\tau = 0.5(3 \cdot t_1 - t_2) = 18 [c].$$

Передаточная функция примет вид:

$$W(s) = \frac{-3.15}{35 \cdot s + 1} e^{-18 \cdot s}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Расчет настроек регулятора и определение показателей качества переходных процессов

В первую очередь необходимо помнить, что в работе используется следующая форма ПИ – регулятора:

$$u_i(s) = k_{p_i} + k_{и_i} \cdot \frac{1}{s},$$

где k_{p_i} – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора; $k_{и_i}$ – коэффициент усиления интегральной части, $k_{и_i} = 1/T_{и_i}$ ($T_{и_i}$ – постоянная времени интегрирования); i – порядковый номер регулятора.

Существует множество методов настройки регуляторов – как аналитических, так и экспериментальных. К методам первой группы можно отнести **метод Копеловича**, с помощью которого, зная параметры объекта управления (K , T , τ), можно определить настройки регулятора для 3 типовых переходных процессов (апериодический, с 20% перерегулированием и с 40% перерегулированием). Расчетные формулы приведены в таблице 5.

Т.к. есть условие, что перерегулирование по возмущению не должно превышать 30%, то рекомендуется использовать настройки для апериодического процесса и процесса с 20% перерегулированием.

Таблица 5 – расчетные формулы определения настроек регулятора по методу Копеловича

Апериодический процесс	Процесс с 20% перерегулированием
$k_p = \frac{0.6}{K \cdot \frac{\tau}{T}}, k_{и} = \frac{1}{T_{и}} = \frac{k_p}{0.8\tau + 0.5T}$	$k_p = \frac{0.7}{K \cdot \frac{\tau}{T}}, k_{и} = \frac{1}{T_{и}} = \frac{k_p}{\tau + 0.3T}$

Метод Циглера-Никольса. Суть этого экспериментального метода заключается в экспериментальном поиске критического значения коэффициента усиления Π регулятора, при котором система окажется на

границе устойчивости (переходный процесс станет колебательным) (рассмотрим на примере канала управления температурой).

Выставим в регуляторе температуры значение $k_{и} = 0$ (для того, чтобы получить П регулятор), далее выставляем небольшое значение k_p и постепенно увеличиваем его, пока не получим колебательный переходный процесс с постоянной амплитудой колебаний. Это значение подбирается для каждого варианта экспериментально, в примере такое значение $k_p = 1.4$ (рисунок 17):

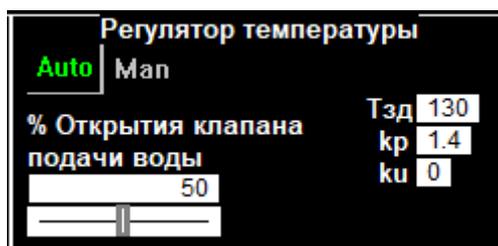


Рисунок 17 – Настройки регулятора температуры, обеспечивающие колебательный переходный процесс

Получаем колебательный переходный процесс (рисунок 18), найденное значение k_p обозначим как $k_{p крит}$.

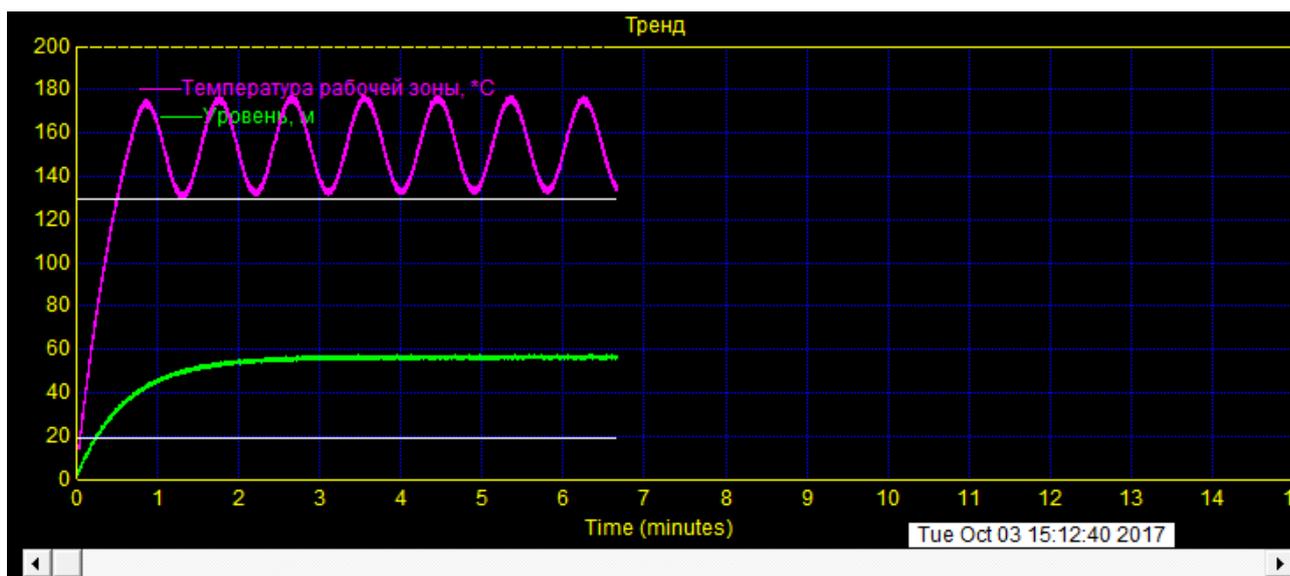


Рисунок 18 – Колебательный переходный процесс

После этого определяется период колебаний T , установившихся в системе (рисунок 19).

