

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**Исследование статических и динамических  
характеристик САР давления в пневмосистеме с  
дискретным регулятором**

Электронные методические указания  
к лабораторной работе

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование образовательной деятельности» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка образовательных стандартов СГАУ по специальности 160700.65 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей и направлению подготовки бакалавров 160700.62 – Двигатели летательных аппаратов со сквозной документацией и создание исследовательских лабораторных работ и прогрессивных технологий лекционных заданий»  
Соглашение № 1/4 от 03 июня 2013 г.

САМАРА  
2013

УДК 681.5.011

И889

Составители: **Крючков Александр Николаевич, Илюхин Владимир Николаевич, Грешняков Павел Иванович, Ермилов Михаил Анатольевич**

Рецензент: Матвеев В.Н., д.т.н., профессор

Компьютерная верстка: Гаврилова

Доверстка: Кошелев

**Исследование статических и динамических характеристик САР давления в пневмосистеме с дискретным регулятором** [Электронный ресурс]: электрон. метод. указания к лаб. работе / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост.: А. Н. Крючков, В. Н. Илюхин, М. А. Ермилов, П. И. Грешняков - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,0 Мбайт). - Самара, 2013. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Изложены методы теоретического и экспериментального исследования динамических и статических характеристик цифровой САР давления с дискретным регулятором.

Электронные методические указания рекомендуются для студентов, обучающихся по специальностям 150802.65 "Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» (8 семестр); 160301.65 "Авиационные двигатели и энергетические установки" (8 семестр); 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (8 семестр), а также по направлениям бакалавриата 151000.62 "Технологические машины и оборудование" (6,7 семестр); 141100.62 "Энергетическое машиностроение" (6,7 семестр); 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств» (6,7 семестр) ; 160700.62 «Двигатели летательных аппаратов» (6,7 семестр) .

Разработано на кафедре на кафедре АСЭУ.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2013

## Оглавление

1 Теоретические основы лабораторной работы .....	4
2 Описание установки .....	8
3 Задачи лабораторной работы .....	11
3.1 Настройка ПИД-регулятора .....	11
3.2 Исследование влияния времени дискретизации на работу цифровой САР.....	17
3.3 Исследование влияния высокочастотных помех с датчиков и помех оцифровки на работу ПИД-регулятора.....	18
4 Ход лабораторной работы.....	21
4.1 Настройка ПИД-регулятора .....	21
4.2 Исследование влияния времени дискретизации на работу цифровой САР.....	22
4.3 Исследование влияния высокочастотных помех с датчиков и помех оцифровки на работу ПИД-регулятора.....	22
5 Содержание отчёта.....	22
Библиографический список .....	23

**Цель работы:** получить практические навыки по настройке ПИД-регулятора. Изучение влияния частоты дискретизации АЦП контроллера, а так же высокочастотных помех на устойчивость регулятора.

## **1 Теоретические основы лабораторной работы**

В двигателях внутреннего сгорания, воздушно-реактивных двигателях, жидкостных ракетных двигателях стоит задача более точного дозирования рабочего тела (капельной жидкости или газа).

Наряду с пропорциональными регуляторами, в последнее время, все более широкое применение находят цифровые системы на базе дискретных регуляторов [1].

Возможность алгоритмической замены отказавшего запорного клапана другим работоспособным с большим значением площади сечения (или эквивалентной комбинацией открытых клапанов), позволяет продолжать эксплуатацию клапана с ухудшенной дроссельной характеристикой в виде большей дискретности.


Основная идея цифрового регулятора расхода заключается в дискретизации потока за счёт отдельных клапанов, имеющих разные проходные сечения.

Реализация требуемой дискретности по площади проходного сечения регулятора обычно проводится путем использования функциональной зависимости. Используются числовые последовательности двоичного кода  $\{1,2,4,8,16...\}$  или последовательностью с более сложным построением. Например последовательность Фибоначчи:  $\{1, 1, 3, 5, 8, 13, 21, \dots\}$ . За счёт комбинации открытых и закрытых клапанов создаётся суммарное сечение с заданной точностью (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Формирование расхода дискретными клапанами регулятора

Клапан	1	2	3	4	Расход $\Sigma$
Расход	Q	2Q	4Q	8Q	0
Состояния					1
					2
					3
					4
					5
					6
					7
					8
					9
					10
					11
					12
					13
					14
					15

 - клапан открыт

 - клапан закрыт

Суммарное сечение регулятора будет тем точнее соответствовать требуемому расчётному, чем больше будет клапанов входящих в состав блока.

Расчетная схема исполнительного устройства дискретного регулятора давления газа с учетом присоединенных магистралей представлена на рисунке 1.

