

# **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКЕ**

Тамбов

◆ Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» ◆

2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

# **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКЕ**

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 12.03.04  
и магистрантов 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»,  
всех форм обучения

*Учебное электронное издание*



---

---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2024

УДК 681.3  
ББК 3стд2-051.1  
П75

Рекомендовано Методическим советом университета

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор, директор Института энергетики,  
приборостроения и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*Т. И. Чернышова*

П75        **Применение** позиционных систем управления в медицинской технике : методические указания / сост. А. А. Коробов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 1,6 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведена лабораторная работа по курсу «Управление техническими системами». Изложены методические указания, последовательность выполнения работы и обработки результатов, бланки и формы для представления отчетов.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 12.03.04 и магистрантов 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии», всех форм обучения.

УДК 681.3  
ББК 3стд2-051.1

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический  
университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2024

## **ВВЕДЕНИЕ**

Обладая низкой стоимостью, простотой применения и высокой надежностью, *позиционные системы* широко распространены в технических системах для решения задач автоматического управления. Тем не менее, позиционные системы имеют серьезный недостаток, возникающий вследствие работы этого типа управления – постоянные колебания регулируемой переменной, которые существенно сокращают сферы, где могут использоваться позиционные регуляторы.

*Усовершенствованные способы позиционного управления* призваны решить этот недостаток, а также повысить эффективность регулирования. Системы, основанные на усовершенствованных способах позиционного управления, на сегодняшний день применяются в диагностике, терапии, а также для регулирования параметров в чистых стерильных помещениях.

### **СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В МЕДИЦИНСКОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Медицинская техника – одна из важнейших сфер применения систем позиционного регулирования. Регулирующий орган в таких системах может находиться в одной из нескольких зафиксированных позициях, а сигнал управления имеет одно из значений – «0» или «1». В зависимости от числа этих позиций, на сегодняшний день выделяют следующие системы: двухпозиционные, трехпозиционные, многопозиционные [1, 2].

Принцип работы двухпозиционного регулятора основан на сравнении двух значений управляемой величины – заданного и текущего, и при условии, когда значение управляемой величины превосходит задание (пороговое значение), происходит смена значения выходной величины на противоположное значение.

В силу простоты эксплуатации, невысоких требований к настройке, но, в то же время, с обеспечением высокого качества управления, двухпозиционные системы нашли широкое применение в медицинской технике – в том

числе при регулировании инерционными объектами. Отличным примером работы двухпозиционных систем для задач медицинской техники являются системы настройки суховоздушных стерилизаторов [3], которые применяются для воздушной стерилизации объектов медицинского и хирургического назначения, а также инструментов. Помимо этого, двухпозиционные системы применяют в термостатах (модель ТСО-1/80 СПУ), которые являются элементами управления микроклимата – систем, имитирующих параметры среды (температура, влажность). В подобных системах, обеспечивающих регулирование температуры до требуемого значения, микроконтроллер опрашивает находящийся внутри камеры датчик температуры и включает исполнительный механизм, обеспечивающий охлаждение или нагрев, в зависимости от уровня сопротивления датчика температуры.

Неонатальные инкубаторы (кувезы) – важная сфера применения систем позиционного регулирования [4]. Параметры микроклимата, постоянство которых поддерживается в инкубаторе – температура, влажность и уровень кислорода. Алгоритм регулирования параметрами аналогичен принципу, реализованному в термостатах. Уровень кислорода в кувезе управляется с помощью электромагнитного клапана, который, получая информацию от датчика кислорода об уровне достижения необходимой концентрации, открывает или закрывает кислородную магистраль. Влажность в кувезе регулируется с помощью испарения воды в резервуаре. При снижении уровня влажности вентилятор включается, тем самым направляя поток воздуха через нагревательный элемент к резервуару с водой.

Аппараты ЭКМО (экстракорпоральной мембранной оксигенации) применяют для поддержания заданного уровня кислорода за счет изменения давления в контуре ИК (искусственного кровообращения) [4]. Здесь позиционное регулирование применяется для управления цифрового регулятора оборотов, которое управляет насосом, регулирующим поддержание заданного значения давления. Помимо этого, позиционные системы применяют для управления потоками и давлениями медицинских газов в НДА (наркозно-дыхательных аппаратах).

Лабораторное оборудование, предназначенное для охлаждения отсеков с реагентами, также имеет в своей основе позиционные системы управления [5]. Помимо вентилятора и радиатора, стандартная система охлаждения подобного оборудования включает в себя полупроводниковый охлаждающий модуль элемента Пельтье, управление которым происходит с помощью отдельной платы. Управление температуры реагентов варьируется от 6 до 10 °С.

