

Раздел 2 МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

Section 2 MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

УДК 62-551.3
doi:10.21685/2227-8486-2022-2-4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

**С. В. Фролов¹, К. С. Савинова²,
А. Ю. Куликов³, И. А. Суконкин⁴**

^{1, 2, 3, 4} Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

¹sergej.frolov@gmail.com, ²savinova.k94@mail.ru,

³andrew20062@mail.ru, ⁴ilej@rambler.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается применение позиционного регулирования в медицинской технике. Показано, что методы позиционного регулирования используются в системах управления суховоздушных стерилизаторов, для обработки медицинских инструментов, в инкубаторах для недоношенных новорожденных, в системах поддержания заданной концентрации кислорода в аппаратах экстракорпоральной мембранной оксигенации, в биохимических анализаторах, в наркозно-дыхательных аппаратах. *Материалы и методы.* В работе проведен сравнительный анализ различных систем двухпозиционного регулирования. На основе имитационных исследований выявлены эффективные варианты усовершенствованных систем. Несмотря на свои неоспоримые достоинства (низкая стоимость, удобство использования, простота аппаратной реализации), двухпозиционное регулирование имеет существенный недостаток – значительная амплитуда колебаний управляемой величины относительно задания. Для устранения этого недостатка были предложены усовершенствованные методы двухпозиционного регулирования (двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной, двухпозиционно-статическое регулирование и усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование). *Результаты.* В результате имитационного моделирования было доказано, что использование усовершенствованных методов двухпозиционного регулирования улучшает качество управления при простоте реализации. Анализ результатов имитационного моделирования различных методов регулирования пока-

© Фролов С. В., Савинова К. С., Куликов А. Ю., Суконкин И. А., 2022. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

зал, что усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование отличается существенными преимуществами – минимальным отклонением от заданной величины, а также отсутствием статической ошибки. При этом наблюдается недостаток в виде увеличения числа включений реле, что снижает его надежность. *Выводы.* Проведенные исследования позволяют сформулировать рекомендации для создания систем позиционного регулирования в медицинской технике.

Ключевые слова: двухпозиционное регулирование, имитационное моделирование, суховоздушные стерилизаторы, инкубаторы для новорожденных, наркозно-дыхательная аппаратура, аппараты экстракорпоральной мембранной оксигенации, биохимические анализаторы

Для цитирования: Фролов С. В., Савинова К. С., Куликов А. Ю., Суконкин И. А. Использование эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 2. С. 50–62. doi:10.21685/2227-8486-2022-2-4

THE USE OF EFFECTIVE ON-OFF CONTROL SYSTEMS FOR MEDICAL EQUIPMENT TASKS

S.V. Frolov¹, K.S. Savinova², A.Yu. Kulikov³, I.A. Sukonkin⁴

^{1, 2, 3, 4} Tambov State Technical University, Tambov, Russia

¹sergej.frolov@gmail.com, ²savinova.k94@mail.ru,

³andrew20062@mail.ru, ⁴ilej@rambler.ru

Abstract. *Background.* The paper considers the use of positional control in medical technology. It is shown that positional control methods are used in control systems of dry-air sterilizers, for processing medical instruments, in incubators for premature newborns, in systems for maintaining a given oxygen concentration in extracorporeal membrane oxygenation devices, in biochemical analyzers, in anesthesia and respiratory apparatus. *Materials and methods.* The paper presents a comparative analysis of various on-off control systems. On the basis of simulation studies, effective options for improved systems have been identified. Despite its undeniable advantages (low cost, ease of use, simplicity of hardware implementation), on-off control has a huge drawback – a significant amplitude of fluctuations of the controlled quantity relative to the task. To eliminate this disadvantage, improved methods of two-position regulation were proposed (two-position regulation with additional impact on the first derivative, two-position static regulation and improved two-position static regulation). *Results.* As a result of simulation modeling, it was proved that the use of advanced methods of on-off control improves the quality of control with ease of implementation. The analysis of the results of simulation modeling of various control methods showed that the improved on-off-static control has significant advantages – a minimum deviation from the set value, as well as the absence of a static error. At the same time, there is a disadvantage in the form of an increase in the number of relay activations, which reduces its reliability. *Conclusions.* The conducted studies allow us to formulate recommendations for the creation of positional control systems in medical technology.

Keywords: on-off control systems, simulation modeling, dry-air sterilizers, neonatal incubator, anesthetic-respiratory apparatus, extracorporeal membrane oxygenation devices, biochemical analyzers

For citation: Frolov S.V., Savinova K.S., Kulikov A.Yu., Sukonkin I.A. The use of effective on-off control systems for medical equipment tasks. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2022;(2):50–62. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-2-4

Введение

Позиционные системы широко распространены при автоматическом регулировании в технике ввиду их надежности, невысокой стоимости, а также простоты работы.

