

## Разработка и исследование эффективности алгоритма адаптивного регулятора

*Д.Б. Варламов, А.В. Савчиц*

*Волжский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»*

**Аннотация:** В работе рассмотрен адаптивный двухпозиционный регулятор. Приведена структурная схема данного прибора, а также описана последовательность работы блоков. Произведено имитационное моделирование различных типов двухпозиционных регуляторов с целью выявления их эффективности.

**Ключевые слова:** автоматизация, адаптивное регулирование, регуляторы, имитационное моделирование

### Введение

В настоящее время, во многих областях, связанных с автоматизированным управлением, стоит задача регулирования объектов с изменяющимися во времени параметрами, что делает актуальным разработку систем управления с функцией адаптации [1, 2].

В промышленности наиболее распространенным методом регулирования является позиционный метод [3]. Позиционные регуляторы являются простыми и удобными в использовании. Основная особенность таких регуляторов заключается в том, что их регулирующий орган может занимать ограниченное число определенных положений. Для двухпозиционного регулятора их может быть два (например, включение или отключение ТЭНа). Применение таких приборов позволяет делать системы достаточно надежными, т.к. отсутствует риск получения расходящегося процесса в случае каких-либо внешних возмущений.

Однако, обычные позиционные регуляторы могут быть недостаточно эффективными с точки зрения поддержания искомой величины в заданных пределах. В системах с изменяющимися со временем условиями, а также в системах с внешними возмущениями, качество процесса может ухудшаться.

Изначально правильно настроенная система, в будущем, может не соблюдать заданные параметры. Особенно это важно для регулирования объектов, обладающих большой инерционностью, т.к. величина перерегулирования может достигать больших значений.

Для решения этой проблемы предлагается разработка адаптивного двухпозиционного регулятора.

### Двухпозиционный регулятор на основе предиктора Смита

Регулирование с предиктором Смита [4] осуществляется согласно следующей структуре:

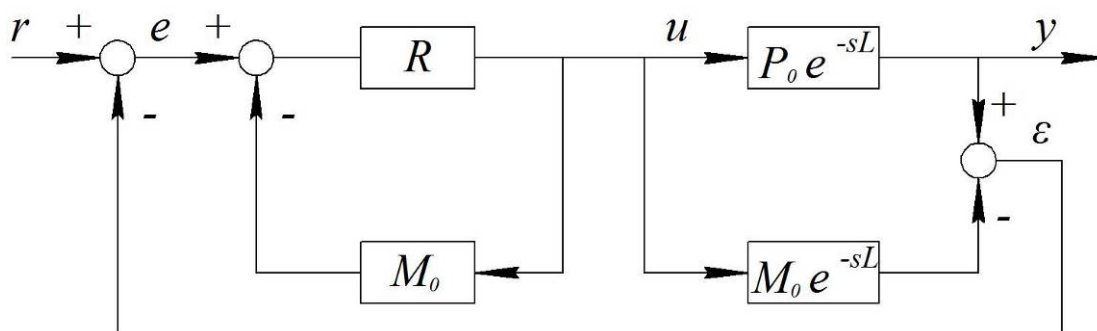


Рис. 1. – Система управления с предиктором Смита:  $r$  – задание регулятора,  $\epsilon$  – рассогласование между объектом управления и его моделью,  $e$  – скорректированное задание регулятора с учетом ошибки  $\epsilon$ ,  $u$  – сигнал управления.

В схеме на рис. 1 регулятор  $R$  управляет моделью объекта без запаздывания  $M_0$ . При этом, также учитывается разность значений на выходе между объектом  $P_0 e^{-sL}$  и моделью с запаздыванием  $M_0 e^{-sL}$ , которая используется для компенсации несоответствия между ними.

Схема на рис. 1 применяется, в основном, для ПИД-регулятора. Однако, метод исключения запаздывания может быть эффективен и для позиционных законов регулирования.

