

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Астраханской области  
«Астраханский государственный политехнический колледж»  
(ГБПОУ АО «АГПК»)

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель УМО

 Е.П.Тураева

Методические рекомендации  
по выполнению курсовых проектов

по МДК 02.02 Испытания модели элементов систем  
автоматизации в реальных условиях и их оптимизации

для студентов 4 курса

специальности 15.02.14 «Оснащение средствами автоматизации  
технологических процессов и производств (по отраслям)»

РАССМОТРЕНО  
на заседании методической комиссии  
Механического отделения

СОСТАВИЛ

 Преподаватель  
Грипанов Д.В.

Протокол 2

от « 19 » 09 2024года

Методист  
 М.А. Емикова

2024 г

## Введение

Методической целью курсового проекта является приобретение и закрепление студентами практических навыков использования современного программного обеспечения для анализа и синтеза относительно простых систем на примере исследования замкнутой системы автоматического регулирования.

Задания и методические указания к выполнению курсового проекта составлены в соответствии со стандартом специальности.

### 1. Цель и задачи курсового проекта

Цель проекта: анализ и оптимизация линейной системы автоматического регулирования (САР) заданного технологического контура с использованием программного пакета моделирования систем VisSim (или аналогичных программных продуктов)

Задачи проекта:

- анализ задания и исходных данных;
- описание принципа действия САР;
- построение структурно-аналитической модели САР;
- оценка устойчивости и стабилизация САР;
- оптимизация модели;
- оценка качества модели.

Примечание. Задачи проекта формулируются на основании цели и анализа исходных данных. Так, например, если задана разомкнутая САР с управлением по возмущению, состоящая из устойчивых звеньев, то необходимость оценки устойчивости и стабилизации САР отпадает.

По мере выполнения проекта задачи и способы их решения могут и должны обоснованно уточняться и конкретизироваться. Например, стабилизация разомкнутого контура может потребовать изменения не одного, а нескольких параметров, оптимизация модели - не только изменения параметров, но и структуры модели.

## 2. Задание и исходные данные

Задание:

Построить модель САР, исследовать ее, оптимизировать и оценить качество полученной САР.

**Исходные данные:**

- технологическая схема объекта автоматизации;
- передаточные функции звеньев системы.