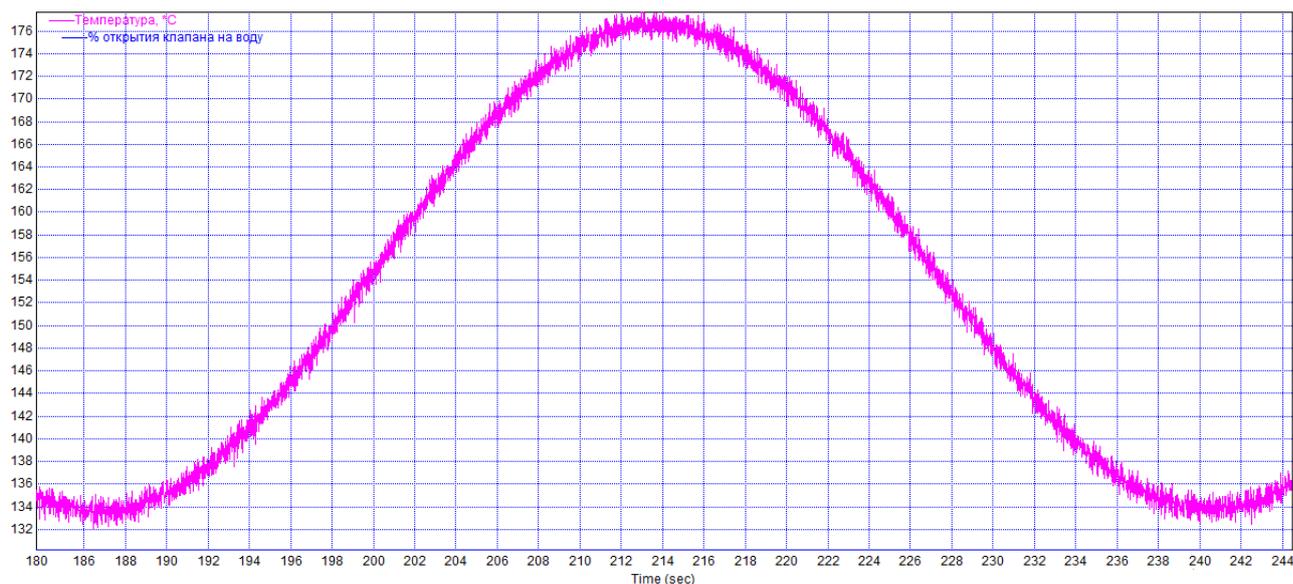


Рисунок 19 – Масштабированный график колебательного переходного процесса

В данном примере $T \approx 240 - 187 = 53$ сек.

Расчетные формулы для определения настроек ПИ регулятора приведены ниже:

$$k_p = 0.45 \cdot k_{p_{крит}},$$

$$k_{и} = \frac{1}{T_{и}} = \left(\frac{k_p}{T/1.2} \right),$$

где $k_{p_{крит}}$ - критическое значение коэффициента усиления П регулятора, при котором замкнутая система управления войдет в колебательный режим, T – период колебаний, установившихся в системе.

Оба рассмотренных выше метода настройки регулятора в расчетных формулах предполагают именно постоянную времени интегрирования, поэтому расчетные формулы были приведены сразу для коэффициента усиления интегральной части.

Показатели качества. Определив передаточную функцию объекта управления, рассчитав настройки регулятора и проведя экспериментальное исследование, можно получить переходный процесс по заданию (реакцию системы на изменение уставки) и по возмущению (реакцию системы на

внешнее воздействие). При использовании ПИ регулятора, вследствие наличия интегральной составляющей, установившееся значение в САР должно быть равным уставке – заданному значению.

Анализ переходного процесса САР позволяет определить качество системы. Для этого рассчитываются показатели качества, такие как время переходного процесса, динамическое отклонение и перерегулирование. Зачастую бывает заранее известен определенный критерий качества, по которому и синтезируется регулятор (как в данной работе, в САР перерегулирование не должно быть больше 30%).

На рисунке 20 представлен типовой переходный процесс по заданию.

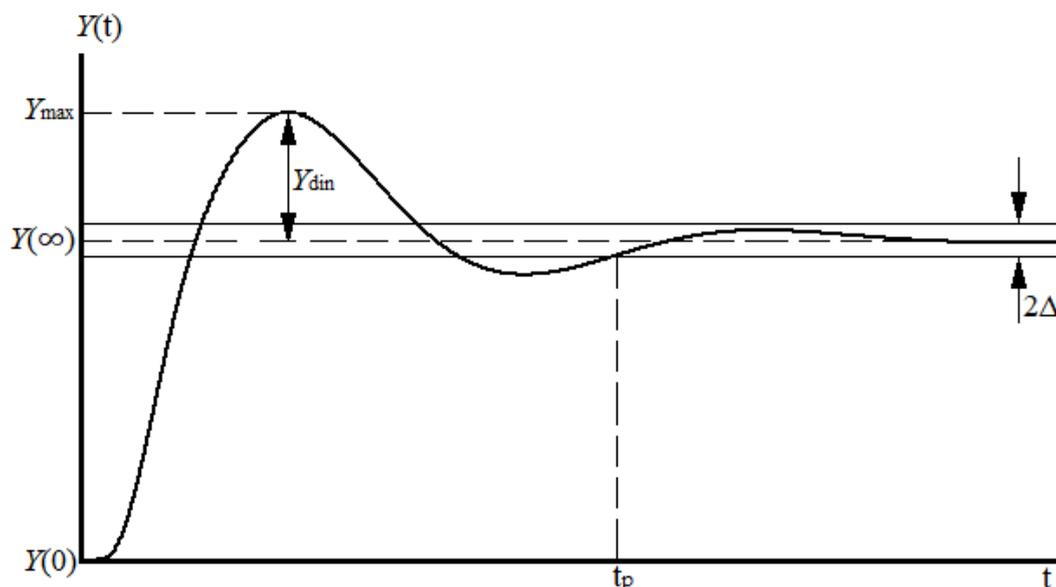


Рисунок 20 – Переходный процесс в САР по заданию

На рисунке 20 приведены следующие обозначения: $Y(0)$ – начальное значение измеряемой величины; $Y(\infty)$ – установившееся значение измеряемой величины; Y_{\max} – максимальное значение выбега измеряемой величины за установившееся значение; 2Δ – трубка допуска, которая задается в процентах от установившегося значения измеряемой величины (обычно принимают $\Delta = 0.05 \cdot Y(\infty)$).