Несмотря на свои достоинства, позиционные системы имеют существенный недостаток – регулируемая переменная характеризуется постоянными колебаниями, являющимися следствием работы этого вида управления. Эта особенность ограничивает область применения позиционных регуляторов.

Для повышения качества регулирования используются усовершенствованные способы позиционного управления.

Для задач медицинской техники наибольший интерес представляют позиционные системы регулирования, применяемые в диагностическом и терапевтическом оборудовании, аппаратном обеспечении чистых стерильных помещений.

Применение позиционного регулирования в медицинской технике

Среди нелинейных законов управления наибольшее применение в медицинской технике получили системы, основанные на позиционном регулировании [1, 2]. В позиционных системах регулирующий орган перемещается в одну из нескольких фиксированных позиций или сигнал управления имеет значения «0» или «1». Согласно количеству позицией органа управления, выделяют двухпозиционные, трехпозиционные и многопозиционные системы [3, 4].

Двухпозиционный регулятор сравнивает текущее значение управляемой величины с заданным значением и меняет состояние выходной величины системы на противоположное, если текущее значение управляемой величины пересекает заданное пороговое значение – задание. Двухпозиционное регулирование является наиболее распространенным методом управления в медицинской технике в силу низких требований к настройке, простоте эксплуатации и обеспечения хорошего качества регулирования для инерционных объектов.

Примером использования двухпозиционного регулятора являются системы настройки суховоздушных стерилизаторов (например, ГП-80-Ох-"ПЗ") [5], предназначенные для воздушной стерилизации инструментов и объектов хирургического и медицинского назначения, а также термостатов (например, ТСО-1/80 СПУ), установленных в системах микроклимата для камер, имитирующих параметры среды, например, температуру и влажность.

При изменении температуры до уровня заданного значения микроконтроллер производит опрос датчика температуры, находящегося внутри камеры, и, в зависимости от величины его сопротивления, подключает исполнительный механизм на нагрев или охлаждение.

Позиционное регулирование применяется в инкубаторах для недоношенных новорожденных [6–8]. Алгоритм поддержки температуры в них аналогичен принципу работы термостата. Помимо температуры, инкубаторы поддерживают заданный уровень влажности и содержания температуры. Управление уровнем влажности осуществляется за счет дистиллированной воды, находящейся в специальном резервуаре, и вентилятора, включающегося при снижении влажности и направляющего часть потока от нагревательного элемента на поверхность воды. Концентрация кислорода в инкубаторе поддерживается электромагнитным клапаном, открывающим кислородную

магистраль по сигналу от датчика кислорода (кислородная ячейка) и закрывающим поток кислорода при достижении заданной концентрации.

Позиционное регулирование используют в системах поддержания заданной концентрации кислорода в аппаратах экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО) [6, 7]. Это инвазивный экстракорпоральный метод насыщения крови кислородом при развитии тяжелой острой дыхательной недостаточности. Метод ЭКМО используется при острой сердечной недостаточности и для поддержания жизнедеятельности при проведении операции на открытом сердце совместно с аппаратом искусственного кровообращения, при тяжелых пневмониях, а также в других отраслях медицины. Для проведения ЭКМО к больному подсоединяют мембранный оксигенатор, через который с помощью перистальтического насоса прокачивается кровь и насыщается кислородом. Поддержание необходимой концентрации кислорода осуществляется изменением давления в контуре искусственного кровообращения. В свою очередь поддержание заданного давления производится путем регулирования производительности насоса, которая задается с помощью такой позиционной системы управления, как цифровой регулятор оборотов.

В наркозно-дыхательных медицинских приборах позиционные системы контролируют потоки и давление медицинских газов [9].

В лабораторном оборудовании позиционные системы применяются в биохимических анализаторах [10, 11]. Автоматический биохимический анализатор – полностью автоматизированная система с компьютерным управлением, предназначенная для количественного определения клинических химических показателей *in vitro* в образцах сыворотки, плазмы, мочи и ликвора. Химическая реакция в биохимических анализаторах должна проходить при температуре, близкой к температуре тела человека, поэтому для поддержания необходимой температуры применяются различные способы: водяная баня (Cobas c311, Dirui CS-T240), воздушный подогрев (Mindray BS-400) или подогрев непосредственно реакционного диска (Furuno CA-270, Furuno CA-400). Во всех случаях для поддержания температуры вблизи заданного значения используется метод позиционного регулирования.