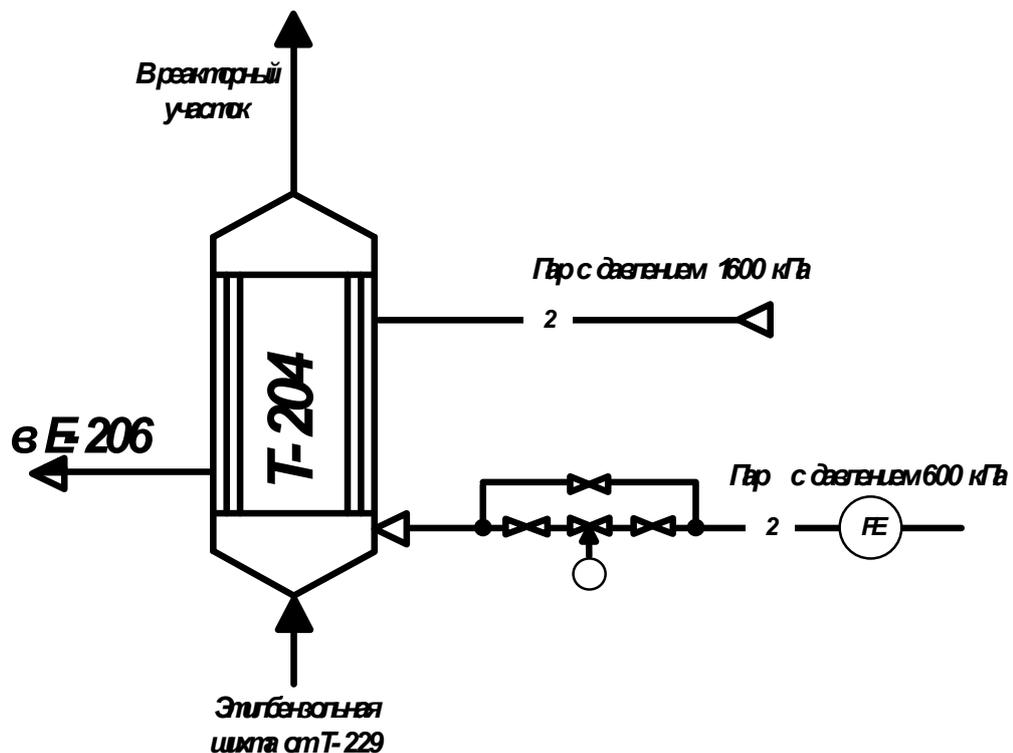


Рисунок 2.1 – Пример технологической схемы объекта

Этилбензолная шихта подогревается в теплообменнике Т-229 до температуры  $95^{\circ}\text{C}$  за счет тепла водного конденсата, подаваемого насосом поз.Н-224 из емкости поз.Е-223 с последующей подачей сырья в испаритель поз.Т-204. В испарителе поз.Т-204 производится подогрев, испарение и частичный перегрев паров шихты до температуры не менее  $160^{\circ}\text{C}$  за счет тепла конденсации пара  $1600\text{ кПа}$  ( $16\text{ кгс/см}^2$ ).

Для снижения температуры кипения этилбензола в трубное пространство испарителя поз.Т-204 подается водяной пар с ТЭЦ с давлением  $600\text{ кПа}$  ( $6\text{ кгс/см}^2$ ), количество которого составляет 10-15% от веса этилбензола и поддерживается постоянным регулятором расхода.

Конденсат пара  $1600\text{ кПа}$  ( $16\text{ кгс/см}^2$ ) собирается в сборнике поз. Е-206.

Объектом моделирования является контур регулирования расхода с давлением  $600\text{ кПа}$ . Для оптимизации регулирования и повышения точности применяются регулирующие клапаны с позиционером.

Структурная схема объекта автоматизации будет иметь следующий вид:

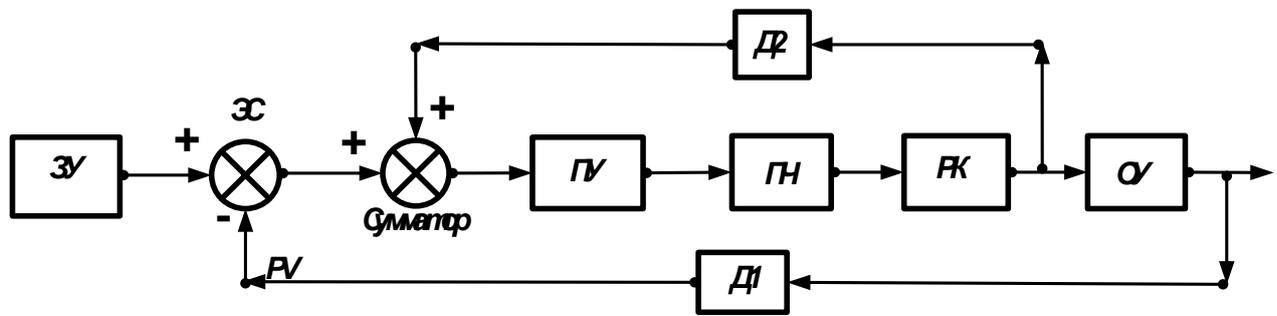


Рисунок 2.2 – Пример структурной схема САР

ЗУ – задающее устройство; ПУ – Предварительный усилитель; ПЧ – преобразователь частоты тока; РК – регулирующий клапан в сборе; ОУ – объект управления (трубопровод подачи пара); Д1 – датчик контура главной обратной связи (датчик расхода); Д2 – датчик контура местной обратной связи (позиционер клапана)

Пример задания параметров элементов:

ЗУ – задающее устройство – генератор единичного ступенчатого сигнала

ПУ – предварительный усилитель моделируется аperiodическим звеном с передаточной функцией:

$$W_{пу}(p) = \frac{K_{пу}}{pT_{пу} + 1} \quad (2.1)$$

с параметрами:

$$K_{пу} = 25;$$

$$T_{пу} = 0.065, \text{ с.}$$

$$W_{пу}(p) = \frac{25}{0.065p + 1}$$

ПЧ – преобразователь частоты тока моделируется аperiodическим звеном с передаточной функцией:

$$W_{пч}(p) = \frac{K_{пч}}{pT_{пч} + 1} \quad (2.2)$$

с параметрами:

$$K_{пч} = 25;$$

$$T_{пч} = 0.055, \text{ с.}$$

$$W_{пч}(p) = \frac{25}{0.055p + 1}$$

Д2 – датчик контура местной обратной связи (позиционер клапана), инерционно-дифференцирующее звено:

$$W_{д2}(p) = \frac{K_{д2}T_{д2}}{pT_{д2} + 1} \quad (2.3)$$

где:

$$K_{д2} = 0.02;$$

$$T_{д2} = 0.1, \text{ с.}$$

$$W_{Д2}(p) = \frac{0.02p}{0.1p+1}$$

Д1 – датчик контура главной обратной связи (датчик расхода), усилительное (пропорциональное) звено:

$$W_{Д1}(p) = K_{Д1} \quad (2.4)$$

где:

$$K_{Д1} = 0.035.$$

$$W_{Д1}(p) = 0.035$$

РК – регулирующий клапан, апериодическое звено:

$$W_{РК}(p) = \frac{K_{РК}}{pT_{РК}+1} \quad (2.5)$$

где:

$$K_{РК} = 13,5 ;$$

$$T_{РК} = 0.13, \text{ с.}$$

$$W_{РК}(p) = \frac{13.5}{0.13p+1}$$

ОУ – объект управления (трубопровод пара), колебательное звено. Его передаточная функция по каналу управления:

$$W_{ОУ}(p) = \frac{K_{ОУ}}{0.1T_{ОУ}p^2 + T_{ОУ}p + 1} \quad (2.6)$$

где:

$$K_{ОУ} = 1,7;$$

$$T_{ОУ} = 0.75,$$

$$W_{ОУ}(p) = \frac{1.7}{0.1 \cdot 0.75p^2 + 0.75p + 1}$$

Совокупность передаточных функций элементов и функциональной схемы позволяет построить структурно-алгоритмическую модель САР, а также аналитическую модель, представляющую собой передаточную функцию всей САР. В курсовом проекте используется аналитический инструмент – программа VisSim, что избавляет от необходимости проведения громоздких выкладок по получению аналитической модели САР.

### 3. Методические указания к выполнению проекта

Проект представляется к защите в переплетенном виде и должен содержать:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основную часть, разбитую на разделы, параграфы и пункты;
- заключение;
- список литературы и адреса Интернета;
- приложения.

Пояснительная записка проекта должна быть краткой и содержательной. Не следует описывать теорию вопросов, достаточно сделать ссылки на литературу. Каждый раздел записки (глава, параграф, пункт и т.д.) должен содержать цель и задачи, обоснование принимаемых решений и пояснения цели и последовательности проведения выкладок. Например, необходимо объяснить, почему для оценки устойчивости используется тот или иной критерий. Кроме того, следует проводить анализ полученных результатов и кратко его излагать. В завершение в каждом разделе следует делать краткие выводы, из которых должна вытекать необходимость выполнения следующего раздела. Точно и правильно поставленная цель раздела позволяет по достижении ее легко сделать выводы по разделу.

При выполнении курсового проекта студенты должны пользоваться следующими основными государственными стандартами Единой системы конструкторской документации – ЕСКД.

- ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Основные требования к текстовым документам;
- ГОСТ 2.004-88 ЕСКД. Общие требования к оформлению конструкторских и технологических документов;
- ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы;
- ГОСТ 2.120-73 ЕСКД. Технический проект;
- ЕСКД. Основные требования к чертежам;
- ГОСТ 7.1-84. Библиографическое описание документов.

Пояснительная записка выполняется на листах формата А – 4 (297 х 210 мм), расположенных вертикально и имеющих рамки. Каждому листу текстового документа присваивается порядковый номер. Нумерация страниц начинается в курсовом проекте с 2-го листа.