Несмотря на широкое внедрение в медицинское оборудование систем и алгоритмов, реализующих позиционное регулирование, они обладают рядом недостатков и нерешенных проблем – высокая амплитуда колебаний выходных регулируемых параметров и отсутствие обеспечения необходимой точности управления. Для решения этих недостатков применяют методы, позволяющие усовершенствовать качество процесса управления в двухпозиционных системах.

## **Лабораторная работа**

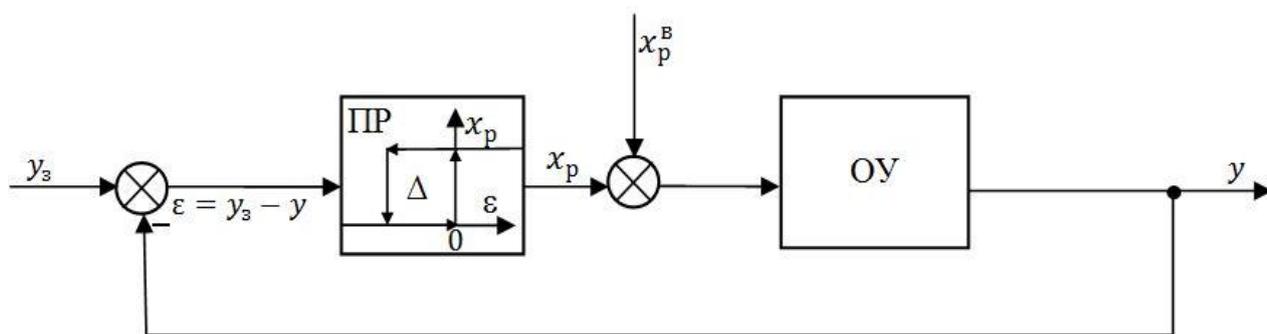
### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*Цель работы:* исследовать структурные схемы методов регулирования, на основе имитационного моделирования изучить достоинства и недостатки каждого метода. По набору критериев провести оценку качества регулирования с точки зрения оценки эффективности, провести сравнительный анализ рассмотренных систем двухпозиционного регулирования.

*Приборы и материалы:* персональный компьютер; программная среда Matlab (Simulink).

### **Методические указания**

Будем рассматривать самый распространенный, обобщенный и наиболее простой случай *двухпозиционного регулирования*, который реализован за счет выключателя с двумя позициями – минимального и максимального [5].



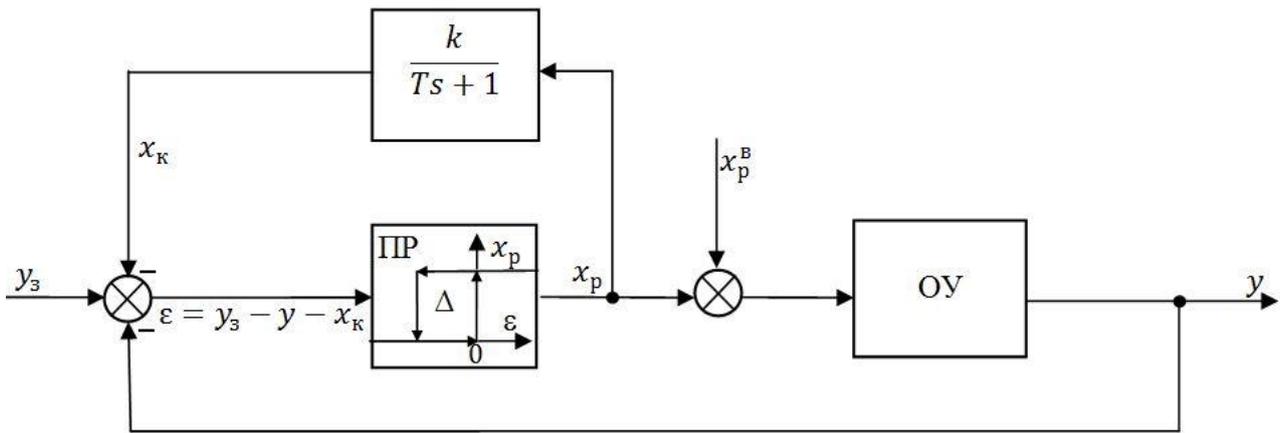
**Рис. 1. Структурная схема двухпозиционной системы управления:**

ПР – двухпозиционный регулятор; ОУ – объект управления;  $\varepsilon$  – ошибка регулирования;  $y_з$  – задание;  $y$  – выходной параметр;  $x_p^в$  – возмущение;  $x_p$  – регулирующее воздействие;  $\Delta$  – зона возврата реле

Схемы, реализованные подобным образом, имеют преимущества – простота аппаратной реализации, удобство в применении, низкая стоимость, и недостатки – высокое значение амплитуды колебаний управляемого параметра (рис. 1).