Время переходного процесса t_p – это время, когда измеряемая величина достигнет трубки допуска и больше не покинет ее (показано на рисунке 20);

Динамическое отклонение Y_{din} показывает максимальное отклонение измеряемой величины от заданного (установившегося) значения, определяется по формуле:

$$Y_{din} = Y_{max} - Y(\infty)$$

Перерегулирование σ – показывает максимальное отклонение измеряемой величины от установившегося значения, выраженное в процентах:

$$\sigma = \frac{Y_{max} - Y(\infty)}{Y(\infty)} \cdot 100\%$$

Получив график переходного процесса по заданию и по возмущению (рисунок 21) (для примера использовано возмущающее воздействие «Температура сырья»), можно определить вышеперечисленные показатели качества переходного процесса.

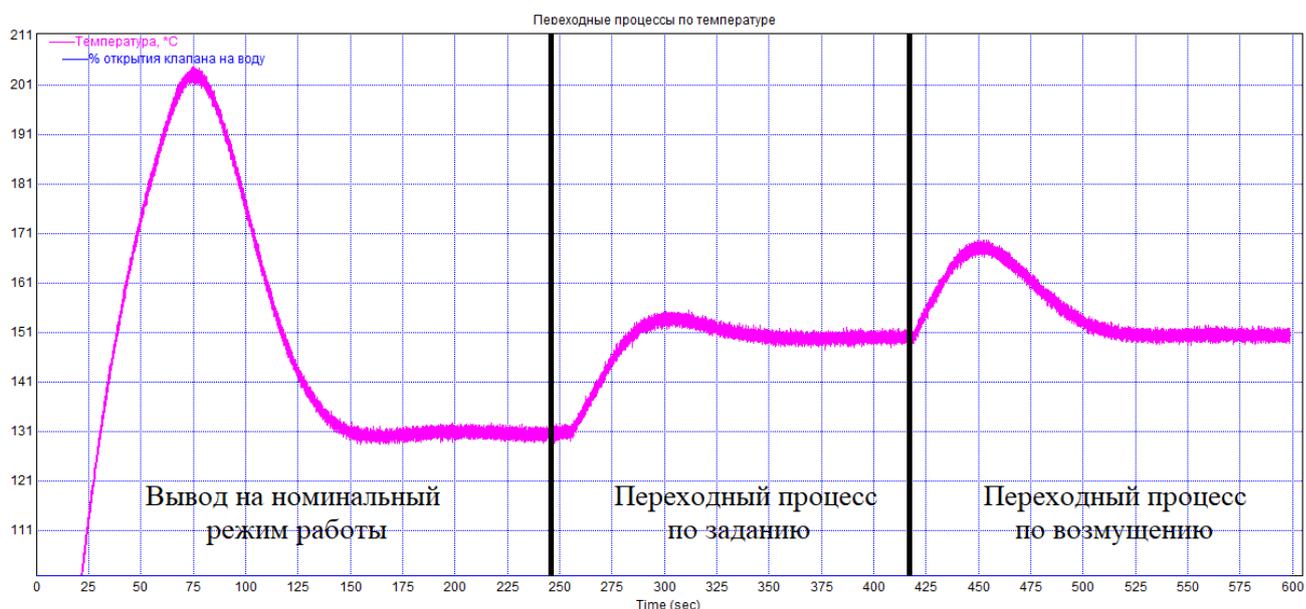


Рисунок 21 – Переходный процесс по заданию и по возмущению для температуры

В рассматриваемом примере показатели качества таковы (таблица 6):

Таблица 6 – Показатели качества системы регулирования

№ канала управления	Название канала управления	Показатели качества		
		t_p , сек	σ , %	Y_{din}
1	U1-T	30	2,6	4°C
...

Краткие первоначальные сведения о программном комплексе SimInTech

1. Установка программы

Чтобы изначально установить программу **SimInTech** на своем компьютере, надо зайти на сайт <http://simintech.ru>. В верхнем меню выбрать пункт **Загрузить** → **Русская версия**. В зависимости от установленной операционной системы (Windows XP или Windows 7 и выше, 32 или 64 бита) заполнить нужную форму, указав необходимые данные, помеченные значком *. Затем нажать **Запросить ссылку**. На указанную в форме электронную почту придет письмо со ссылкой для скачивания, действительной в течение 12 часов. Для установки программы скаченный файл следует запустить. Инструкцию по установке можно найти в разделе сайта **Материалы** → **Инструкции** → **Инструкция по установке и регистрации SimInTech**. Регистрацию установленной программы выполнять не обязательно.

2. Начало работы: интерфейс пользователя SimInTech

Запуск уже установленной на Вашем компьютере среды **SimInTech** осуществляется с помощью ярлыка на рабочем столе или на панели быстрого запуска.

После запуска приложения на экране появится **Главное окно SimInTech** (рисунок 22).

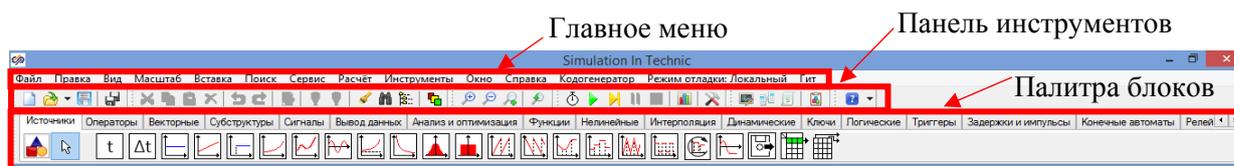


Рисунок 22 – Главное окно SimInTech

Главное меню Главного окна (*Файл, Правка, Вид* и т.д.) отвечает за настройку программы, позволяет редактировать, управлять созданием и расчетом собранных схем.

Панель инструментов Главного окна (*Новый проект, Открыть, Сохранить проект* и т.д.) содержит набор кнопок, отвечающих за наиболее часто используемые команды. Часть кнопок дублирует команды **Главного меню** и предназначена для ускорения работы с программой.

Палитра блоков Главного окна (*Источники, Операторы* и т.д.) содержит набор библиотек блоков для создания расчетных схем и моделей. «Линейка» типовых блоков состоит из отдельных каталогов, сгруппированных по функциональному признаку. Переключение между ними осуществляется 1-кратным щелчком левой клавиши мыши в поле «закладки» с соответствующим названием.