Общие требования:

Текст пояснительной записки выполняется на компьютере по следующим правилам:

- шрифт 13 TimesNewRoman, межстрочный интервал 1,5;

При расположении текста на листе рекомендуется соблюдать следующие размеры:

слева – 25 мм от края листа;  
справа - 10 мм от края листа;  
сверху - 15 мм от края листа;  
снизу от основной надписи - 10 мм.

В тексте должны быть использованы общепринятые экономические, юридические и технические термины, условные обозначения и сокращения.

Пример:

т. е. – то есть;  
т. к. – так как;  
и т. д. – и так далее.

Повреждения листов курсового проекта, помарки и следы не полностью удаленного текста, зачеркивания не допускаются.

Математические знаки можно применять лишь в формулах. В тексте их записывают словами. Например, минус, плюс и т. д. Наиболее часто встречаются знаки: №, %, §, их в тексте приводят только с цифрами или буквами, заменяющими цифры. Например, №5, 7%, А и т. д. Отвлеченные числа до десяти пишут только словами, а свыше десяти – цифрами. Например, «установка состоит из четырех основных узлов» или «на установке имеются 12 кронштейнов». Если число имеет размерность, то их пишут цифрами. Например, «производительность скважины 50 т/сутки».

Последовательность расположения материала курсового проекта следующая:

**Первой страницей** является титульный лист.

В буквенно – цифровом коде КП. 15.02.14. 1058.. МДК 02.02. 24. ПЗ цифры и буквы означают:

- КП – курсовой проект;
- 15.02.14 - шифр специальности;
- 1058 - № зачетной книжки;

МДК 02.02. – шифр междисциплинарного курса по которому выполняется курсовой проект.

- 24 – год выпуска документа;
- ПЗ – пояснительная записка.

Образец титульного листа приводится в приложении А.

**На второй странице** - задание на курсовой проект( Приложение Б)

Структурные элементы пояснительной записки: введение, заключение, список литературы, приложения – номеров разделов не имеют.

Текст пояснительной записки при необходимости разделяют на разделы и подразделы. Каждый раздел начинается с нового листа (страницы). Все разделы нумеруются в пределах всего документа арабскими цифрами без точки и записываются с абзацного отступа. Заголовки

разделов, подразделов и пунктов пишут с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая и не выделяя жирным шрифтом.

Расстояние между заголовком и тестом должно составлять 3-4 интервала, между заголовком раздела и подраздела – 2 интервала.

Формулы, помещенные в пояснительной записке, должны нумероваться в пределах всей пояснительной записки сквозной единой нумерацией арабскими цифрами и располагаться по центру на отдельных строках, отделяться от остального текста промежутками в один интервал. Номер формулы следует заключать в круглые скобки и помещать в конце строки.

В формулах следует применять обозначения величин, установленные стандартами. Пояснения обозначений величин и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не приведены ранее в тексте, дают непосредственно под формулой. Пояснения символов приводят каждое с новой строки в последовательности их расположения в формуле и начинают со слова «где» без каких – либо знаков препинания после него.

Проект может быть выполнен "вручную" или с использованием программных пакетов VisSim, "MBTU" или Simulink.

Графическое приложение к курсовому проекту должно включать чертеж формата A1/A2 с изображением основных результатов работы: схемами, формулами, таблицами, графиками т.д., отражающими основные этапы проектирования, исходные данные и исходная модель; оценка устойчивости и предварительная коррекция; оптимизация модели и оценка ее качества.

На чертеже обязательно следует изобразить окончательную схему оптимизированной САР и привести ее основные характеристики качества, в том числе переходную характеристику, на которой указать время регулирования и перерегулирование (здесь же для сравнения привести переходную характеристику объекта управления). Кроме того, привести и коэффициенты ошибок САР, характеризующие ее качество в переходном режиме.

Ниже предлагается примерная методика выполнения работы с использованием прикладного программного пакета VisSim.

### 3.1. Анализ исходных данных

Выполняется с целью установления достаточности исходных данных для реализации модели и их непротиворечивости.