Тем не менее, для объектов, чьи параметры могут меняться во времени, такой метод неприемлем в связи с тем, что модель, определенная до начала процесса, в дальнейшем может не соответствовать текущим параметрам объекта. Таким образом, не будет достигаться требуемое качество регулирования, вплоть до его ухудшения в сравнении с обычным регулятором. Возможным решением этой проблемы является использование адаптивного двухпозиционного регулятора

### Двухпозиционный адаптивный регулятор без модели объекта

Одним из вариантов адаптивного двухпозиционного регулирования является корректировка времени включения/отключения исполнительного механизма без использования модели объекта управления. Адаптация происходит с учетом анализа поведения реального объекта. Структурная схема такого регулятора представлена на рис. 2.

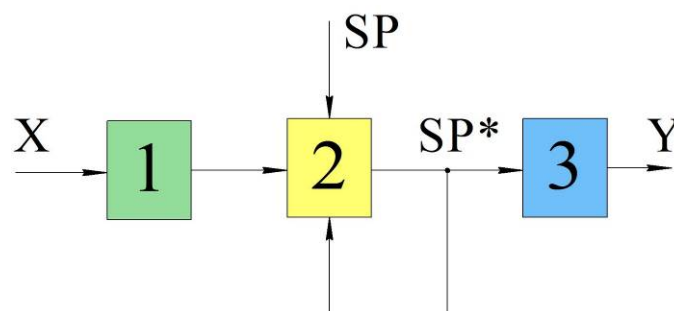


Рис. 2. – Структурная схема работы регулятора: X – текущее значение поддерживаемого параметра, Y – сигнал к исполнительному механизму, SP – уставка, SP\* – скорректированная уставка для двухпозиционного регулятора, блок №1 – блок накопления информации, блок №2 – блок корректировки, блок №3 – блок двухпозиционного регулятора.

Регулятор работает следующим образом. Блок накопления информации №1 подсчитывает амплитуды положительного и отрицательного отклонения регулируемого параметра на N-ом шаге (рис. 3) и передает эту информацию в блок корректировки №2, который с учетом этой информации, а также с

учетом уставки  $SP$  и скорректированной уставки  $SP^*$  на  $N$ -ом шаге, определяет новую скорректированную уставку  $SP^*$  для шага  $N+1$ . С учетом этой уставки двухпозиционный регулятор №3 осуществляет регулирование на шаге  $N+1$ .

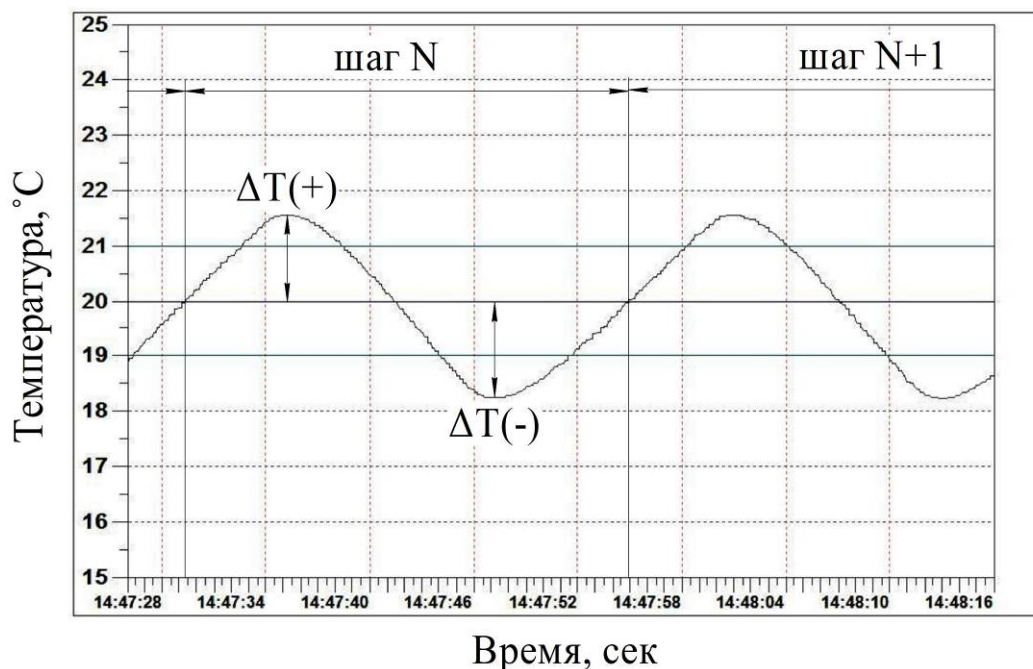


Рис. 3. – Амплитуды на  $N$ -ом шаге:  $\Delta T(+)$  – амплитуда положительного отклонения температуры,  $\Delta T(-)$  – амплитуда отрицательного отклонения температуры.