К основным библиотекам относятся: **Источники** входных воздействий; **Операторы** математические; **Векторные** операторы; **Субструктуры**; **Сигналы**; **Вывод данных**; **Анализ и оптимизация**; **Функции** математические; **Нелинейные**; **Динамические**; **Ключи**; **Логические**; **Дискретные**.

Создание и изменение структурной схемы производится при помощи **Схемного окна**. Для того чтобы создать расчетную схему необходимо (см. рисунок 23) воспользоваться кнопкой **Новый проект** на **Панели инструментов Главного окна** и выбрать пункт **Схема модели общего вида**.

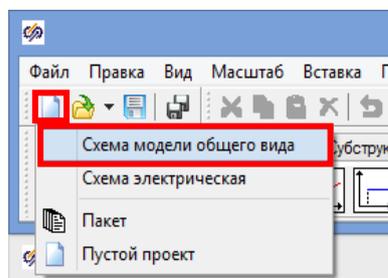


Рисунок 23 – Способ создания нового проекта

На экране появится новое **Схемное окно** (рисунок 24).

Меню Схемного окна проекта отвечает за основные функции работы со схемой, за настройку визуального отображения схемы.

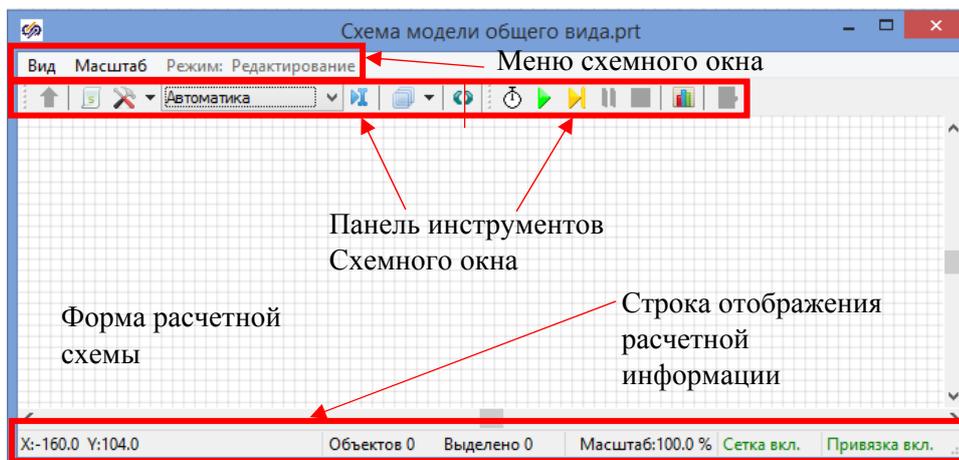


Рисунок 24 – Схемное окно проекта

Панель инструментов Схемного окна содержит следующие основные объекты:

 **параметры расчета** – кнопка доступа к окну изменения расчетных параметров схемы;

 **инициализация** – инициализирует расчетную схему, но не запускает ее расчет;

 **пуск** – инициализирует расчетную схему и сразу запускает ее расчет;

 **сделать шаг** – задача делает один шаг;

 **пауза** – приостанавливает расчет;

 **стоп** – останавливает расчет;

 **менеджер данных** - доступ к окну редактора базы сигналов проекта.

Структурная схема **SimInTech** строится из блоков, линий связи и декоративных элементов (комментариев, рисунков, подписей), не участвующих в расчёте.

Блок - в математическом аспекте блоки представляют собой операторы преобразования входных сигналов блока в его выходные сигналы.

Портом называется объект на изображении блока, от которого можно вести линию связи или к которому можно подсоединить линию связи.

Свойство блока - задаваемая пользователем характеристика (константа или переменная величина определённого типа данных) для работы блока.

Параметр блока - формируемая (вычисляемая) блоком переменная, характеризующая работу блока.

Линия связи - в общем случае линии связи осуществляют направленную передачу данных от выходов блока к входам других блоков.

Совокупность блоков и соединяющих их линий связи образуют **алгоритм управления** в схеме автоматики.

3. Основные приемы создания расчетных схем в SimInTech

При создании расчетной схемы целесообразно придерживаться следующей последовательности (рекомендуется выполнять процедуру сохранения на жесткий диск после каждого из нижеперечисленных этапов).

Этап 1. Наполнение Схемного окна блоками.

Для размещения того или иного блока нужно перейти на соответствующую вкладку **Палитры блоков Главного окна**, 1-кратным щелчком левой кнопкой мыши выбрать интересующий блок (фон станет подсвечен). Далее переместить курсор на **Форму расчетной схемы**, вид курсора изменится – появится изображение блока и крестообразный указатель места установки блока. Выбираем место установки и 1-кратным щелчком левой кнопки мыши устанавливаем блок на форме.

На рисунке 25 приведен пример размещения на **Схемном окне** типовых блоков **Ступенька** (вкладка **Источники**), **Инерционное звено 1-го порядка** (вкладка **Динамические**), **Временной график** (вкладка **Вывод данных**).

Чтобы **переместить** блок на схеме для наиболее удобного расположения необходимо нажать левую кнопку мыши на изображении блока, и, не отрывая пальца от кнопки, перетащить блок в нужную точку. После отпускания кнопки мыши блок расположится в том месте, где был курсор.

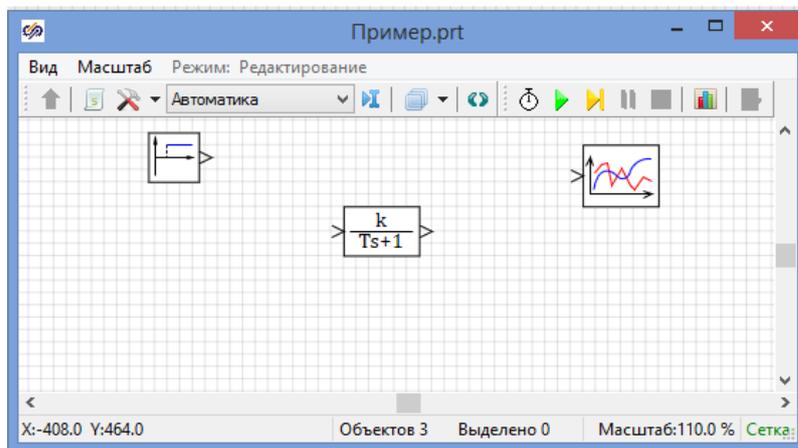
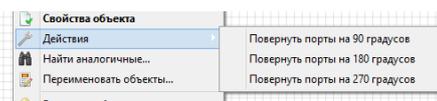


Рисунок 25 – Пример размещения блоков на Схемном окне

Выделение блоков производится следующим образом. Мысленно нужно представить себе прямоугольник на экране, который бы окружал только те блоки, которые следует выделить. Далее необходимо нажать левую кнопку мыши в левом верхнем углу этого прямоугольника и, не отпуская ее, начертить этот прямоугольник, проведя мышью с нажатой кнопкой в противоположный, правый нижний угол. Как только кнопка мыши будет отпущена, блоки окажутся выделенными. Далее с группой блоков можно оперировать как с единым блоком. Например, ее можно перемещать, удалять, копировать и объединять.