Примечание: анализ проводится в процессе выполнения всего проекта и вносится в пояснительную записку после его окончания. Если выясняется, что каких-то данных недостаточно, студент должен обоснованно ввести их. В случае противоречивости исходных данных, необходимо найти компромиссное решение и обосновать его.

### 3.2. Описание принципа действия САР

Принцип действия САР кратко описывается по функциональной схеме.

Цель описания принципа действия САР состоит в пояснении назначения и состава САР, а также в качественной иллюстрации ее работоспособности. Следует показать, что рассматриваемая САР осуществляет слежение за величиной сигнала, подаваемого на ее устройство сравнения. Кроме того, необходимо отметить, что САР компенсирует возникающие возмущения, т.е. решает и задачу стабилизации.

Решение задач слежения и стабилизации рассматриваемой системой возможно вследствие наличия в ней контура главной обратной связи, реализующего принцип управления по отклонению.

Описание состоит из двух подразделов. В первом рассматривается работа САР в статике. Следует показать, что САР обеспечивает слежение: соответствие (пропорциональность) частоты вращения вала ДПТ задающей величине при постоянных задающем и возмущающем воздействиях.

Во втором подразделе следует показать, что слежение обеспечивается и в динамике: при изменении задания и (или) возмущения, САР стремится поддержать значение частоты вращения вала, соответствующим заданию. Назначение раздела - показать качественно (т.е. не количественно, словами) преимущество управления двигателем с использованием САР по сравнению с непосредственным управлением. Использование САР позволяет повысить быстродействие управления посредством маломощных сигналов задания и точность поддержания частоты вращения.

### 3.3. Построение структурной и аналитической моделей САР

Моделирование может выполняться с использованием программных пакетов VisSim, "МВТУ" или Simulink.

Цель моделирования: обеспечить возможность анализа, а по его результатам и оптимизации САР.

#### 3.3.1. Построение схемы САР

Вынести на рабочее пространство VisSim'a блоки, соответствующие функциональной схеме. Определить значения параметров передаточных функций элементов в соответствии с номером варианта. Ввести эти значения в соответствующие блоки. Рационально разместить блоки диаграммы, предусмотреть место для надписей и комментариев. Указать что это за работа, кем и когда она выполняется, номер варианта и др.

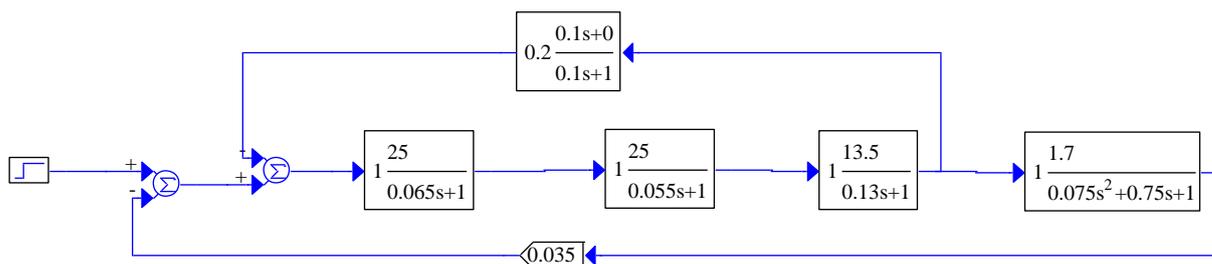


Рисунок 3.1 – исходный замкнутый контур (модель) объекта управления

### 3.4. Оценка устойчивости разомкнутого контура

Разомкнутый контур САР состоит из устойчивых элементов, но, в свою очередь, содержит контур местной обратной связи. Следовательно, САР может быть неустойчивой в разомкнутом состоянии.

Оценка устойчивости разомкнутой САР осуществляется с целью проверки выполнения необходимого условия практического применения критерия Найквиста: разомкнутый контур должен быть устойчивым. Критерий Найквиста выбран для оценки устойчивости замкнутой САР потому, что, инструменты этого критерия (логарифмические частотные характеристики) будут применены при структурно-параметрической оптимизации САР. Последнее является определяющим в выборе критерия Найквиста для оценки устойчивости замкнутой САР. Частотные характеристики разомкнутого контура САР не только позволяют судить о степени устойчивости замкнутой САР и, косвенно, о ее качестве, но и вырабатывать меры и средства оптимизации САР.