Наряду с системой подогрева реакционной смеси в лабораторном оборудовании широко применяется позиционное регулирование для систем охлаждения отсеков с реагентами. Охлаждение реагентов используется в биохимических анализаторах, коагулометрах, иммунохимических и других приборах. Аппаратная реализация системы охлаждения, безусловно, в разных моделях разная, однако принцип ее построения везде практически одинаков: система охлаждения состоит из полупроводникового охлаждающего модуля элемента Пельтье, радиатора, вентилятора. За управление, как правило, отвечает отдельная плата, основная функция которой – управление полупроводниковым охлаждающим модулем для поддержания температуры реагентов в пределах 6–10 °С.

Несмотря на распространенность позиционного регулирования и решений, основанных на нем в медицинской технике, используемые алгоритмы не обеспечивают должной точности, и наблюдается значительная амплитуда колебаний выходных регулируемых параметров. Рассмотрим ряд методов для усовершенствования качества процесса регулирования в двухпозиционных системах.

Схемные решения методов регулирования, их недостатки и преимущества

В простейшем и наиболее распространенном случае двухпозиционное регулирование реализуется через переключатель, имеющий только два значения – минимальное и максимальное, или две позиции. На рис. 1 представлена схема стандартного двухпозиционного регулирования.

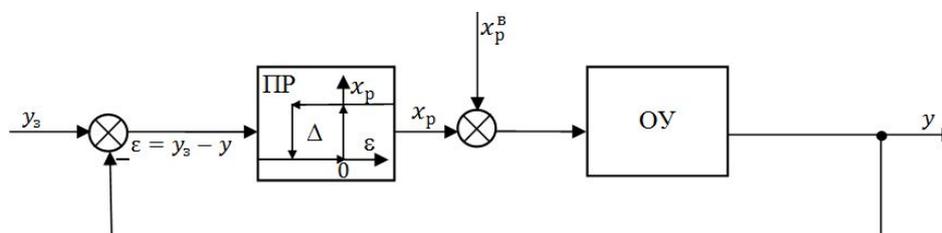


Рис. 1. Структурная схема двухпозиционной системы управления:

ПР – двухпозиционный регулятор; ОУ – объект управления;
 ε – ошибка регулирования; y_3 – задание; y – выходной параметр;
 x_p^B – возмущение; x_p – регулирующее воздействие; Δ – зона возврата реле

Несмотря на очевидные преимущества простого двухпозиционного регулирования – низкую стоимость, удобство использования, простоту аппаратной реализации – схемы, основанные на данном типе регулирования, имеют важный недостаток – высокую амплитуду колебаний управляемого параметра.

Для устранения этого недостатка применяется ряд решений по усовершенствованию стандартного метода регулирования. Наиболее распространенными среди усовершенствованных методов являются двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной, двухпозиционное статическое регулирование, а также усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование.

Система двухпозиционно-статического регулирования включает корректирующий элемент в виде апериодического звена первого порядка. Структурная схема двухпозиционно-статического регулирования показана на рис. 2. Наблюдается снижение амплитуды колебаний вследствие увеличения коэффициента обратной связи. Это приводит к росту числа включений реле. Схема двухпозиционно-статического регулирования не позволяет избежать статической ошибки регулирования.

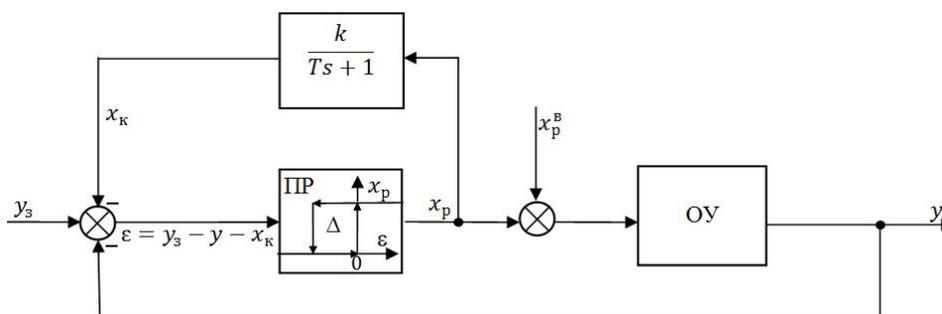


Рис. 2. Структурная схема двухпозиционно-статического регулирования:
 T и k – параметры корректирующего устройства, x_k – корректирующий сигнал

В следующем методе двухпозиционного регулирования на элемент сравнения подается значение выходного параметра и его производной (рис. 3).