### Моделирование систем управления с использованием предложенных регуляторов

Для визуализации, с использованием структурной схемы регулятора на рис. 2, было произведено моделирование системы поддержания температуры объекта второго порядка с запаздыванием, передаточная функция которого имеет вид [5]:

$$W(p) = \frac{k}{T_2 p^2 + T_1 p + 1} e^{-p\tau}, \quad (1)$$

где:  $k$  – коэффициент передачи звена;  $T_2$  и  $T_1$  – постоянные времени;  $\tau$  – время запаздывания.

Визуализация производилась в программном средстве CoDeSys. Выбор среды программирования обусловлен большим диапазоном использования среды ПЛК различных производителей, как отечественных [6, 7, 8], так и зарубежных [9, 10].

Объект, описываемый данной передаточной функцией, имеет следующие параметры:  $k = 0,3$ ;  $T_2 = 30$ ;  $T_1 = 25$ ;  $\tau = 3$ . Результаты представлены на рис.4.

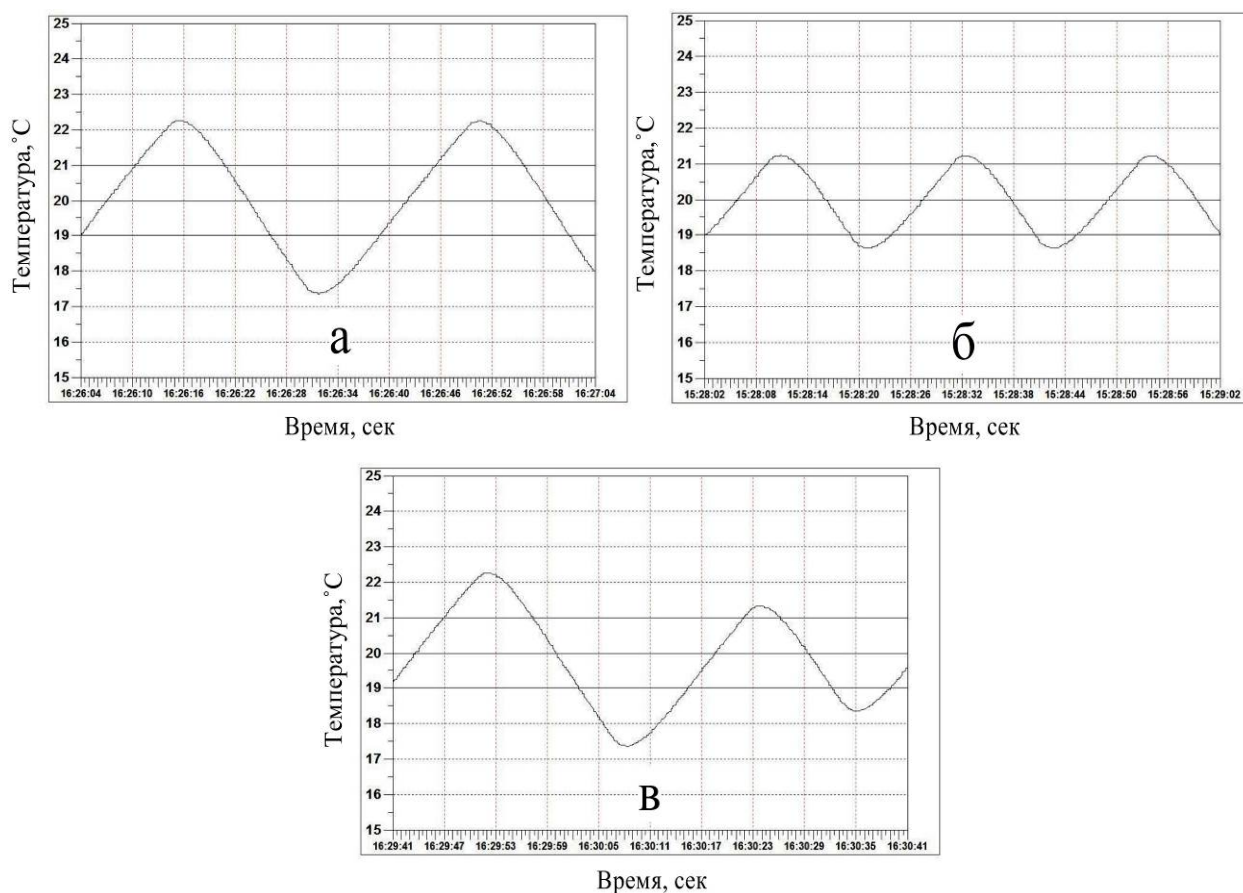


Рис. 4. – Двухпозиционное регулирование температуры: а – обычный регулятор, б – регулятор с моделью без запаздывания, в – адаптивный регулятор.

Амплитуда колебаний в системе с обычным регулятором составляет:  $\Delta T(+)= 2,26^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T(-)= 2,63^{\circ}\text{C}$ . С моделью без запаздывания:  $\Delta T(+)= 1,2^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta T(-) = 1,36^{\circ}\text{C}$ . С адаптивным регулятором (после 1-го шага):  $\Delta T(+)$  =  $1,3^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\Delta T(-)$  =  $1,65^{\circ}\text{C}$ .