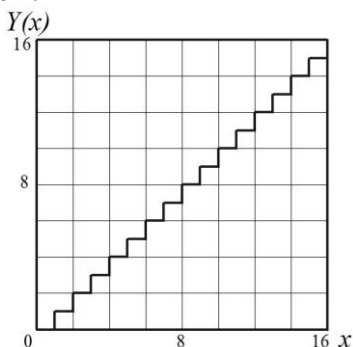


Рисунок 1 - Блока с четырьмя дискретными клапанами

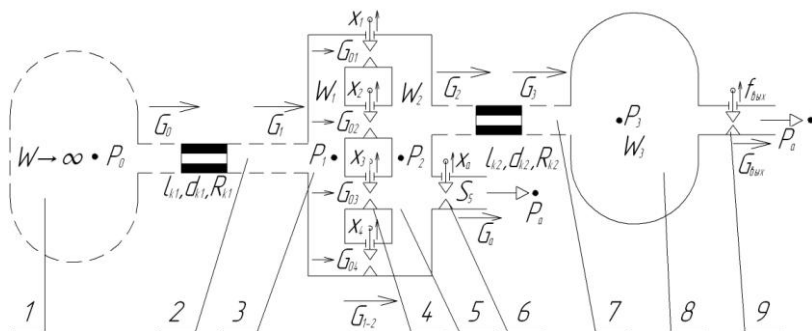


Рисунок 2 – Схема регулирования давления в баке с применением дискретного регулятора. 1 - источник давления, 2 – входная магистраль, 3 – входная полость регулятора, 4 – дискретные клапаны подачи газа, 5 – выходная полость регулятора, 6 – дискретный клапан сброса газа, 7 – выходная магистраль, 8 – объект регулирования (ёмкость), 9 – выходной дроссель

Газ высокого давления  $P_0$  от источника давления 1 по входному каналу 2 поступает в полость регулятора 3 с давлением  $P_1$ . Далее газ, разделяется перед клапанами с давлением  $P_1$  проходит через дискретные клапаны подачи газа 4, имеющие проходные сечения  $S_1, S_2, S_3, S_4$  и поступает в рабочую (выходную) полость 5, где формируется давление  $P_2$ . Из полости 5 газ поступает через выходной канал 7 в ёмкость 8 объёмом  $W_1$ , где создаётся давление  $P_3$ . Так же из рабочей полости 5 газ через дискретный клапан сброса газа 6, имеющего проходное сечение  $S_5$ , выходит в атмосферу с давлением  $P_a$ . Из ёмкости 8, газ через выходной дроссель 9 с площадью  $f_{ex}$  выходит в атмосферу. Заданному расходу газа через регулятор и требуемому значению давления в ёмкости  $P_3$  соответствует чётко определённая комбинация открытых дискретных клапанов. Управление дискретными клапанами 4 и 6 осуществляется программируемым логическим контроллером, входными параметрами для которого являются давления  $P_1$  и  $P_2$  в полостях перед и за регулятором, соответственно

При изменении расхода газа через регулятор, например, за счет увеличения выпуска газа через выходной дроссель 9, давление в ёмкости  $P_3$  будет уменьшаться. Вследствие чего происходит подача сигнала со стороны управляющей электроники на увеличение числа открытых клапанов 4, что даст большую суммарную площадь дросселирующего сечения между входной и выходной полостями 3 и 4, соответственно. Давление на выходе возрастает до заданного значения в пределах статической погрешности.

При уменьшении расхода газа или при уменьшении давления уставки ниже текущего, от регулятора требуется снижение давления в ёмкости  $P_3$ . В этом случае процесс регулирования давления на выходе из регулятора сводится к подаче сигнала на открытие дискретного клапана сброса газа 6 по заданному закону.

Основные зависимости, описывающие математическую модель регулятора:

Уравнение состояния газа в ёмкости

$$\frac{dP_3}{dt} = \frac{kR}{W_3} [T_3 G_3 - T_{\text{вых}} G_{\text{вых}}]$$

Уравнение расходов блока клапанов

$$G_{1-2} = \sum_{i=1}^4 G_i = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$$

## 2 Описание установки

В состав лабораторной установки входят:

- Объект управления - ёмкость объёмом 5 л;
- Входного и выходного коллекторов;
- Четырёх дискретных клапанов подачи и одного дискретного клапана сброса;
- Программируемого логического контроллера (ПЛК) с модулями ввода и вывода;
- Датчиков давления.

Пневматическая схема лабораторной установки приведена на рисунке 3.