Стандартное двухпозиционное регулирование обладает недостатками, которые возможно устранить с помощью ряда решений, приводящих к его усовершенствованию. На сегодняшний момент разработаны следующие усовершенствованные методы – двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной, двухпозиционное статическое регулирование, усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование.

Система двухпозиционно-статического регулирования отличается наличием корректирующего элемента, реализованного через апериодическое звено первого порядка. Подобное решение позволяет снизить амплитуду колебаний за счет увеличения коэффициента обратной связи, но приводит к увеличению числа включений реле [5]. На рисунке 2 приведено схемное решение двухпозиционно-статического регулирования. Отметим, что двухпозиционно-статическое регулирование не дает возможности избавиться от статической ошибки регулирования.



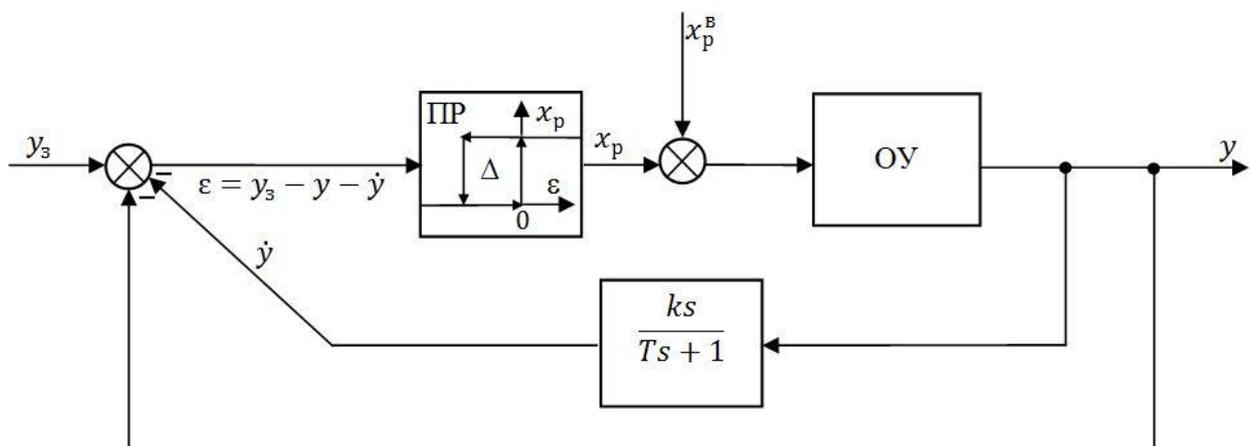
**Рис. 2. Структурная схема двухпозиционно-статического регулирования:**

$T$  и  $k$  – параметры корректирующего устройства;  $x_k$  – корректирующий сигнал

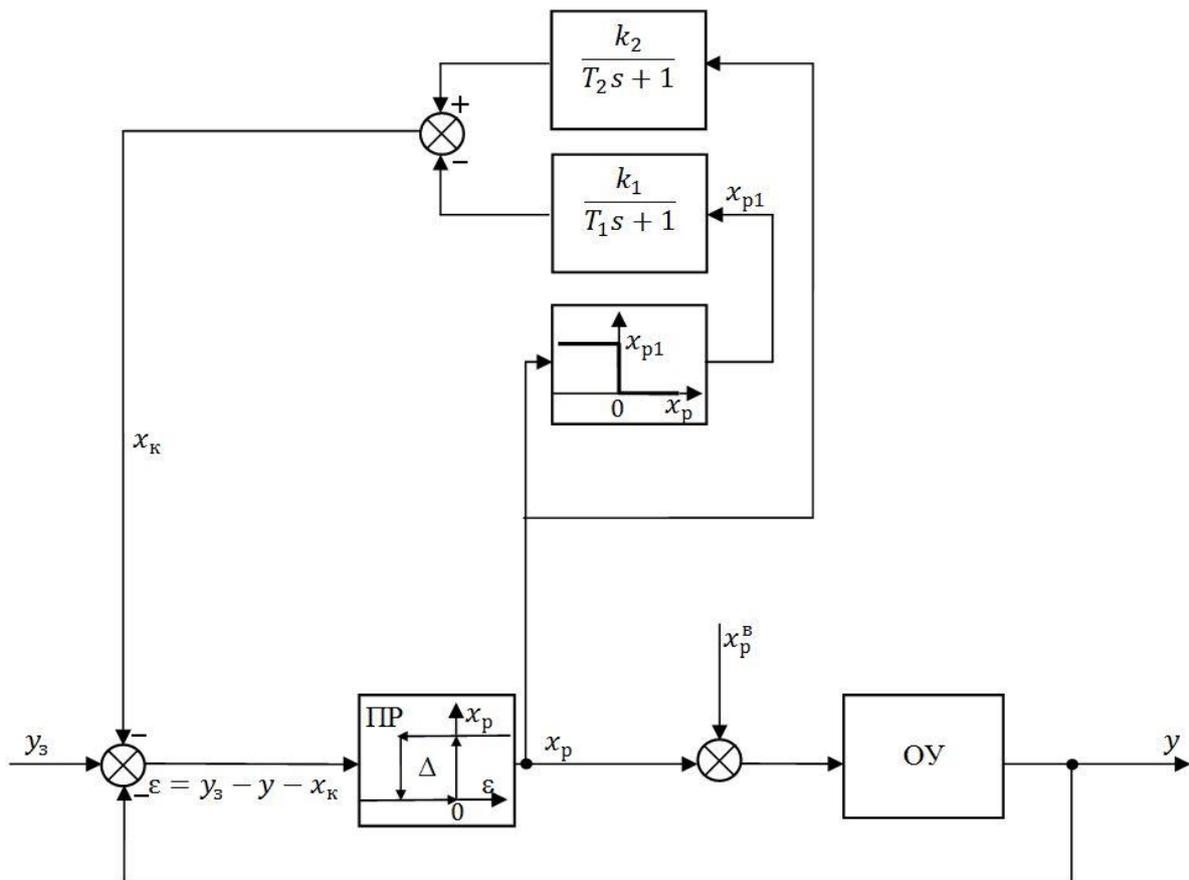
Отличием метода двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной является наличие элемента сравнения, на который поступает значение выходного параметра и его производной (рис. 3).