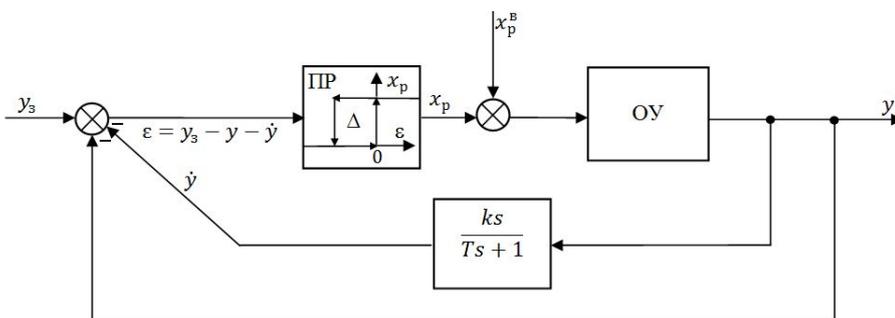


Рис. 3. Структурная схема двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной

Амплитуда колебаний отличается симметричностью относительно задания и имеет небольшое значение. Не наблюдается высокого роста числа включений регулирующего органа.

Двухпозиционно-статическое регулирование (рис. 2) можно дополнить еще одним звеном обратной связи (рис. 4). Таким образом формируется метод усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования.

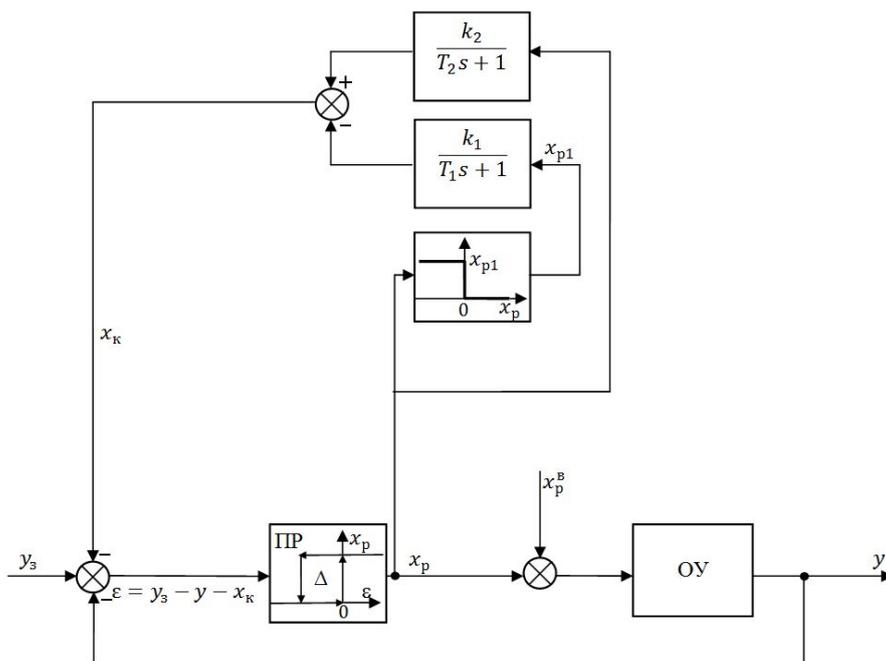


Рис. 4. Структурная схема усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования

Благодаря применению метода наблюдается симметричность колебаний управляемой величины относительно заданного значения, снижение амплитуды колебаний с повышением числа включений реле и отсутствие статической ошибки.

Моделирование и результаты

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

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

В качестве объекта управления была выбрана система первого порядка с передаточной функцией следующего вида:

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

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

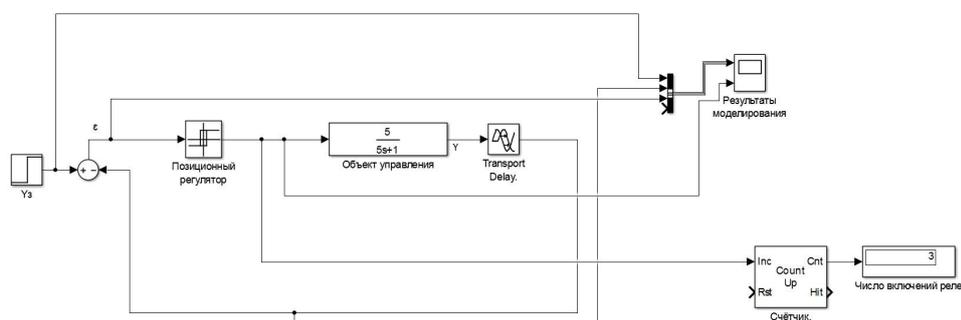


Рис. 5. Программная реализация модели стандартного двухпозиционного регулирования

В результате видно, что переходные процессы, реализованные посредством стандартной двухпозиционной системы регулирования, характеризуются низким числом включения реле и высокой амплитудой колебаний (рис. 6).