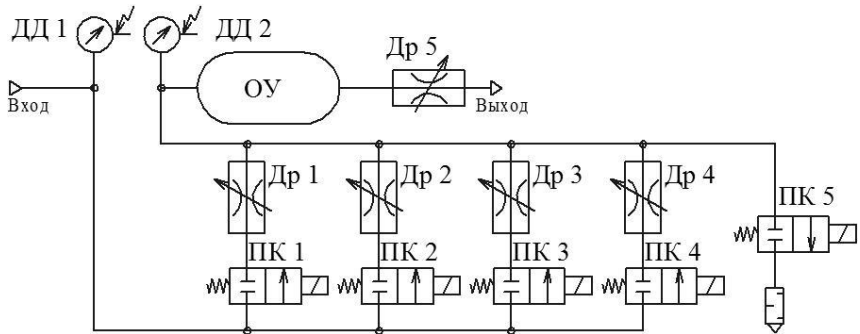


Рисунок 3 - Пневматическая схема лабораторной установки

ДД 1-2 - Датчики давления, ПК 1-4 Пневматические клапаны подачи газа, ПК 5 - Пневматический клапан сброса газа, Др 1-4 дроссели настройки проходных сечений линий, Др 5 - Выходной дроссель (возмущение), ОУ - объект управления

На рисунках 4,5 изображён общий вид лабораторной установки.



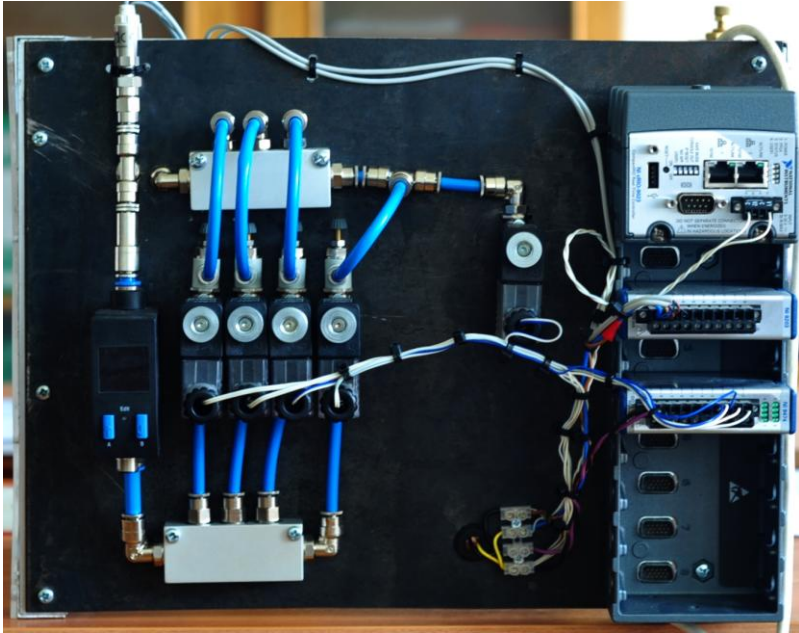


Рисунок 4 - Внешний вид лабораторной установки

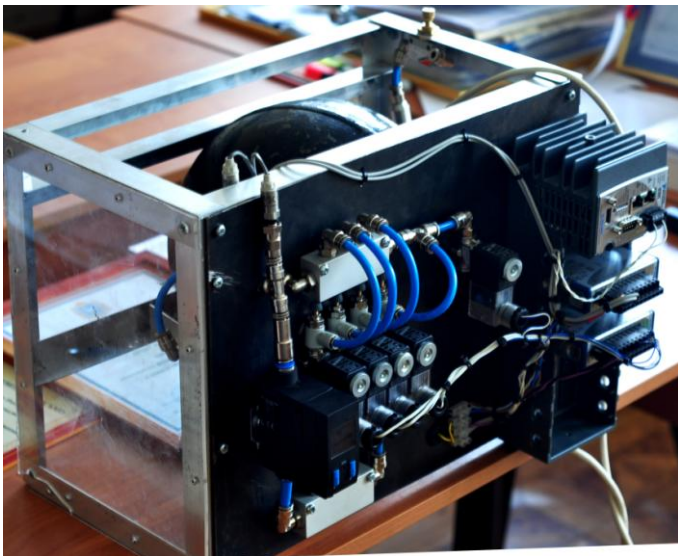


Рисунок 5 - Внешний вид лабораторной установки  
Программное обеспечение лабораторной установки выглядит в виде окна состоящего следующих областей:

1. графической, обновляемой в режиме реального времени,
2. коэффициентов настройки ПИД-регулятора,
3. ввода значения давления уставки,
4. вспомогательных выходных параметров
5. индикаторов состояний клапанов,
6. кнопки остановки программы

Во вкладке "SCADA" отображается SCADA-система, показывающая в режиме реального времени анимированную модель системы регулирования давления.