Если требуется **развернуть блок** (блоки), необходимо выделить блок (блоки), нажать правую кнопку мыши и в контекстном меню выбрать

«**Действия → Повернуть...**»:



Для **удаления** блоков следует сначала выделить, как описано выше, блок (или блоки) и нажать на клавишу «Delete» клавиатуры.

Этап 2. Ввод свойств блоков.

Необходимо задать свойства блоков на структурной схеме (коэффициенты усиления, постоянные времени, начальные условия и т.д.).

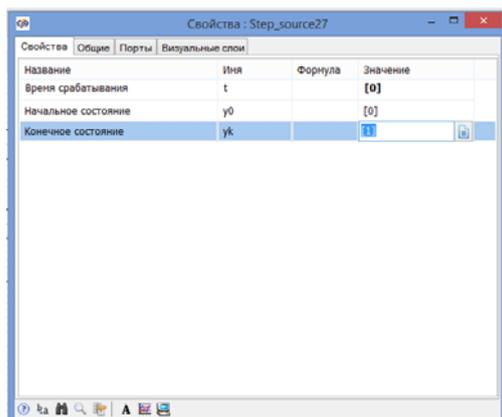
Вызвать окно редактора свойств можно, выделив блок щелчком мыши на схеме, а затем произведя по нему двойной щелчок левой кнопкой мыши.

В окне свойств блока наиболее часто используемыми вкладками являются:

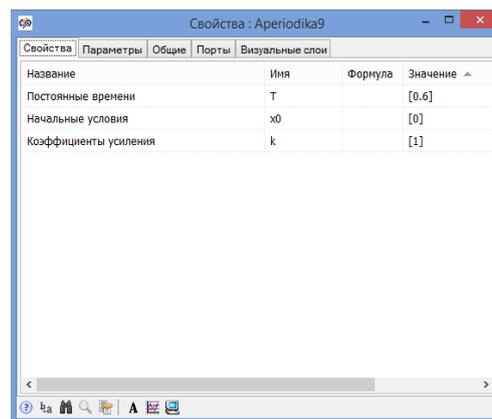
Свойства – расчетные свойства блока, непосредственно влияющие на его исполнение;

Общие – базовые свойства блока, такие как имя, тип, координаты расположения на листе, видимость и другие;

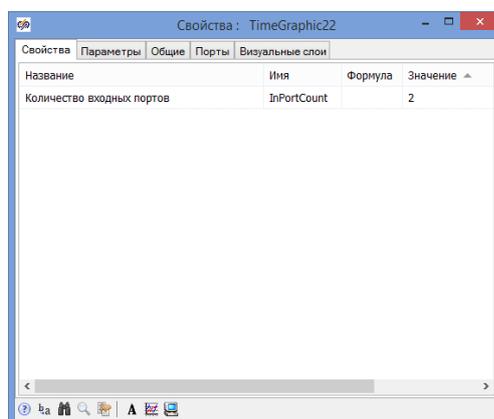
На рисунке 26 приведен пример задания свойств блоков Ступенька, Инерционное звено 1-го порядка, Временной график.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 26 – Окно свойств блока, на примере блоков:

Ступенька (а), Инерционное звено 1-го порядка (б), Временной график (в)

Этап 3. Соединение блоков линиями связи.

Создание линий связи производится левой кнопкой мыши. Чтобы соединить два расположенных на схеме блока необходимо подвести курсор к выходному порту одного блока, сделать 1-кратный щелчок левой кнопкой мыши и, отпустив кнопку (курсор превратиться в стрелку вида \uparrow), протянуть

линию связи к входному порту другого блока. Как только курсор достигнет входа, нужно снова сделать 1-кратный щелчок левой кнопкой мыши, после чего на входе появится типичная входная стрелка.

Чтобы сделать «ответвление» от линии связи, необходимо навести курсор на линию, нажать на правую кнопку мыши и в появившемся меню выбрать пункт «Действия → Добавить ветвь», появится новая точка на линии и возможность провести ответвление от данной точки.

Для удаления линий связи необходимо навести курсор на линию, нажать левую кнопку мыши (выделить линию) и нажать «Delete».

На рисунке 27 показано, как выходной порт Ступеньки соединен с 1-ым входным портом Временного графика и одновременно через механизм «ответвления» с входным портом Инерционного звена 1-го порядка, выходной порт которого соединен в свою очередь со 2-ым входным портом Временного графика.

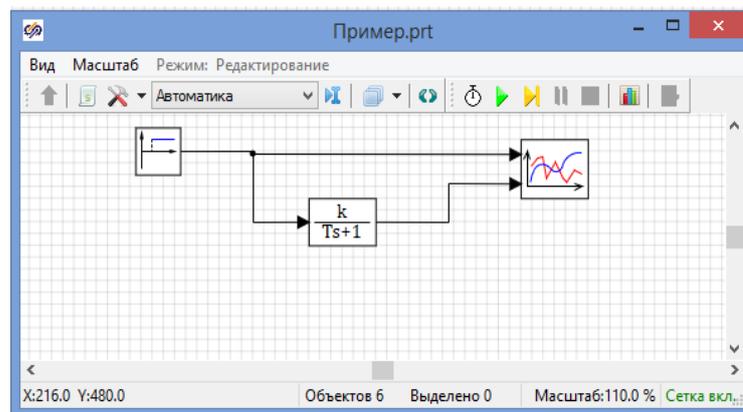


Рисунок 27 – Пример подключения линий связи структурной схемы

Этап 4. Оформление поясняющих подписей.