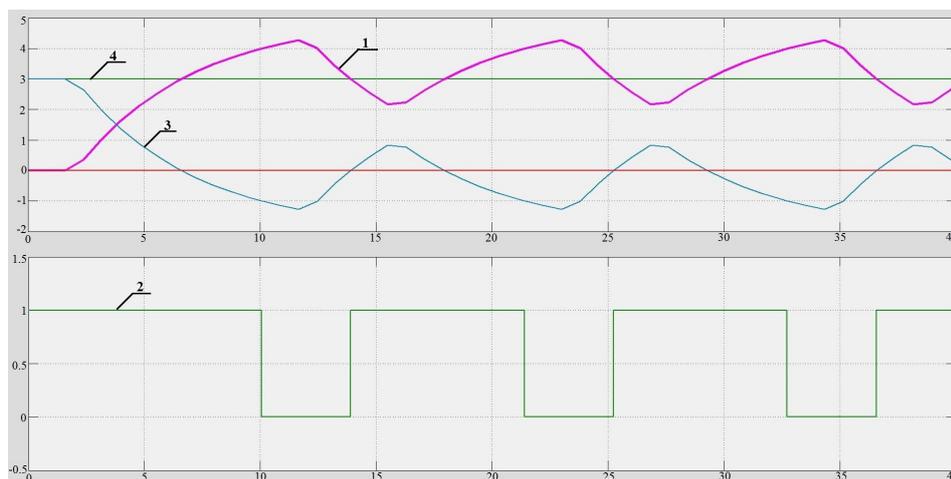


Рис. 6. Результаты моделирования стандартного двухпозиционного регулирования: 1 – выход объекта y ; 2 – выход регулятора x_p ; 3 – рассогласование e ; 4 – задание y_3

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

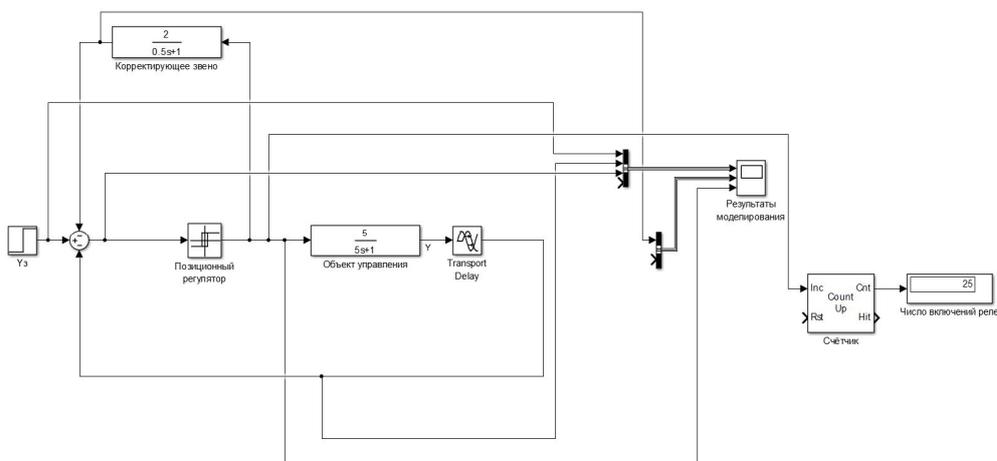


Рис. 7. Программная реализация модели двухпозиционно-статического регулирования

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

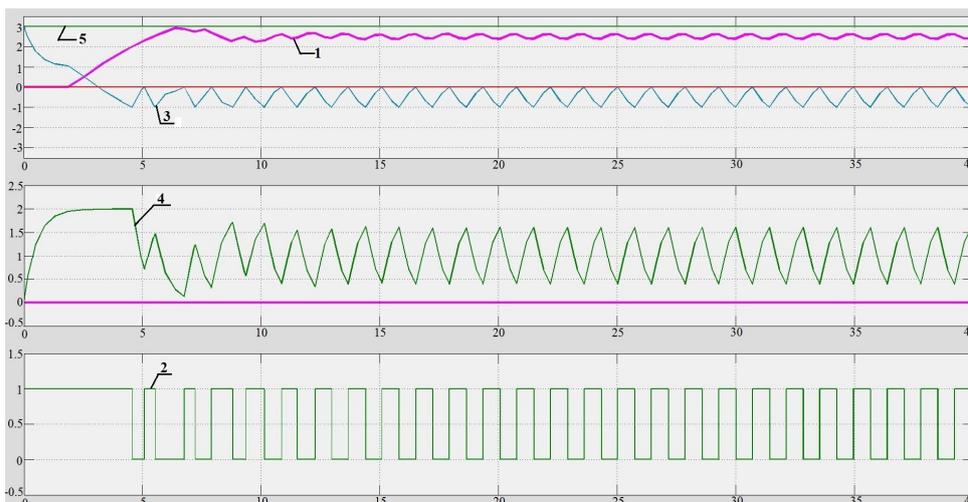


Рис. 8. Результаты моделирования двухпозиционно-статического регулирования: 1 – выход объекта y ; 2 – выход регулятора x_p ; 3 – рассогласование ε ; 4 – сигнал корректирующего устройства x_k ; 5 – задание u_3

Из рис. 8 видно, что процесс регулирования, реализованный посредством двухпозиционно-статической системы управления, характеризуется большим числом включения реле и низким значением амплитуды колебаний управляемой величины, а также наличием статической ошибки.