Традиционно, устойчивость разомкнутого контура определялась с помощью критериев Михайлова или Гурвица. Однако, имея в своем распоряжении моделирующую программу, например, VisSim, исследователь может непосредственно по виду переходной характеристики определить устойчива ли система. Более того, по виду переходной характеристики качественно можно оценить и степень устойчивости.

Запустить программу на счет, определить по виду переходной характеристики устойчив ли разомкнутый контур.

### 3.5. Стабилизация разомкнутого контура

Стабилизация разомкнутой САР осуществляется с целью обеспечения выполнения необходимого условия практического применения критерия Найквиста: разомкнутый контур должен быть устойчивым с запасом по амплитуде в диапазоне 6 - 20 дБ (в 2 - 10 раз).

Изменяя параметры элементов контура местной обратной связи: коэффициенты усиления усилителя и тиристорного преобразователя, а возможно, и постоянной времени звена ОСН, добиться, чтобы переходный процесс стал апериодическим с перерегулированием не более 5 ÷ 20 %.

Возможный способ решения этой задачи: вывести разомкнутый контур на границу устойчивости, а затем уменьшить коэффициент усиления усилителя в 2 ÷ 10 раз. В предлагаемой методике контур выводится на границу устойчивости для того, чтобы иметь точку начала отсчета для обеспечения нужного запаса устойчивости по амплитуде. Такая простая методика стабилизации возможна потому, что VisSim легко строит переходные характеристики.

Может оказаться целесообразным выполнить стабилизацию в два этапа: на первом изменять только коэффициенты усиления и если результаты окажутся недостаточно

качественными, то на втором этапе можно уменьшить и постоянную времени звена ОСН (обратной связи по напряжению).

### 3.6. Оценка устойчивости замкнутой САР

Оценка степени устойчивости замкнутой САР проводится с целью определения необходимых мер и средств оптимизации САР. Оценка осуществляется с помощью логарифмического варианта критерия Найквиста. Это позволяет не только косвенно, по запасам устойчивости, судить о степени устойчивости САР, но и численно определить необходимые для предварительной стабилизации изменения значений параметров элементов.

Выделить элементы разомкнутого контура и вызвать ЛАЧХ и ЛФЧХ. Растянуть и оформить графики. Определить запасы по фазе и амплитуде. Сравнить их значения с допустимыми.

### 3.7. Коррекция замкнутой САР

Коррекция осуществляется с целью получения работоспособной САР путем оптимизации коэффициента усиления контура управления. Если этого оказывается недостаточно, то в главный контур вводится и настраивается ПИ-регулятор.

Формально, подбор наилучшего значения коэффициента усиления следует называть параметрической оптимизацией системы, в то время как введение ПИ-регулятора и определение его наилучших настроечных параметров является простым случаем структурно-параметрической оптимизации САР, поскольку во втором случае изменяется структурная схема.

По ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутого контура определить необходимую величину изменения коэффициента усиления в дБ, с тем, чтобы запасы устойчивости вошли в требуемые интервалы, предпочтительнее ближе к их верхним границам. По фазе это  $35^{\circ} \div 65^{\circ}$  и по амплитуде  $6 \div 12 \div 20$  дБ. Изменение усиления контура следует провести путем введения П-регулятора (усилителя) непосредственно за сумматором главного контура управления. Если при этом усиление контура окажется меньше 20 дБ, следует ввести в контур главной обратной связи, сразу после П-регулятора, ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W(p) = k_p \frac{pT_i p + 1}{pT_p} \quad (3.1)$$

где:

- $k_p$  – коэффициент усиления ПИ-регулятора;
- $T_i$  – постоянная времени интегратора, обратно пропорциональная частоте сопряжения аппроксимаций участков ЛАЧХ с наклонами 0 дБ/дек и -20 дБ/дек соответственно.

Примечание. Усиление П-регулятора можно учесть в ПИ-регуляторе, с тем, чтобы уменьшить количество блоков в схеме.