Для оформления **Схемного Окна** используются подписи. Для добавления подписи к блоку, переместите курсор под блок, найдите положение курсора, при котором он изменит свою форму на стрелку со знаком вопроса и сделайте 2-х кратный щелчок левой кнопкой мыши. Должно появиться временное окно для ввода текста. Переместите курсор в это окно, сделайте щелчок левой кнопкой мыши, после чего введите нужный заголовок (для переноса текста на

следующую строку используйте сочетание ctrl+enter). Далее переместите курсор на свободное место в **Схемном Окне** и сделайте 1-кратный щелчок левой кнопкой мыши, временное окно закроется и под блоком появится желаемая подпись (рисунок 28).

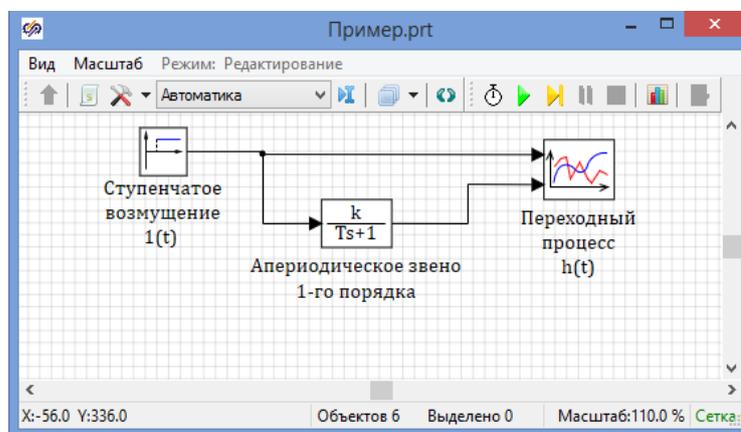


Рисунок 28 – Пример оформленной структурной схемы

Этап 5. Установка параметров расчета схемы.

Чтобы настроить расчетные параметры схемы в **Главном меню Главного окна** необходимо выбрать «**Расчет** → **Параметры расчета**» (рисунок 29а), либо нажать кнопку **Параметры расчета** на **Панели инструментов Схемного окна** (рисунок 29б).

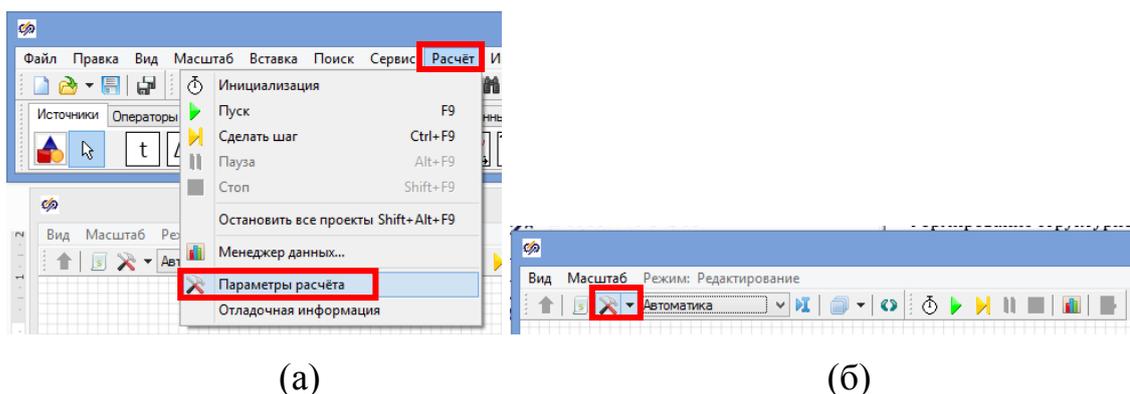


Рисунок 29 – Способы открытия окна настройки параметров расчета схемы

После откроется диалоговое окно **Параметры проекта** с активной закладкой **Параметры расчета** (рисунок 30), где необходимо установить:

- *Начальный шаг интегрирования* **startstep = 0;**

- *Конечное время расчёта* **endtime** (выбирается из соображения того, чтобы переходные процессы успевали завершиться);
- *Максимальный шаг* **hmax** достаточно принять равным 0.1;
- *Минимальный шаг* **hmin** = 0.001;
- *Относительную ошибку* **relerr** = 0.001.

Остальные параметры оставить по умолчанию или настраивать под конкретные задачи.

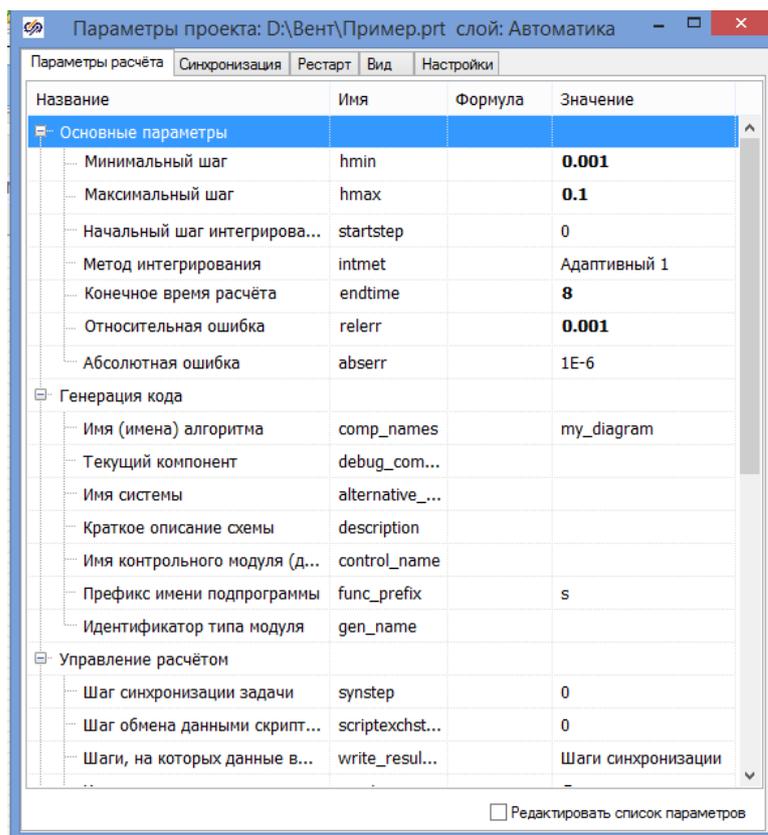


Рисунок 30 – Окно настройки параметров расчёта схемы

Закладка **Синхронизация** предназначена для расчёта в заданном масштабе времени. Если выбрать пункт *Синхронизировать с реальным временем* и в поле *Коэффициент ускорения* указать 1, то это будет соответствовать расчёту в реальном масштабе времени.