Программная реализация двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной представлена на рис. 9.

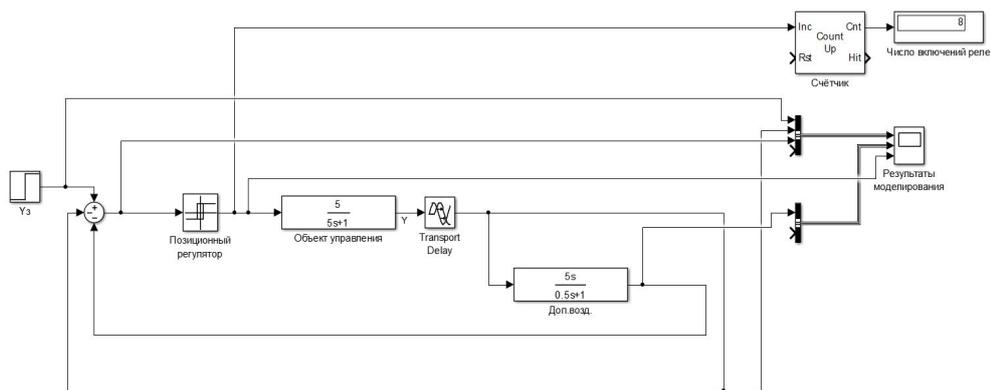


Рис. 9. Программная реализация модели двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной

На рис. 10 изображены результаты процесса управления, реализованного на основе метода двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной.

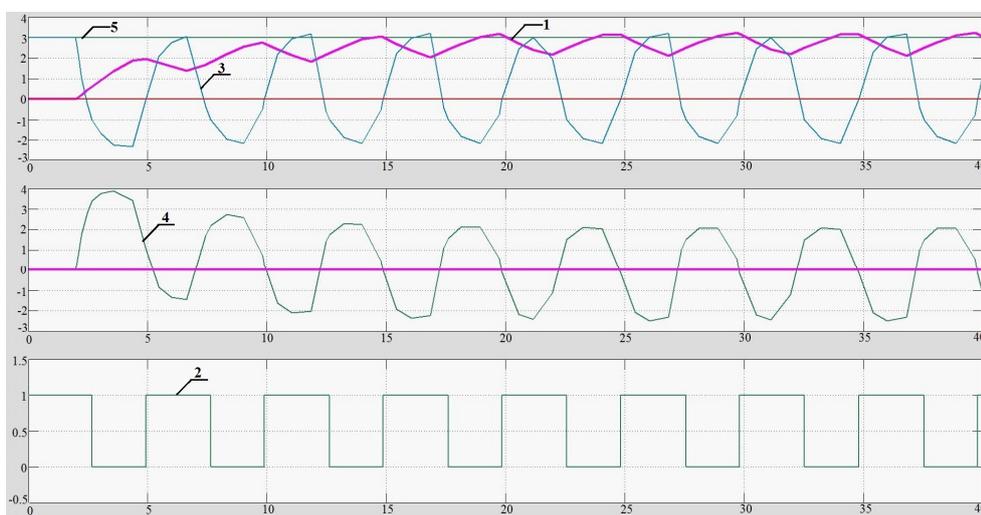


Рис. 10. Результаты моделирования двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной:

1 – выход объекта y ; 2 – выход регулятора x_p ;
3 – рассогласование ε ; 4 – сигнал корректирующего устройства u ; 5 – задание u_s

Из рис. 10 видно, что процесс управления, реализованный посредством двухпозиционного регулирования с дополнительным воздействием по первой производной, отличается низким значением амплитуды колебаний управляемой величины при заметной симметричности колебаний относительно задания и низким значением числа включений реле.

Схема усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования (см. рис. 4), реализованная в программной среде Matlab (Simulink), приведена на рис. 11.