На рисунке 6 показан внешний вид программы управления лабораторной установкой.

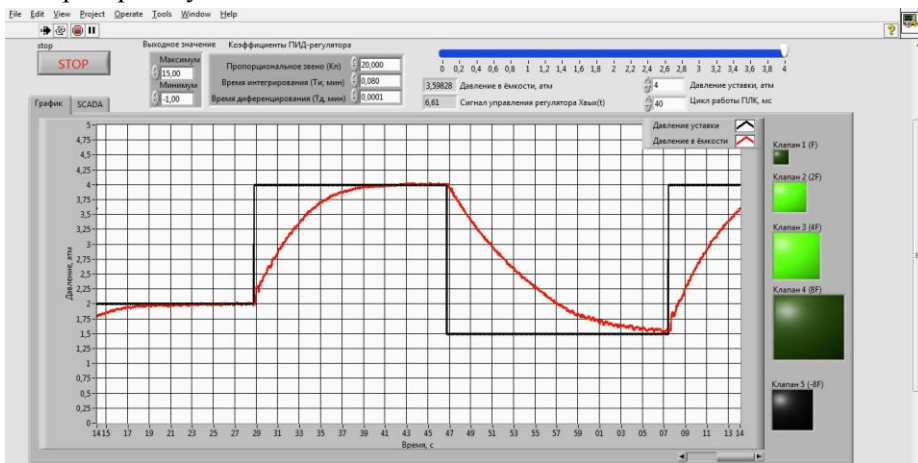


Рисунок 6 - Внешний вид программы управления лабораторной установкой

## 3 Задачи лабораторной работы

### 3.1 Настройка ПИД-регулятора

Перед тем как рассчитывать параметры регулятора, необходимо сформулировать цель и критерии качества регулирования, а также ограничения на величины и скорости изменения переменных в системе. Традиционно основные качественные показатели формулируются исходя из требований к форме реакции замкнутой системы на ступенчатое изменение уставки. Однако такой критерий очень ограничен. В частности, он ничего не говорит о величине ослабления шумов измерений или влияния внешних возмущений, может дать ошибочное представление о робастности системы. Поэтому для полного описания или тестирования системы с ПИД-регулятором нужен ряд дополнительных показателей качества, о которых речь пойдёт дальше.

В общем случае выбор показателей качества не может быть формализован полностью и должен осуществляться, исходя из смысла решаемой задачи.

**Качество регулирования.** Выбор критерия качества регулирования зависит от цели, для которой используется регулятор. Целью может быть:

1. поддержание постоянного значения параметра (например, температуры);
2. слежение за изменением уставки или программное управление;
3. управление демпфером в резервуаре с жидкостью и т.д.

Для той или иной задачи наиболее важным фактором может быть:

1. форма отклика на внешние возмущения (время установления,
2. перерегулирование, время отклика и др.);
3. форма отклика на шумы измерений;
4. форма отклика на сигнал уставки;

5. робастность по отношению к разбросу параметров объекта управления;
6. экономия энергии в управляемой системе;
7. минимизация шумов измерений.

### Критерии качества во временной области

Для оценки качества регулирования в замкнутой системе с ПИД-регулятором обычно используют ступенчатое входное воздействие и ряд критериев для описания формы переходного процесса (рис. 7):

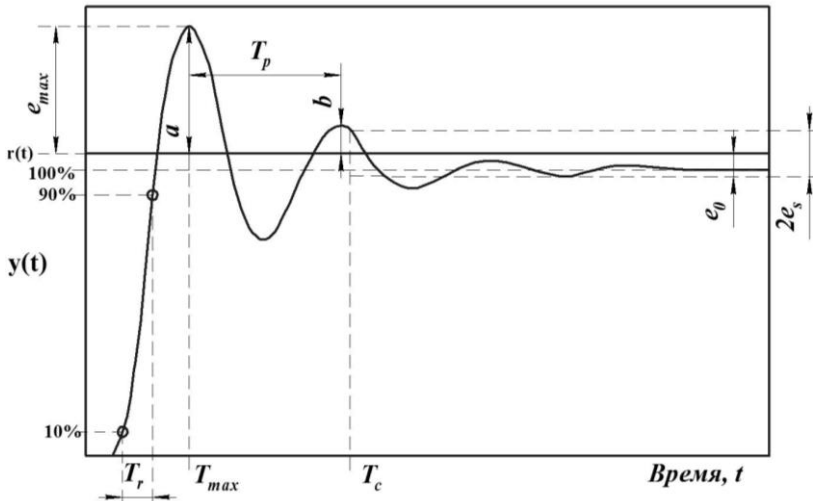


Рисунок. 7 - Критерии качества регулирования во временной области

- максимум ошибки регулирования

$$e_{\max} = \max_{0 < t < \infty} |e(t)|$$

момент времени  $T_{\max}$  при котором ошибка достигает этого максимума;