Этап 6. Запуск процесса моделирования.

После того, как структурная схема собрана, заданы свойства всех блоков и введены параметры интегрирования, она может быть запущена на счет. Для этого необходимо нажать на кнопку **Пуск**  на **Панели инструментов**

Схемного окна или на клавишу **F9**. В результате работы схемы выходные сигналы блоков начнут изменяться, их величины будут отображаться на графиках и других индикаторах. Параметры некоторых сигналов и блоков можно изменять в процессе симуляции, другие параметры можно изменить, приостановив процесс работы схемы, нажав кнопку . В строке отображения расчетной информации **Схемного окна** должна появиться надпись: «Конечное время достигнуто...», в противном случае в схеме была допущена ошибка.

4. Основные приемы работы с графиками

Блок **Временной график** (вкладка Палитры блоков Главного окна: **Вывод данных** → **Временной график**) реализует отображение результатов моделирования в виде временных зависимостей для одной или нескольких переменных.

Число отображаемых в **Графическом окне** сигналов задается в свойствах блока. Для этого необходимо переместить курсор на блок, сделать 1-кратный щелчок правой кнопкой мыши и в контекстном меню блока выбрать пункт **Свойств объекта**. Во вкладке **Свойства** в пункте *Количество входных портов* **InPortCount** указывается необходимое число входных сигналов (рисунок 31).

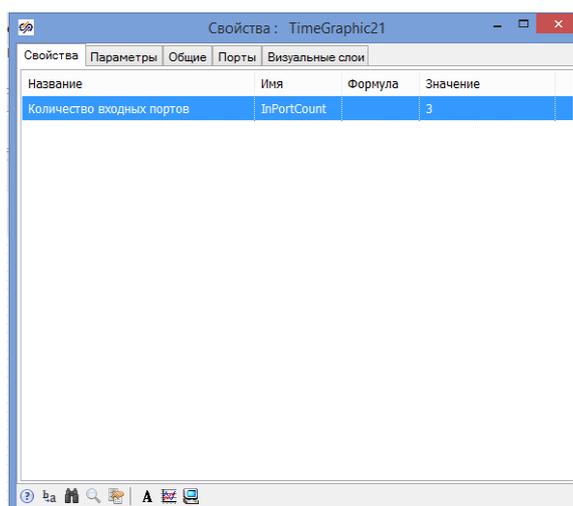


Рисунок 31 – Окно свойств блока Временной график

При 2-х кратном щелчке левой кнопкой мыши по изображению блока в **Схемном окне** открывается **Графическое окно** (рисунок 32), которому можно придать необходимый размер.

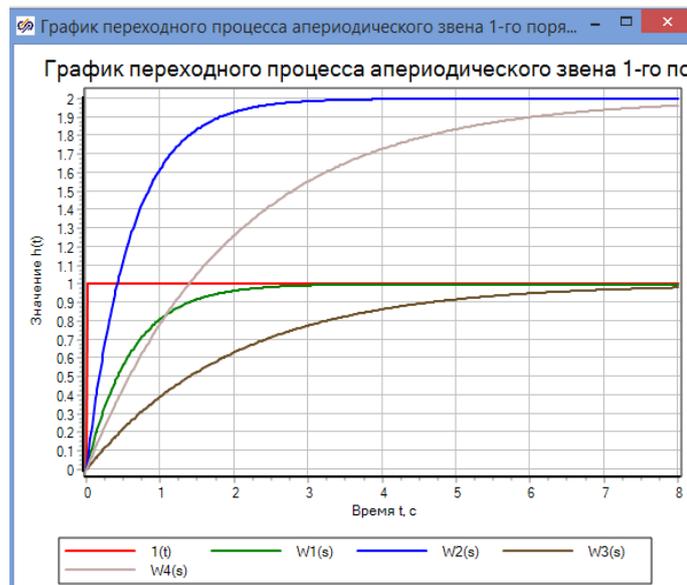


Рисунок 32 – Графическое окно блока Временной график

Чтобы увеличить фрагмент графика необходимо привести курсор в нужную часть графика, сделать двойной щелчок левой кнопкой мыши и, удерживая кнопку нажатой, выполнить движение мышью по направлению «вправо-вверх» или «вправо-вниз».

Если переместить курсор в центральную часть окна графика и сделать 1-кратный щелчок правой кнопкой мыши, должно появиться контекстное меню (рисунок 33).

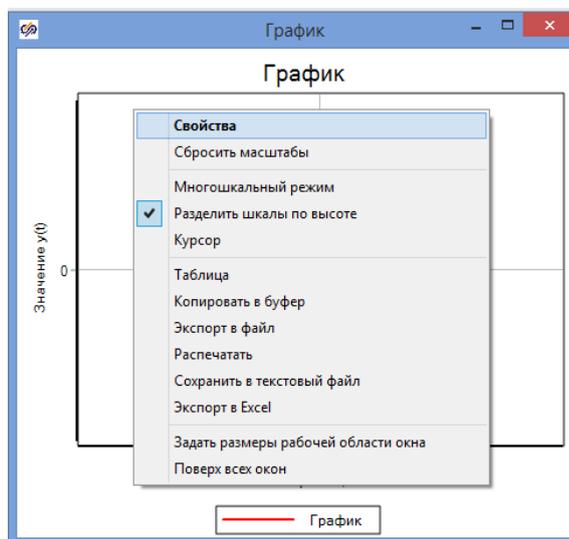


Рисунок 33 – Контекстное меню настройки графика

Пункт *Копировать в буфер* в контекстном меню позволяет скопировать в буфер обмена изображение графика для последующей вставки его в соответствующие отчетные документы, например, в текстовые документы Word.