При исследовании метода отмечено низкое значение числа включений регулирующего органа, небольшое значение амплитуды колебаний и ее симметричность относительно задания.

Метод усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования получают путем дополнения к двухпозиционно-статическому регулированию (рис. 2) звена обратной связи. Структурная схема приведена на рис. 4.



**Рис. 3. Структурная схема двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной**



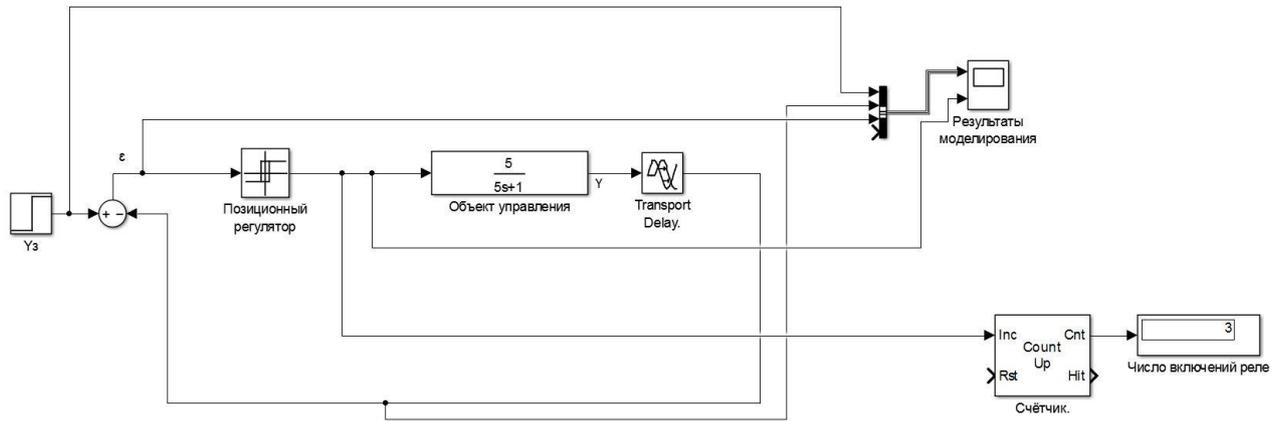
**Рис. 4. Структурная схема усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования**

Этот метод характеризуется отсутствием статической ошибки, пониженным значением амплитуды колебаний с повышением числа включений реле, а также симметричностью заданного значения относительно колебаниям управляемой величины.

### **Порядок выполнения работы**

На основе имитационного моделирования проводится сравнительный анализ рассмотренных систем двухпозиционного регулирования с точки зрения оценки эффективности.

Моделирование методов для усовершенствования качества процесса регулирования в двухпозиционных системах выполняется в программной среде Matlab (Simulink).