Процент амплитуды колебаний от задания SP для каждой системы (идеальная амплитуда без перерегулирования составляет 10% от уставки SP):

- Обычный регулятор – 25,45% от уставки SP;
- Регулятор с моделью без запаздывания – 12,8% от уставки SP;
- Адаптивный регулятор – 14,75% от уставки SP.

С учетом полученных данных, можно сделать вывод, что обе усовершенствованные системы (рис. 4 (б, в) позволяют достичь улучшения качества регулирования в сравнении с обычным двухпозиционным регулятором (рис. 4 (а). Кроме того, из данного опыта видно, что предложенный адаптивный регулятор совсем незначительно уступает регулятору с моделью без запаздывания, который является идеальным (при моделировании коэффициенты модели полностью соответствовали коэффициентам объекта, что на практике трудно реализуемо).

Для дальнейшего исследования адаптивного регулятора целесообразно проведение моделирования с использованием объекта с изменяющимися во времени параметрами. Результаты моделирования представлены на рис.5.

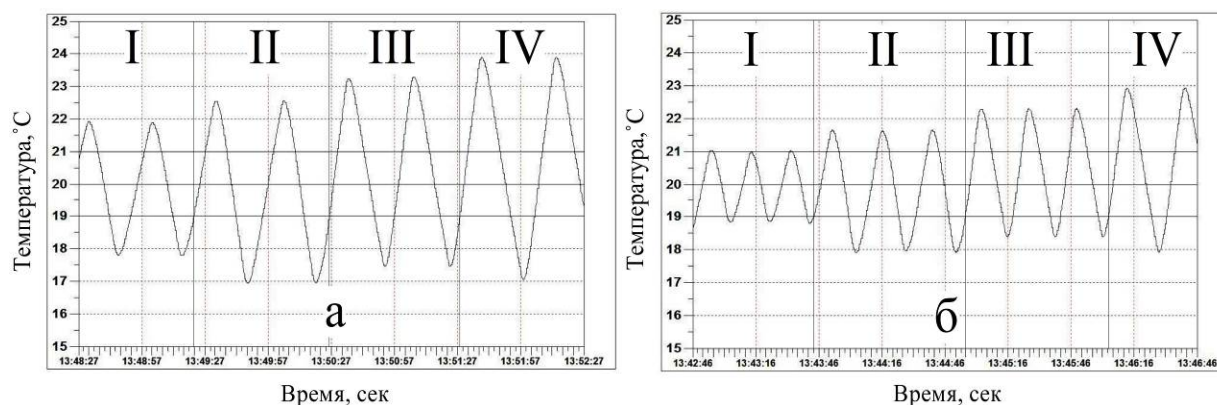


Рис. 5. – Двухпозиционное регулирование температуры: а – обычный регулятор, б – адаптивный регулятор.