Пункт *Распечатать* в контекстном меню позволяет сразу вывести изображение графика на печать, используя доступные принтеры.

Пункт *Таблица* в контекстном меню позволяет сменить способ отображения временной зависимости на табличную, что эффективно, когда требуется высокая оценка точности результатов моделирования (рисунок 34).

№	1(t) - Y	W1(s) - X	W1(s) - Y	W2(s) - X	W2(s) - Y	W3(s) - X	W3(s) - Y
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0.01367	0.0010062641	0.01367	0.00025158856	0.01367	0.00047353277
3	1	0.052224556	0.013469824	0.052224556	0.0033721144	0.052224556	0.0053586121
4		0.063115507	0.019225971	0.063115507	0.0048180946	0.063115507	0.0074395914
5		0.072924156	0.025134021	0.072924156	0.0063048525	0.072924156	0.0094656328
6		0.12928049	0.069994351	0.12928049	0.01769033	0.12928049	0.022735205
7		0.13783759	0.07813051	0.13783759	0.019775303	0.13783759	0.024889278
8		0.1450102	0.085165268	0.1450102	0.021583373	0.1450102	0.026707686
9		0.19746684	0.1413822	0.19746684	0.036226425	0.19746684	0.040165018
10		0.21084506	0.15674782	0.21084506	0.040294322	0.21084506	0.043600775
11		0.22305929	0.17103382	0.22305929	0.04410408	0.22305929	0.046728654
12		0.29171231	0.25403771	0.29171231	0.066835405	0.29171231	0.064046672
13		0.30822069	0.27428422	0.30822069	0.072553044	0.30822069	0.068130455
14		0.32143574	0.29047103	0.32143574	0.077180303	0.32143574	0.07137447
15		0.33889147	0.31177503	0.33889147	0.083350175	0.33889147	0.075624658
16		0.36942147	0.34866208	0.36942147	0.094265403	0.36942147	0.082961729
17		0.38364099	0.36562038	0.38364099	0.099390446	0.38364099	0.086336982
18		0.39511734	0.37918109	0.39511734	0.1035409	0.39511734	0.089041585
19		0.42755207	0.41001194	0.42755207	0.11531092	0.42755207	0.09591707

Рисунок 34 – Представление временной зависимости в виде таблицы

Если выбрать пункт *Курсор* контекстного меню, то появится перекрестие, которое можно переместить на точку, координаты которой следует вычислить. Координаты будут отображены в специальном поле (рисунок 35). Чтобы убрать перекрестие, закройте диалоговое окно *Ближайшие к курсору точки*.



Рисунок 35 – Детализация графика

Если выбрать пункт **Свойства** контекстного меню, то откроется диалоговое окно с заголовком **Свойства графика** (рисунок 36), в котором задаются настройки параметров **Графического окна**, такие как цвет и тип линий, параметры осей, заголовков графика и подписи по осям координат и т.д.

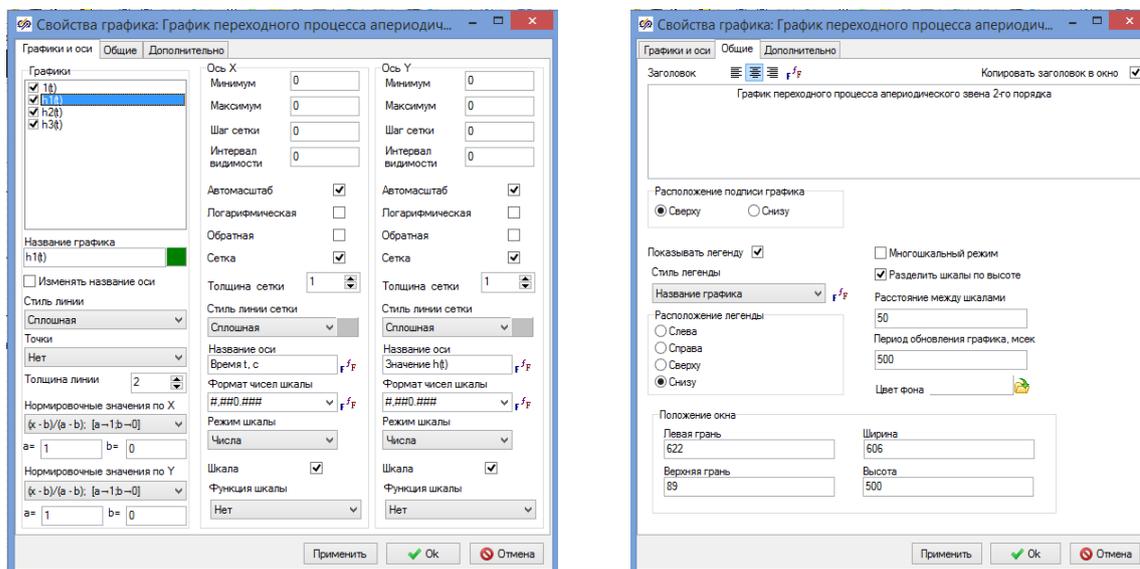


Рисунок 36 – Настройка параметров Временного графика

Наиболее часто используемые возможности редактирования:

- *Название графика* - наименование временных зависимостей;
- *Стиль линии* - стиль линии, которой отображается выбранная временная зависимость;
- *Толщина линии* - толщина в пикселях линии выбранного графика;
- *Заголовок* - наименование графика (вверху), можно задать параметры шрифта;
- *Название оси* - строка текста, отображаемого около Оси X и Оси Y;
- *Автомасштаб* - возможность автомасштабирования графика (по умолчанию включен).

Закончив процедуру редактирования свойств графика, необходимо нажать на кнопку **Ок** и закрыть диалоговое окно.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Новомосковский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Кафедра

Автоматизация производственных процессов

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА

Этап 1

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И
МНЕМОСХЕМЫ РЕАКТОРА**

Студент

(дата выполнения, подпись)

Иванов И.И.

Руководитель практики

(дата защиты, подпись)

Вент Д.П.

Группа

А-16-1

г. Новомосковск
2018 г.