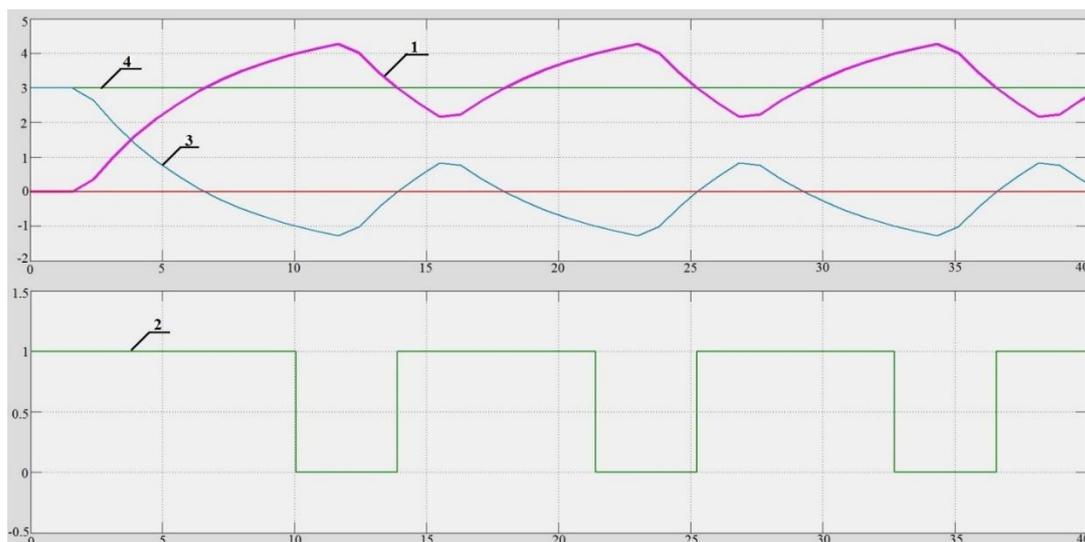
**Рис. 5. Программная реализация модели стандартного двухпозиционного регулирования**

В качестве примера объекта управления приведена система первого порядка с передаточной функцией следующего вида:

$$W(s) = \frac{5}{5s + 1} \cdot e^{-2s} .$$

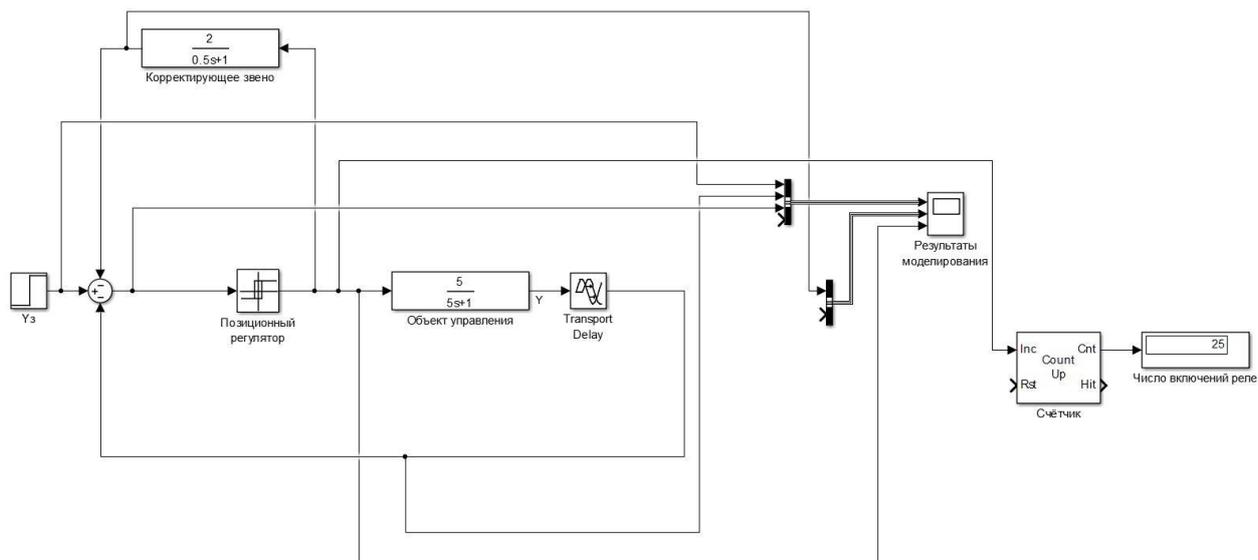
На рисунке 5 приведена схема обычного двухпозиционного регулирования (рис. 1).

В результате программной реализации схемы стандартного двухпозиционного регулирования подтверждается, что переходные процессы характеризуются высокой амплитудой колебаний, но низким числом включения реле (рис. 6).