В процессе регулирования было использовано 4 режима, для каждого из которых объект управления имел свои параметры: I режим:  $k = 0,3$ ;  $T_2 = 30$ ;  $T_1 = 25$ ;  $\tau = 2$ ; II режим:  $k = 0,3$ ;  $T_2 = 25$ ;  $T_1 = 20$ ;  $\tau = 3$ ; III режим:  $k = 0,4$ ;  $T_2 = 25$ ;  $T_1 = 25$ ;  $\tau = 3$ ; IV режим:  $k = 0,4$ ;  $T_2 = 25$ ;  $T_1 = 25$ ;  $\tau = 4$ .

По итогам моделирования был рассчитан процент общей амплитуды колебаний от уставки SP. Результаты занесены в таб. 1

Таблица № 1

Процент амплитуды колебаний от уставки SP

Номер режима	Обычный регулятор	Адаптивный регулятор
I	20,5%	11,0%
II	28,1%	18,5%
III	28,7%	19,5%
IV	34,0%	25,0%

По значениям, приведенным в таб.1, можно сделать вывод, что система с адаптивным регулятором подтвердила свою эффективность в сравнении с обычным регулятором, что выражается в меньших значениях амплитуды колебаний во всех 4-х режимах.

### Заключение

В рамках данной работы была обоснована актуальность применения адаптивных регуляторов, приведена структурная схема предлагаемого регулятора, произведено имитационное моделирование систем с разными видами двухпозиционных регуляторов с целью их сравнения. По итогам работы можно сделать вывод об эффективности предложенного алгоритма в сравнении с использованием обычного двухпозиционного регулятора.

### Литература

1. Демьянов А.А., Павлицкий Б.И., Шапшал С.А. Синтез адаптивного регулятора шкворневого узла // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2019](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2019).

2. Шанин Д.А., Чикин В.В. Нейросетевой адаптивный контроллер для задачи управления объектом с неизвестной структурой посредством глобальной обратной связи // Инженерный вестник Дона, 2008, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/60.

3. Николаенко, С.А., Цокур Д.С. Автоматизация систем управления: учеб. пособие. – Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. - 119 с.

4. Smith O.J.M. Close control of loops with dead time // Chemical Engineering Progress. 1957. Vol. 53. pp. 217-235.

5. Сидоров С.Н., Лунина Н.А. Теория автоматического управления в задачах электропривода: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 122 с.

6. Компания Fastwel. URL: fastwel.ru

7. Компания ОВЕН. URL: owen.ru

8. Инженерная компания «Прософт-Системы». URL: prosoftsystems.ru

9. Berghof Automation. URL: berghof-automation.com

10. WAGO global. URL: wago.com/global

### References

1. Dem'yanov A.A., Pavlitsky B.I., Shapshal S.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2019

2. Shanin D.A., Chikin V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2008, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/60

3. Nikolaenko S. A., Cokur D. S. Avtomatizaciya sistem upravleniya [Automation control systems]. Krasnodar: “Kron” Publ. 2015. 119 p. (in Russian)

4. Smith O.J.M. Close control of loops with dead time. Chemical Engineering Progress. 1957. Vol. 53. pp. 217-235.

5. Sidorov S.N., Lunina N.A. Teorija avtomaticheskogo upravlenija v zadachah elektroprivoda [Theory of automatic control in electric drive problems]. Ulyanovsk, UlSTU, 2013. 122p.





6. Kompaniya Fastwel [Fastwel company]. URL: fastwel.ru
7. Kompaniya OWEN [OWEN company]. URL: owen.ru
8. Inzhenernaya kompaniya «Prosoft-Sistemy [Engineering Company «Prosoft-Systems»]. URL: prosoftsystems.ru
9. Berghof Automation. URL: berghof-automation.com
10. WAGO global. URL: wago.com/global