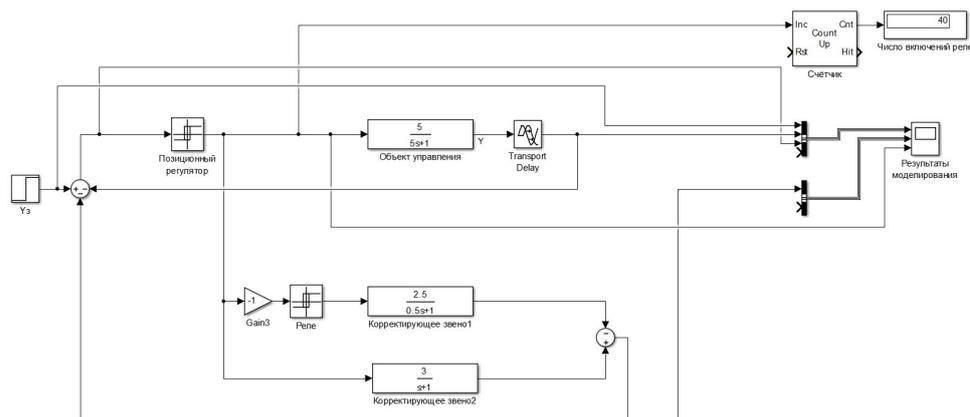


Рис. 11. Программная реализация модели усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования

На рис. 12 представлены результаты процесса управления, реализованного на структурной схеме усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования.

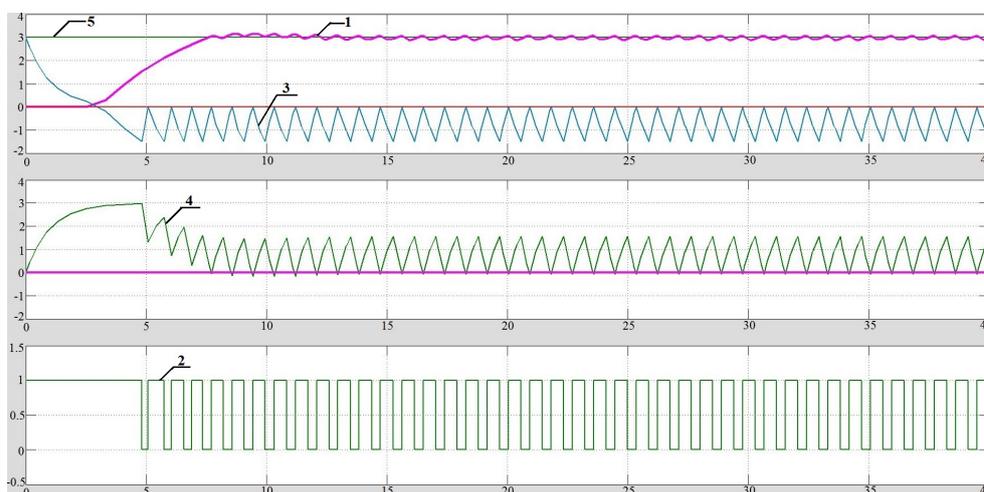


Рис. 12. Результаты моделирования усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования:

1 – выход объекта y ; 2 – выход регулятора x_p ; 3 – рассогласование ϵ ;
4 – сигнал корректирующего устройства x_k ; 5 – задание y_3

В результате видно, что процесс управления, реализованный посредством усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования, повышает качество регулирования за счет уменьшения амплитуды управляемой величины и симметричности ее колебаний относительно задания, число включений реле растет по сравнению с предыдущими методами.

В табл. 1 приведена оценка качества всех систем двухпозиционного регулирования по следующим критериям: максимальное отклонение от задания регулируемого параметра, среднее отклонение амплитуды регулируемого параметра, статическая ошибка и общее количество включений реле за время проведения численного эксперимента.

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

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что усовершенствованное двухпозиционно-статическое регулирование отличается существенными преимуществами – минимальным отклонением от заданной величины, а также отсутствием статической ошибки. При этом наблюдается недостаток в виде увеличения числа включений реле, что снижает надежность системы.

Заключение

Анализ результатов имитационного моделирования различных методов усовершенствованного двухпозиционного регулирования показал их преимущество по сравнению со стандартным методом позиционного управления. Это позволяет обеспечить возможность создания систем позиционного регулирования на основе усовершенствованных методов управления в медицинской технике, в том числе для систем, связанных с необходимостью точного и быстрого управления показателями жизненно важных функций: инкубаторов для новорожденных, диагностического и терапевтического оборудования для реанимации и терапии.

Список литературы

1. Кампе-Немм А. А. Автоматическое двухпозиционное регулирование. М. : Наука, 1967. 160 с.
2. Ключев А. С. Двухпозиционные автоматические регуляторы и их настройка. М. : Энергия, 1967. 104 с.
3. Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов : справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1990. 464 с.

4. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2015. 624 с.
5. Фролов С. В., Фролова Т. А. Приборы, системы и комплексы медико-биологического назначения : учеб. пособие. Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2014. Ч. 2. 95 с.
6. Leonhardt S., Walter M. Medizintechnische Systeme: Physiologische Grundlagen, Gerätetechnik und automatisierte Therapieführung. 2016. 459 s. doi:10.1007/978-3-642-41239-4
7. Springer Handbook. Медицинские технологии / Stormoff group of companies. 2011. 1485 с.
8. Soler C. P. Prototyping a closed loop control system for a neonatal incubator. 2009. 97 p.
9. Фролов С. В., Куликов А. Ю., Строев В. М. [и др.]. Наркозно-дыхательная аппаратура : учеб. пособие. Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2013. 96 с.
10. Корневский Н. А., Юлдашев З. М. Приборы, аппараты, системы и комплексы медицинского назначения. Приборы и комплексы для лабораторного анализа : учебник. Старый Оскол : ТНТ, 2019. 352 с.
11. Фролов С. В., Фролова Т. А. Приборы, системы и комплексы медико-биологического назначения : учеб. пособие. Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2015. Ч. 3: Лабораторное оборудование для биологии и медицины. 84 с.

References

1. Kampe-Nemm A.A. *Avtomaticheskoe dvukhpozitsionnoe regulirovanie = Automatic two-position regulation*. Moscow: Nauka, 1967:160. (In Russ.)
2. Klyuev A.S. *Dvukhpozitsionnye avtomaticheskie regulatory i ikh nastroyka = Two-position automatic regulators and their adjustment*. Moscow: Energiya, 1967:104. (In Russ.)
3. Klyuev A.S., Glazov B.V., Dubrovskiy A.Kh. *Proektirovanie sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov: spravochnoe posobie = Design of automation systems of technological processes : reference manual*. 2nd ed., rev. and add. Moscow: Energoatomizdat, 1990:464. (In Russ.)
4. Pervozvanskiy A.A. *Kurs teorii avtomaticheskogo upravleniya: ucheb. posobie = Course of the theory of automatic control : textbook*. Saint Petersburg: Lan', 2015:624. (In Russ.)
5. Frolov S.V., Frolova T.A. *Pribory, sistemy i komplekсы mediko-biologicheskogo naznacheniya: ucheb. posobie = Devices, systems and complexes of medical and biological purpose : textbook*. Tambov: Izd-vo TGTU, 2014;(pt.2):95. (In Russ.)
6. Leonhardt S., Walter M. *Medizintechnische Systeme: Physiologische Grundlagen, Gerätetechnik und automatisierte Therapieführung*. 2016:459. doi:10.1007/978-3-642-41239-4
7. *Springer Handbook. Meditsinskie tekhnologii*. Stormoff group of companies. 2011:1485.
8. Soler C.P. *Prototyping a closed loop control system for a neonatal incubator*. 2009:97.
9. Frolov S.V., Kulikov A.Yu., Stroev V.M. [et al.]. *Narkozno-dykhatel'naya apparatura: ucheb. posobie = Anesthesia and respiratory apparatus : textbook*. Tambov: Izd-vo TGTU, 2013:96. (In Russ.)
10. Korenevskiy N.A., Yuldashev Z.M. *Pribory, apparaty, sistemy i komplekсы meditsinskogo naznacheniya. Pribory i komplekсы dlya laboratornogo analiza: uchebnik = Devices, apparatuses, systems and complexes for medical purposes. Instruments and complexes for laboratory analysis : textbook*. Staryy Oskol: TNT, 2019:352. (In Russ.)
11. Frolov S.V., Frolova T.A. *Pribory, sistemy i komplekсы mediko-biologicheskogo naznacheniya: ucheb. posobie = Devices, systems and complexes of medical and biological purpose : textbook*. Tambov: Izd-vo TGTU, 2015;(pt.3):84. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Владимирович Фролов

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
биомедицинской техники,
Тамбовский государственный
технический университет
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: sergej.frolov@gmail.com

Sergei V. Frolov

Doctor of technical sciences, professor,
head of the sub-department
of biomedical engineering,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

Кристина Сергеевна Савинова

аспирант,
Тамбовский государственный
технический университет
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: savinova.k94@mail.ru

Kristina S. Savinova

Postgraduate student,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

Андрей Юрьевич Куликов

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры биомедицинской техники,
Тамбовский государственный
технический университет
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: andrew20062@mail.ru

Andrey Yu. Kulikov

Candidate of technical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department
of biomedical engineering,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

Илья Александрович Суконкин

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры биомедицинской техники,
Тамбовский государственный
технический университет
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106)
E-mail: ilej@rambler.ru

И'ya A. Sukonkin

Candidate of technical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department
of biomedical engineering,
Tambov State Technical University
(106 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 01.04.2021

Поступила после рецензирования/Revised 04.05.2021

Принята к публикации/Accepted 17.05.2021