**Рис. 6. Результаты моделирования стандартного двухпозиционного регулирования:**

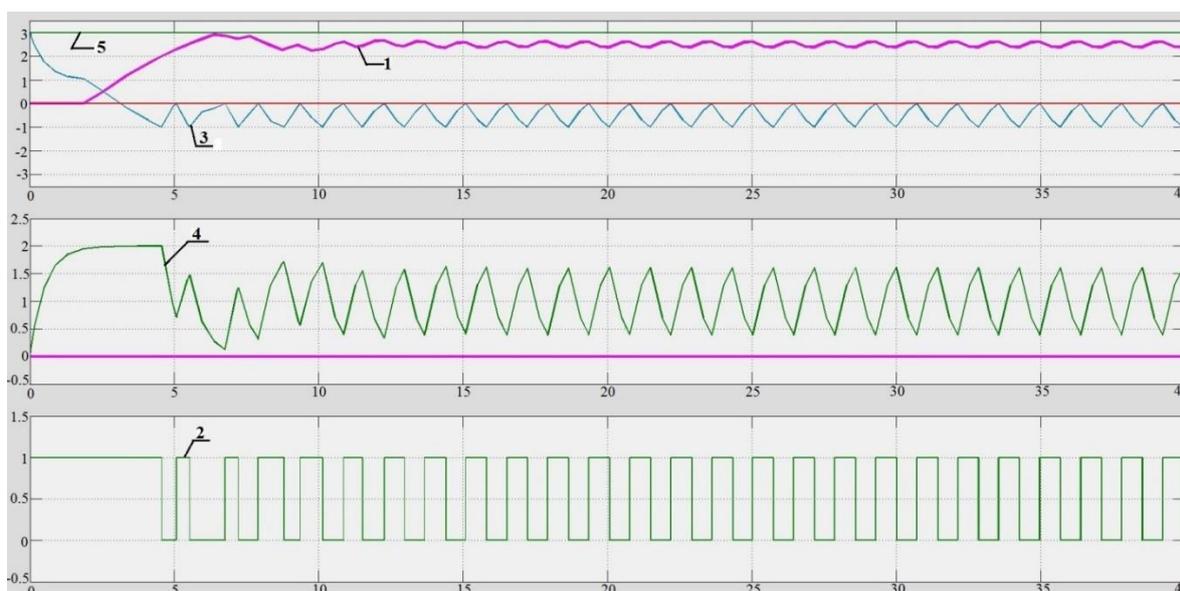
1 – выход объекта  $y$ ; 2 – выход регулятора  $x_p$ ; 3 – рассогласование  $\epsilon$ ; 4 – задание  $u_3$



**Рис. 7. Программная реализация модели двухпозиционно-статического регулирования**

На рисунке 7 приведена схема двухпозиционно-статического регулирования (рис. 2).

На рисунке 8 изображены результаты процесса регулирования, реализованного на структурной схеме двухпозиционно-статического регулирования.



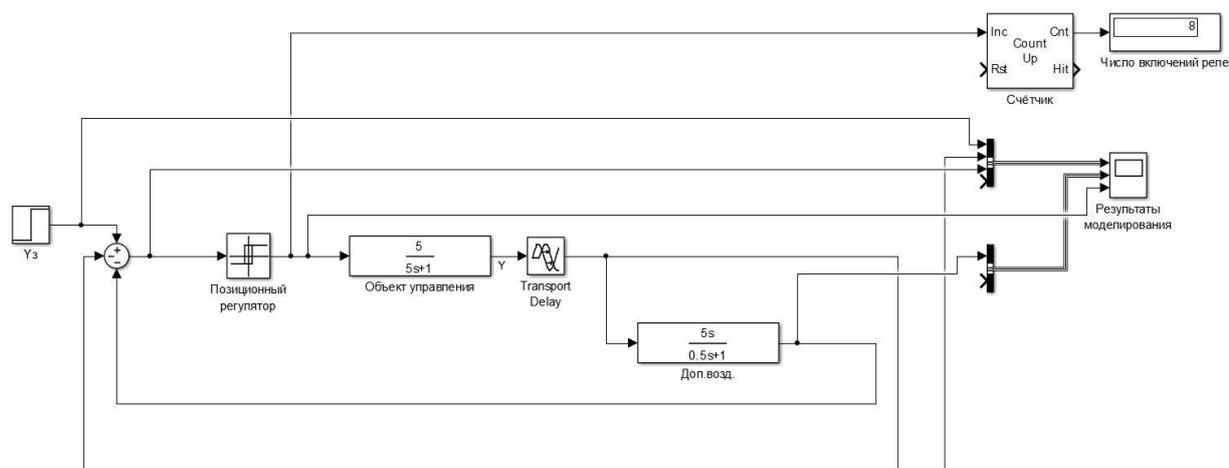
**Рис. 8. Результаты моделирования двухпозиционно-статического регулирования:**