- интегрированная абсолютная ошибка

$$e_{IAE} = \int_0^{\infty} |e(t)| dt;$$

- интеграл от квадрата ошибки

$$e_{IAE} = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt;$$

- декремент затухания  $d$ (это отношение первого максимума ко второму, типовое значение  $d=4$  и более)

$$d = \frac{a}{b},$$

отметим, что в литературе встречаются и другие определения декремента затухания, в частности, как  $b/a$  или как коэффициент в показателе степени экспоненты, описывающей огибающую затухающих колебаний;

- статическая ошибка  $e_0$  (это постоянная ошибка в равновесном, то есть в установившемся, или статическом, режиме системы);

- время установления  $T_e$  с заданной погрешностью  $e_s$  (это время, по истечении которого погрешность регулирования не превышает заданного значения  $e_s$ ; обычно  $e_s = 1\%$ , реже  $2\%$  или  $5\%$  – соответственно время установления обозначают  $T_{0,01}$ ,  $T_{0,02}$ ,  $T_{0,05}$ );

- перерегулирование  $e_{\max}$  (это превышение первого выброса над установившимся значением переменной, обычно выражается в процентах от установившегося значения);

- время нарастания  $T_r$  (это интервал времени, в течение которого выходная переменная нарастает от 10 до 90% от своего установившегося значения);

- период затухающих колебаний  $T_{C1}$  (строго говоря, затухающие колебания не являются периодическими, поэтому здесь под периодом понимается расстояние между двумя соседними максимумами переходной характеристики).

Для систем управления движением в качестве тестового сигнала чаще используют не функцию скачка, а линейно нарастающий сигнал, поскольку электромеханические системы обычно имеют ограниченную скорость нарастания выходной величины.

Приведённые критерии используются для оценки качества реакции как на изменение уставки, так и на воздействие внешних возмущений и шумов измерений.

Для классического ПИД-регулятора параметры, которые являются наилучшими для слежения за уставкой, в общем случае отличаются от параметров, наилучших для ослабления влияния внешних возмущений. Для того чтобы оба параметра одновременно были оптимальными, необходимо использовать ПИД-регуляторы с двумя степенями свободы [1].

Точное слежение за изменением уставки необходимо в системах управления движением, в робототехнике; в системах управления технологическими процессами, где уставка обычно остаётся длительное время без изменений, требуется максимальное ослабление влияния нагрузки (внешних возмущений); в системах управления резервуарами с жидкостью требуется обеспечение ламинарности потока (минимизация дисперсии выходной переменной регулятора) и т.д.

**Настройка параметров регулятора по методу Зиглера и Никольса.** Зиглер и Никольс предложили два метода настройки ПИД-регуляторов [1]. Один из них основан на параметрах отклика объекта на единичный скачок, второй – на частотных характеристиках объекта управления. Для расчёта параметров ПИД-регулятора по первому методу Зиглера-Никольса используются всего два параметра:  $a$  и  $L$  (рисунок 8 и пояснения к нему в тексте). Формулы для расчёта коэффициентов ПИД-регулятора сведены в таблицу 2.

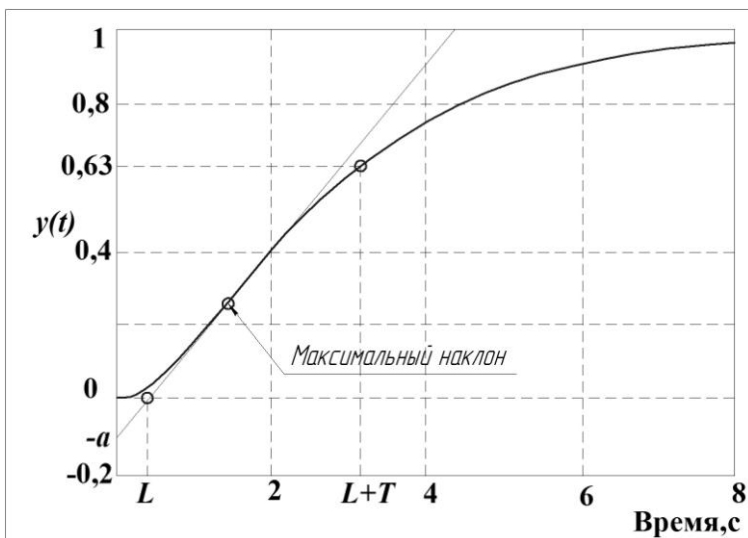


Рисунок 8 - Переходная характеристика объекта второго порядка

Таблица 2 - Формулы для расчёта коэффициентов регулятора по методу Зиглера-Никольса

Регулятор	Расчёт по отклику на скачок		
	$K$	$T_i$	$T_d$
п	$1/a$	—	—
пи	$0,9/a$	$3L/K$	—
пид	$1,2/a$	$0,9L/K$	$0,5L/K$

В качестве примера на рисунке 9 приведён отклик на единичный скачок системы с объектом второго порядка и ПИД-регулятором, настроенным по таблице 2, и переходная характеристика самого объекта управления.