После корректировки усиления или, может быть, введения ПИ-регулятора, следует заново выделить элементы разомкнутого контура, построить ЛАЧХ и ЛФЧХ и убедиться в том, что

запасы по фазе и амплитуде соответствуют требованиям. Коэффициент усиления контура в астатической системе напрямую не регламентируется, а косвенно он характеризует быстродействие системы.

### 3.8. Оценка качества САР

Оценка выполняется с целью сравнения показателей качества переходного и установившегося режимов оптимизированной САР с требованиями, предъявляемыми к САР заказчиком.

Оценка качества переходного режима САР осуществляется по переходной функции замкнутой САР.

Замкнуть главный контур управления, переключить осциллограф на выход САР, к выходу ОУ.

Запустить на счет.

Оценить время регулирования, перерегулирование. Перерегулирование хорошей системы находится в пределах  $0\% \div 20\%$ . Если полученное перерегулирование превышает величину  $40\%$ , следует вернуться к коррекции системы и уменьшить усиление контура.

Приблизительно определить по ЛАЧХ разомкнутого контура окончательно скорректированной системы коэффициенты ошибок  $c_0$ ,  $c_1$  и  $c_2$ . Возможно определение коэффициентов ошибок и альтернативным способом, непосредственно в VisSim'e .

### 3.9. Определение области устойчивости САР

Знание диапазона изменения некоторого параметра системы управления, в котором система сохраняет устойчивость, позволяет оценить восприимчивость системы к возмущениям, приводящим к отклонению исследуемого параметра от его оптимального значения. На практике здесь потребуется оценить и влияние возмущающих факторов на выбранный, названный выше параметр.

В данной работе предлагается оценить диапазон изменения коэффициента усиления контура, в котором САР сохраняет устойчивость.

Определение области устойчивости САР может быть осуществлено методом D-разбиения по коэффициенту усиления контура. Для этого может быть "приспособлен" построитель годографа Найквиста в VisSim'e. Следует только выразить из характеристического уравнения замкнутой САР коэффициент усиления в виде дробно-рациональной функции. В VisSim'e степень числителя линейного звена не должна превышать степень знаменателя. Если полученная дробно-рациональная функция будет иметь степень числителя выше степени знаменателя, то для такого случая может быть построена область устойчивости для инверсного значения  $1/k$ .

### 3.10. Заключение

Здесь следует кратко изложить основные результаты работы, сделать выводы и дать рекомендации. Смысл выводов - достигнута ли цель работы и решены ли ее задачи.

Рекомендации могут быть как по оптимизации методов решения поставленных задач, способам и возможному дальнейшему улучшению системы, так и по ее применению.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Астраханской области  
«Астраханский государственный политехнический колледж»

Механическое отделение

Иванов И.И.

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА

КП 15.02.14. № з.к. МДК 02.02. 24 ПЗ

Руководитель:

Д.В.Гришанов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Исполнитель:

студент ОСА 4109 Иванов И.И.

\_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г

Астрахань, 2024

При ПРИЛОЖЕНИЕ Б

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

15.02.14 Оснащение средствами  
автоматизации технологических процессов и  
производств (по отраслям)

Рассмотрено на заседании  
методической комиссии  
Протокол № \_\_\_\_\_  
от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202 г.  
\_\_\_\_\_

ЗАДАНИЕ  
на курсовой проект

Студенту \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество полностью)

Тема проекта: \_\_\_\_\_

Исходные данные к проекту: \_\_\_\_\_

Рекомендуемая техническая документация:

Содержание пояснительной записки

Раздел 1. Описание конструкции: \_\_\_\_\_

Раздел 2. Расчетно-техническая часть проекта: \_\_\_\_\_

Раздел 3. Организационная часть: \_\_\_\_\_

Раздел 4. Графическая часть проекта \_\_\_\_\_

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Дата выдачи задания «\_\_» \_\_\_\_\_ 202 г

Срок сдачи студентом законченного проекта «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202 г.

Студент \_\_\_\_\_

(подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_

(фамилия, инициалы, должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)