- 1 – выход объекта  $y$ ; 2 – выход регулятора  $x_p$ ; 3 – рассогласование  $e$ ;
- 4 – сигнал корректирующего устройства  $x_k$ ; 5 – задание  $u_z$

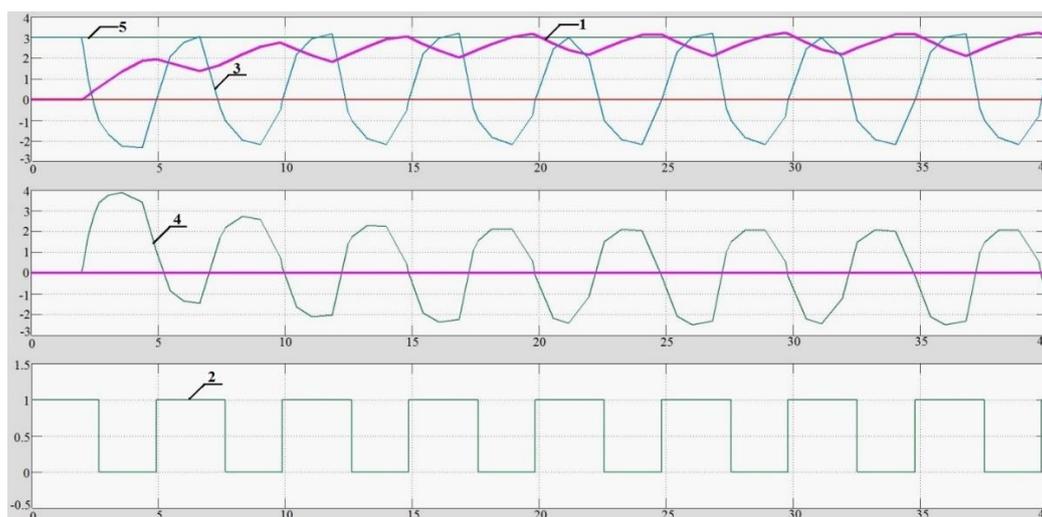
Рисунок 8 демонстрирует, что реализованный за счет двухпозиционно-статической системы управления процесс регулирования охарактеризован наличием статической ошибки, высоким числом включения реле, но низким значением амплитуды колебаний управляемой величины.

На рисунке 9 представлена программная реализация двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной.

Результаты процесса управления, основанные на методе двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной, показаны на рис. 10.



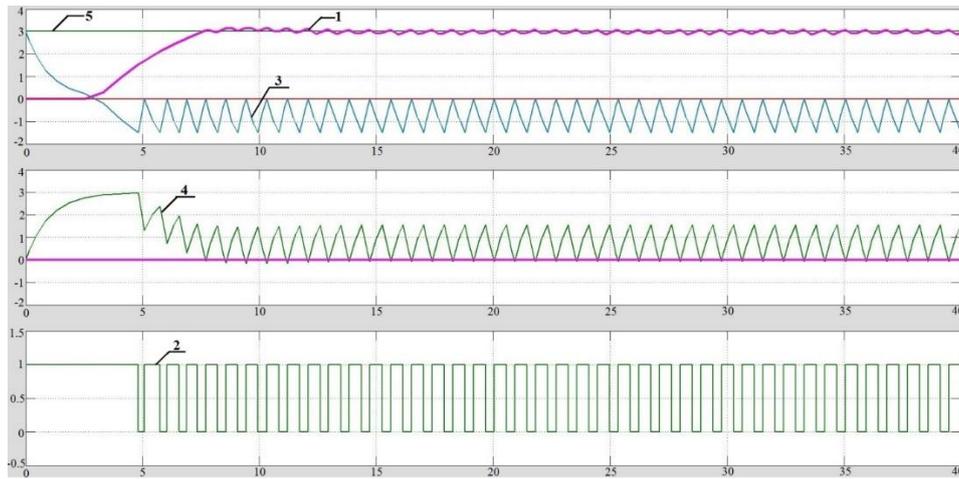
**Рис. 9. Программная реализация модели двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной**



**Рис. 10. Результаты моделирования двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной:**

1 – выход объекта  $y$ ; 2 – выход регулятора  $x_p$ ; 3 – рассогласование  $\epsilon$ ;  
4 – сигнал корректирующего устройства  $u$ ; 5 – задание  $y_z$





**Рис. 12. Результаты моделирования усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования:**

1 – выход объекта  $y$ ; 2 – выход регулятора  $x_p$ ; 3 – рассогласование  $e$ ;  
4 – сигнал корректирующего устройства  $x_k$ ; 5 – задание  $u_3$