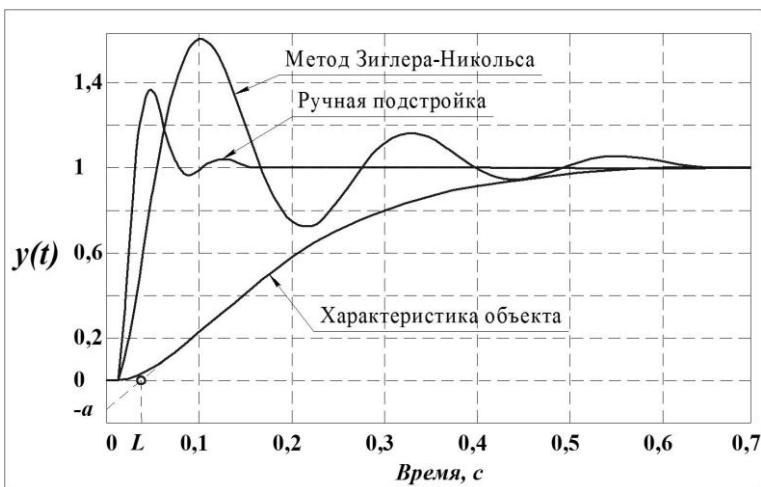


Рисунок 9 - Результат настройки ПИД-регулятора по методу Зиглера-Никольса для объекта второго порядка с задержкой  
 $T_1 = T_2 = 0,1$  с и  $L = 0,001$  с

Из характеристики объекта получены значения  $a = 0,135$  и  $L = 0,135$  с. По табл. 1 для этих значений  $a$  и  $L$  можно найти коэффициенты ПИД-регулятора:  $K = 8,9$ ,  $T_i = 0,00796$  с,  $T_d = 0,156$  с. На рис. 22 приведён также отклик на единичный скачок той же системы при параметрах  $K = 15$ ,  $T_i = 0,013$  с,  $T_d = 0,525$  с, полученных путём ручной подстройки. Как видим, метод Зиглера-Никольса даёт параметры, далёкие от оптимальных. Это объясняется не только упрощённостью самого метода (он использует только 2 параметра для описания объекта), но и тем, что параметры регулятора в этом методе определялись Зиглером и Никольсом, исходя из требования к декременту затухания, равному 4, что и даёт медленное затухание процесса колебаний.

Метод Зиглера-Никольса никак не учитывает требования к запасу устойчивости системы, что является вторым его недостатком. Судя по медленному затуханию переходного процесса в системе, этот метод даёт слишком малый запас устойчивости. Второй метод Зиглера-Никольса (частотный метод) в качестве исходных данных для расчёта использует частоту  $\omega_{180}$ , на которой сдвиг фаз в разомкнутом



контуре достигает  $180^\circ$ , и модуль коэффициента петлевого усиления на этой частоте  $K_{180}$ . Зная параметр  $\omega_{180}$ , сначала находят период собственных колебаний системы  $T_{180} = 2\pi/\omega_{180}$ , а затем по таблице 2 определяют параметры регулятора. Точность настройки регулятора и недостатки обоих методов Зиглера-Никольса одинаковы.

### 3.2 Исследование влияния времени дискретизации на работу цифровой САР

Если в системе автоматического регулирования рассогласование  $u(t) - xz(t)$  измеряется не непрерывно, а в течение конечных интервалов времени, следующих с некоторыми промежутками, то такие системы называются системами прерывистого регулирования или импульсными системами. Информация о величине рассогласования в таких системах передается с помощью импульсной модуляции (АИМ, ВИМ или ШИМ).

В импульсной системе выделяют импульсный элемент (ИЭ) и непрерывную часть (НЧ), как показано на рис. 10. Импульсный элемент осуществляет импульсную модуляцию, а все устройства аналоговой обработки процессов объединены в непрерывную часть. Рассмотрим системы с амплитудно-импульсной модуляцией.

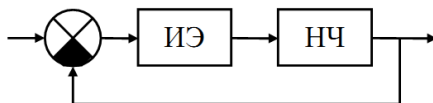


Рисунок 10 - Блок-схема импульсной системы с непрерывной обратной связью

Различают амплитудно-импульсные модуляции (АИМ) первого и второго рода (см. рисунок 11). При АИМ первого рода (АИМ-I) амплитуда импульса изменяется в течение длительности импульса по закону модулирующего сигнала. При АИМ второго рода (АИМ-II) амплитуда импульса постоянна и равна значению модулирующего сигнала в момент начала формирования импульса.

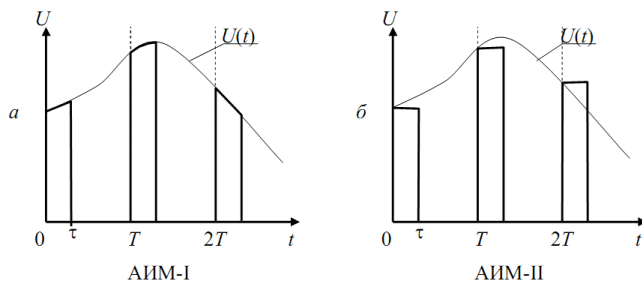


Рисунок 11 - Виды амплитудно-импульсной модуляции

Амплитудно-импульсный модулятор первого рода можно представить в виде ключа, периодически замыкающегося на время  $t$ . Системы авторегулирования с таким модулятором называют системами с конечным временем съема данных. За время импульса система работает как непрерывная, а в течение паузы она становится разомкнутой и регулирование происходит по законам экстраполяции, задаваемым передаточной функцией разомкнутой системы. В простейшем случае, когда непрерывная часть представляет собой интегратор, управляющее напряжение в течение паузы остается постоянным. Если помимо интегратора в непрерывную часть входят другие звенья, например инерционное, то в течение паузы напряжение будет изменяться, и это изменение может оказаться настолько большим, что система станет неустойчивой, хотя исходная непрерывная система устойчива.

Если же длительность импульса велика по сравнению с временем регулирования в непрерывной системе, то процесс регулирования растягивается, что может привести к автоколебаниям или неустойчивости. Длительность этого процесса будет тем больше, чем больше отношение  $T/t$ , где  $T$  – интервал дискретизации. Поэтому, для корректной работы регулятора необходимо, чтобы выполнялось условие  $T \leq t$ .

### 3.3 Исследование влияния высокочастотных помех с датчиков и помех оцифровки на работу ПИД-регулятора

Операции аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования являются нелинейными. В АЦП производится замена

процесса, который может принимать любые значения, процессом, принимающим конечное число значений, а в ЦАП производится округление числа, так как разрядность ЦУУ, как правило, больше разрядности ЦАП.

Преобразование непрерывной величины в квантованную с наименьшей ошибкой осуществляется в устройствах квантования с двумя типами характеристик. Первая характеристика (рисунок 11,а) имеет в окрестности нуля зону нечувствительности, а вторая (рисунок 11,б) – релейную характеристику. Для обеих характеристик отклонение квантуемого процесса от квантованного не превышает половины шага квантования  $h$ .

Характеристика стандартного АЦП приведена на рисунке 12,в. Для нее максимальное отклонение входного и выходного процессов равно шагуквантования. Стандартный АЦП описывается уравнением:  $V = hE\{U/h\}$ . Здесь  $E\{a\}$  означает целую часть числа  $a$ .

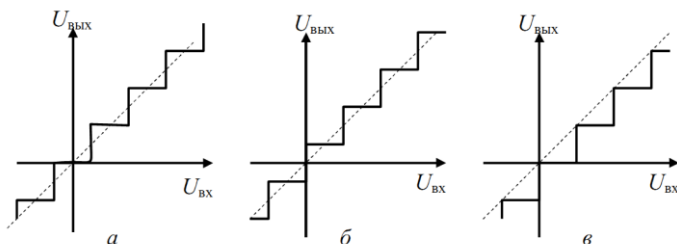


Рисунок 12 - Типы характеристик АЦП

Зона нечувствительности в характеристике квантователя приводит к появлению постоянной ошибки, а релейная зависимость – к появлению периодических колебаний в установившемся режиме. Величина этих ошибок не превышает половины шага квантования. Так же к появлению периодических ошибок приводят наводки и помехи в линии передачи сигнала с датчиков в регулятор. Наличие высокочастотных периодических ошибок приводит к появлению динамической ошибки регулирования. Однако эти шумы легко устраняются применением фильтров нижних частот, а также правильным экранированием и заземлением. Дифференциальный член

в ПИД-регуляторах всегда реализуется совместно с фильтром, иначе вместо производной на выходе дифференциатора получаются шумы.

**Заключение.** Запас устойчивости и робастность являются параметрами, о которых часто забывают, однако построение регулятора для ответственных применений невозможно без детального анализа этих параметров. При формулировании критериев настройки ПИД-регулятора необходимо принимать во внимание реакцию не только на изменение уставки, но и на внешние возмущения. Выбор критериев качества регулирования должен исходить из смысла решаемой задачи. Несмотря на давность разработки, множество недостатков и наличие большого количества новых методов настройки, по-прежнему наиболее популярным является метод Зиглера-Никольса. Однако часто он используется только для генерации начальных приближений параметров, которые затем уточняются методами оптимизации и с помощью нечётких правил. Дифференциальный член в ПИД-регуляторах всегда реализуется совместно с фильтром, иначе вместо производной на выходе дифференциатора получаются только шумы. Интегральное насыщение является одной из причин ухудшения качества переходного процесса, сильно отличающегося от расчёта по линейной модели регулятора.

Большая длительность преобразования АЦП по сравнению с временем регулирования в непрерывной системе может привести к автоколебаниям или неустойчивости. Поэтому, для корректной работы регулятора необходимо, чтобы выполнялось условие  $T \leq t$ .

## 4 Ход лабораторной работы

### 4.1 Настройка ПИД-регулятора

На данном этапе лабораторной работы необходимо рассчитать параметры ПИД-регулятора и ввести рассчитанные значения в поле значений коэффициентов окна программы управления регулятором давления в ёмкости.

Рассчитать коэффициенты согласно методу Зиглера-Никольса:

1. Подать ступенчатое воздействие методом изменения уставки с 0,5 до 2,5 атм. Для этого необходимо изначально вывести регулятор на установившийся режим 0,5 атм. Ступенчатое изменение уставки необходимо производить вводом числа с клавиатуры в числовом поле изменения уставки в первой вкладке программы управления.
2. После окончания процесса регулирования нажать кнопку «СТОП» и проанализировать по графику полученный переходный процесс.
3. Определить по переходному процессу величины  $L$  и  $a$ .
4. Вычислить по таблице 2 значения коэффициентов ПИД-регулятора, ввести полученные значения в поле ввода коэффициентов регулятора в первой вкладке программы управления. Повторить ступенчатое изменение уставки с 0,5 до 2,5 атм. Проанализировать изменения.
5. Осуществить ручную подстройку согласно рекомендациям раздела 3.1. Добиться улучшения качества переходного процесса.
6. Сохранить графики переходных процессов.

#### **4.2 Исследование влияния времени дискретизации на работу цифровой САР**

1. С помощью изменения времени дискретизации в окне управления параметром необходимо добиться неустойчивой и устойчивой работ регулятора давления газа.
2. Вычислить значение минимального необходимого времени дискретизации, ввести вычисленный параметр в программе управления, оценить качество регулирования.
3. Сохранить графики.

#### **4.3 Исследование влияния высокочастотных помех с датчиков и помех оцифровки на работу ПИД-регулятора**

С помощью включения в цепь регулирования в программе управления лабораторной установкой оценить качество регулирования давления в ёмкости

1. В окне программы управления нажать на тумблер включения цифрового фильтра.
2. Сохранить графики.
3. Сравнить графики переходных процессов без фильтра и с фильтром.

### **5 Содержание отчёта**

Отчёт по лабораторной работе должен содержать графики переходных процессов, с подписями показателей качества регулирования во временной области (перерегулирование, статическая ошибка, время нарастания, время регулирования). Данные о расчёте коэффициентов ПИД-регулятора к первому заданию, расчёт частоты работы контроллера второго задания, графики переходных процессов до настроек и применения фильтрации, а так же графики переходных процессов после настроек.

## Библиографический список

1. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. 1942. Vol. 64. P. 759-768.
2. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М. : Наука, 1987. – 712 с.
3. Савин, М.М. Теория автоматического управления [Текст] : Учебное пособие / М.М. Савин, В. С. Елсуков, О.Н. Пятина; под ред. В.И. Лачина. Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 469 с.
4. Гимадиев А.Г., Конев А.Г., Прокофьев А.Б. Динамические характеристики систем автоматического регулирования. – Самара: СГАУ, 2002.- 58с.
5. Гимадиев А.Г., Шахматов Е.В., Шорин В.П. Системы автоматического регулирования авиационных ГТД. – Куйбышев: КуАИ. 1990.-122с.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ  
И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САР ДАВЛЕНИЯ В  
ПНЕВМОСИСТЕМЕ С ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ**

*Методические указания*

Составители: ***Крючков Александр Николаевич,  
Илюхин Владимир Николаевич,  
Ермилов Михаил Анатольевич,  
Грешняков Павел Иванович***

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---