В таблице приведены варианты выполнения работы по передаточным функциям объектов управления:

Вариант	Передаточная функция	Вариант	Передаточная функция
1	$W(s) = \frac{3}{3s + 1} e^{-s}$	11	$W(s) = \frac{3}{s^2 + 2s + 1}$
2	$W(s) = \frac{4}{(s + 1)(3s + 1)}$	12	$W(s) = \frac{2}{4s^2 + 1}$
3	$W(s) = \frac{4}{2s^2 + 4s + 1}$	13	$W(s) = \frac{12}{s + 1} e^{-2s}$
4	$W(s) = \frac{1}{s^2 + 1}$	14	$W(s) = \frac{3}{3s + 1}$
5	$W(s) = \frac{4}{s + 1} e^{-s}$	15	$W(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$
6	$W(s) = \frac{5}{(2s + 1)(s + 1)}$	16	$W(s) = \frac{2}{4s^2 + 0,5s + 1}$
7	$W(s) = \frac{1}{3s^2 + 1s + 1}$	17	$W(s) = \frac{8}{7s + 1} e^{-3s}$
8	$W(s) = \frac{5}{(0,5s + 1)(4s + 1)}$	18	$W(s) = \frac{2}{6s + 1}$
9	$W(s) = \frac{7}{3s + 1} e^{-2s}$	19	$(s) = \frac{5}{2s^2 + 0,5s + 1}$
10	$W(s) = \frac{3}{(3s + 1)(2s + 1)}$	20	$W(s) = \frac{4}{4s + 1} e^{-2s}$

## Обработка экспериментальных данных

В таблице для примера приведена оценка качества всех систем двухпозиционного регулирования.

В результате имитационного моделирования и сравнительного анализа методов регулирования на примере передаточной функции делается вывод, что усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование имеет серьезное преимущество – отсутствие статической ошибки и минимальным отклонением от заданной величины. Вместе с этим существует недостаток в виде снижения надежности системы – это вызвано увеличением числа включений реле.

### Оценка качества регулирования

Критерий регулирования. Метод оценки	Максимальное отклонение от задания в установившемся режиме	Средняя амплитуда колебаний	Статическая ошибка	Общее количество включений реле
Стандартное двухпозиционное регулирование	1,2742	1,3514	0	3
Двухпозиционно-статическое регулирование	0,6105	0,6571	0,5	25
Двухпозиционное регулирование с воздействием по первой производной	0,2442	1,0601	0	8
Усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование	0,1706	0,5030	0	40

В результате выполнения работы строится таблица для оценки качества регулирования по выбранному варианту.

Критерий регулирования. Метод оценки	Максимальное отклонение от задания в установившемся режиме	Средняя амплитуда колебаний	Статическая ошибка	Общее количество включений реле
Стандартное двухпозиционное регулирование	1,2742	1,3514	0	3
Двухпозиционно-статическое регулирование	0,6105	0,6571	0,5	25
Двухпозиционное регулирование с воздействием по первой производной	0,2442	1,0601	0	8
Усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование	0,1706	0,5030	0	40

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «двухпозиционное регулирование».
2. В каких видах медицинской техники применяется двухпозиционное регулирование?
3. Какие критерии входят в оценку качества регулирования?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кампе-Немм, А. А.** Автоматическое двухпозиционное регулирование / А. А. Кампе-Немм. – М. : Наука, 1967. – 160 с.
2. **Клюев, А. С.** Двухпозиционные автоматические регуляторы и их настройка / А. С. Клюев. – М. : Энергия, 1967. – 104 с.
3. **Фролов, С. В.** Приборы, системы и комплексы медико-биологического назначения : учебное пособие / С. В. Фролов, Т. А. Фролова. – Ч. 2. – Тамбов : Изд-во «ТГТУ», 2014. – 95 с.
4. **Leonhardt, S.** Medizintechnische Systeme: Physiologische Grundlagen, Gerätetechnik und automatisierte Therapieführung / S. Leonhardt, M. Walter. – 10.1007/978-3-642-41239-4, 2016. – 459 p.
5. **Использование** эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники. Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе / С. В. Фролов, К. С. Савинова, А. Ю. Куликов, И. А. Суконкин. – 2022. – № 2(42). – С. 50 – 62.

Учебное электронное издание

# ПРИМЕНЕНИЕ ПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКЕ

Методические указания

Составитель

КОРОБОВ Артём Андреевич

Редактирование И. В. Калистратовой  
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова  
Обложка, упаковка, тиражирование И. В. Калистратовой

Подписано к использованию 07.02.2024.

Тираж 50 шт. Заказ № 14

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.  
Тел./факс (4752) 63-81-08.  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru