

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

А.С. Аникин¹, А.А. Балденков^{1, 2}, В.Л. Кодкин¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск;

² ООО «КОСТЕС», г. Челябинск

На сегодняшний день основные задачи реализации программ энергосбережения в стране состоят в обеспечении эффективности всех процессов, связанных с производством, передачей и потреблением энергоносителей. В коммунальном хозяйстве потребление тепловой энергии практически на порядок превосходит потребление электрической энергии в связи с нуждами отопления и горячего водоснабжения. Помимо этого, график тепловой нагрузки в течение отопительного сезона сильно варьируется (в 5–6 раз) не только от времени суток, но и от климатических условий. В связи с этим повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения за счет обеспечения в них качественного процесса регулирования является актуальной задачей.

В статье представлен опыт проведения идентификации регуляторов температуры теплоносителя в системах отопления и горячего водоснабжения. Приведены алгоритмы и результаты идентификации трех наиболее часто применяемых в системах отопления и ГВС регуляторов: ECL Comfort (производитель Danfoss), Vitotronic (производитель Viessmann), 90C (производитель ESBE).

Ключевые слова: тепловые системы, регулятор температуры теплоносителя.

Введение

Широкое применение в тепловых системах автоматических регуляторов выявило ряд проблем. Главная из них – алгоритмы работы регуляторов не раскрыты. Даже если в инструкциях присутствуют термины «пропорционально-интегральный» или «дифференциальный», это не значит, что регуляторы работают, как привычные ПИ-, ПИД-регуляторы. Так, многолетний опыт наладки систем отопления, от коттеджей до многоквартирных домов, с применением регуляторов *ECL Comfort* (производитель *Danfoss*), *Vitotronic* (производитель *Viessmann*), *ESBE* и других, показывает, что применение рекомендаций по их настройке приводит к колебаниям температуры теплоносителя с периодом 5...20 мин и амплитудой 7...10 °С. Такой процесс заставляет увеличивать исходную температуру теплоносителя на 10...15 °С, что значительно повышает расход энергоресурсов. Для определения возможности существенного изменения динамики процесса регулирования, а именно снижения амплитуды автоколебаний до 1...2 °С, был проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований. На начальном этапе была поставлена задача идентифицировать динамику автоматических регуляторов, поскольку их работа на реальных котельных не слишком совпадала с положениями ТАУ.

Экспериментальная идентификация регуляторов

Для исследования алгоритмов работы контроллеров управления системами отопления и горячего водоснабжения, и экспериментов по оптимизации процессов разработан стенд, имитирующий эти системы. Принципиальная электрическая схема стенда на базе контроллера *ECL Comfort 200* приведена на рис. 1, электрические схемы стенда на базе других контроллеров аналогичны.

Переменные резисторы R3–R7 предназначены для имитации датчиков температуры, тумблер S1 – для дискретного изменения рассогласования температур. В связи с тем, что выходные сигналы всех регуляторов температуры представляют собой импульсное напряжение амплитудой 220 В, применены развязывающие трансформаторы T1–T2, обеспечивающие безопасность исследований.

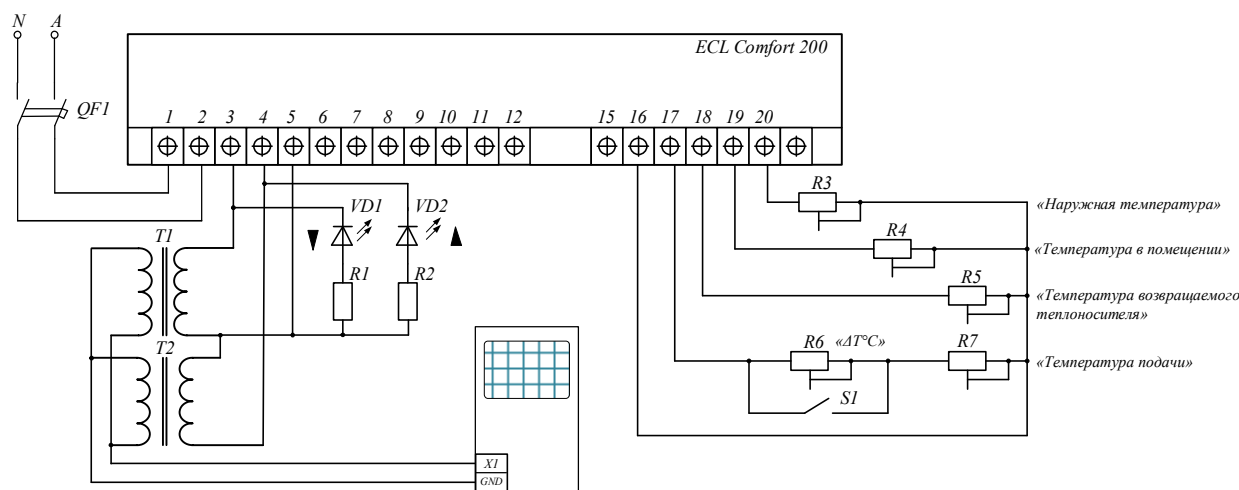


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема стенда для исследования регуляторов температуры

На данном стенде были исследованы три наиболее часто применяемых контроллера для систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС): *ESBE Series 90*, *Vitotronic 300-K*, *ECL Comfort 200*.

Наиболее простым является контроллер *ESBE Series 90C* – пропорциональный регулятор с переменным настраиваемым коэффициентом усиления. Сигналы управления приведены на рис. 2.

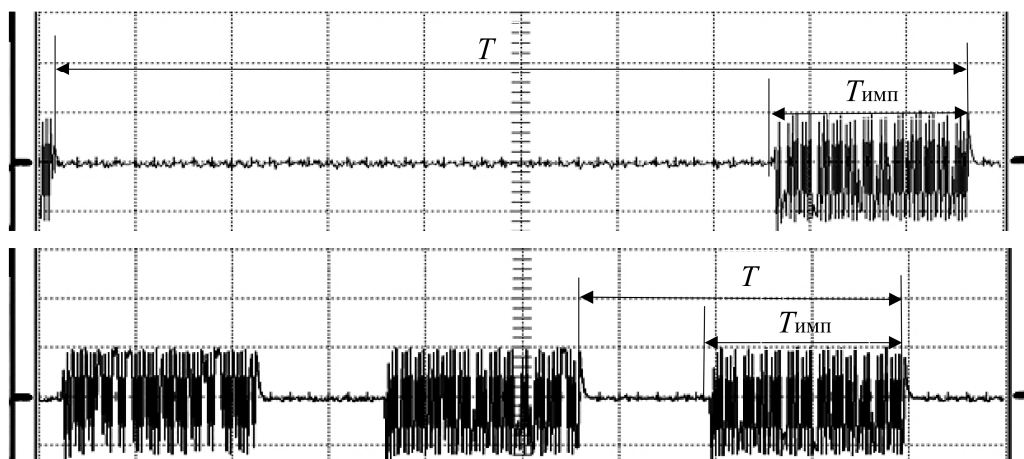


Рис. 2. Управляющие сигналы *ESBE* при рассогласовании температур 3 и 7 °С

Выбранная при настройке длительность импульса $T_{имп}$ не изменяется при изменении рассогласования заданной и регулируемой температур $\Delta T^\circ = T^\circ_3 - T^\circ$. Рассогласование изменяет период следования импульсов T . Коэффициент усиления регулятора можно представить формулой

$$K \approx \frac{T_{имп}}{T} \approx T_{имп} \cdot \Delta T^\circ. \quad (1)$$

Данный регулятор применяется в небольших малоинерционных системах.

Второй исследованный контроллер – это цифровой каскадный контроллер *Vitotronic 300-K*, реализует алгоритм ПИД-регулирования. Настройка параметров его динамических звеньев ограничена выбором единственного параметра $S4$ («регулирующее воздействие смесителя на динамику установки»), изменяемого в диапазоне 0...3. Сигнал управления приведен на рис. 3. Он состоит из первоначального импульса длительностью T_d , определяемой дифференциальным каналом, группы импульсов с изменяемой в зависимости от параметра $S4$ скважностью, которая определяет пропорциональный канал. Через определенное время регулятор переходит в насыщение за счет интегрального канала.

Передаточная функция данного регулятора может быть представлена формулой

$$W \approx K + \frac{1}{T_n \cdot p} + T_d \cdot p \approx \frac{T_{имп}}{T} + \frac{1}{T_n \cdot p} + \frac{T_d \cdot p}{T_{имп}/T}. \quad (2)$$

Наличие всего четырех положений настройки динамических звеньев не позволяет оптимально настроить процессы с этим регулятором.

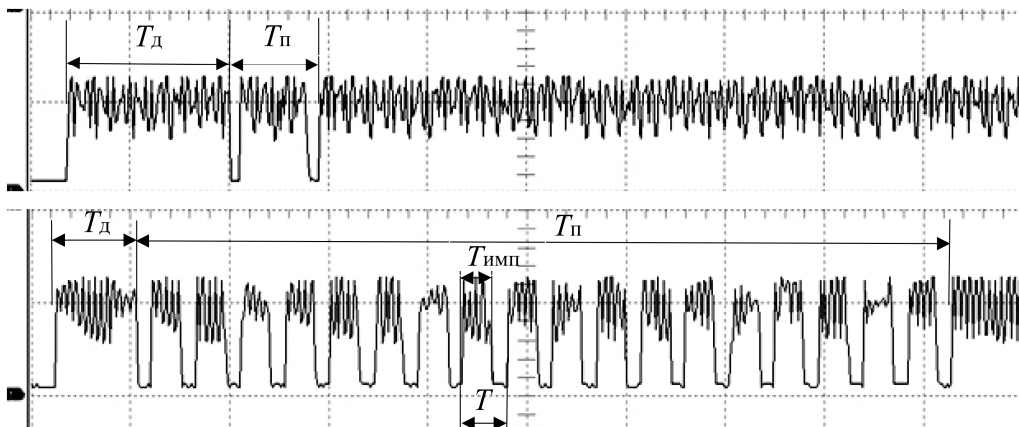


Рис. 3. Структура выходного сигнала контроллера Vitotronic 300-K при C4:0 и C4:2 при $\Delta T = 3^\circ\text{C}$

Более гибкую структуру имеет *ECL Comfort 200*. В отличие от ранее описанных контроллеров, данный регулятор позволяет существенно изменять параметры заложенных в него динамических звеньев.

Выходной сигнал контроллера *ECL Comfort 200* представлен на рис. 4.

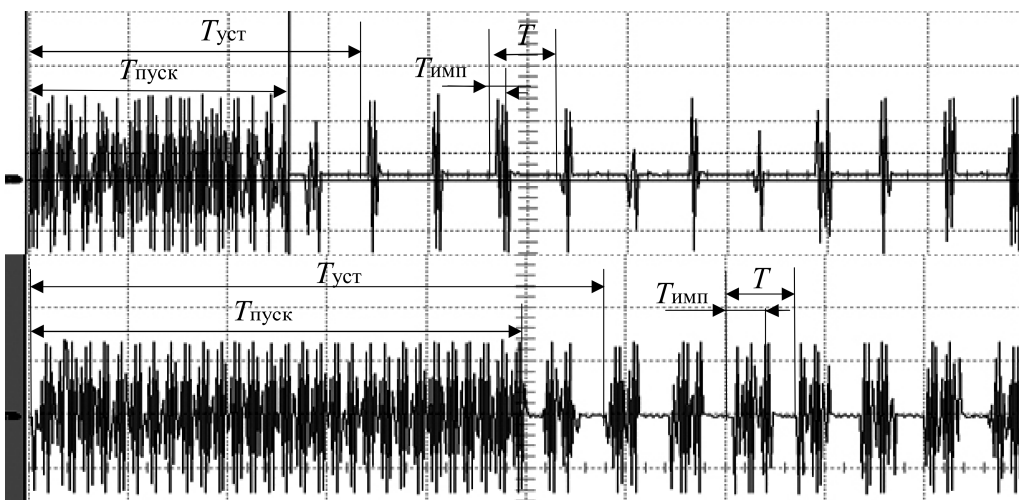


Рис. 4. Структура выходного сигнала контроллера ECL Comfort 200

Сигнал содержит первоначальный импульс, интервал времени с изменяющейся скважностью и установившееся значение с малой скважностью. Такой процесс может соответствовать выходному сигналу ПД регулятора:

$$W = K + \frac{T_2 \cdot p}{1 + T_1 \cdot p} \quad (3)$$

$$\text{где } K = \frac{T_{\text{имп}}}{T}; \quad T_1 = \frac{T_{\text{уст}}}{3 \dots 4}; \quad \frac{K + T_2/T_1}{K} = \frac{T_{\text{пуск}}}{T_{\text{имп}}}$$

Проведен цикл испытаний, показавший зависимость параметров передаточной функции от параметров регулятора: X_p – зона пропорциональности, T_n – постоянная интегрирования, $T_{ш}$ – «время перемещения штока клапана из одного крайнего положения в другое». В программной среде *Matlab* рассчитаны частотные характеристики регуляторов (рис. 5), оказалось, что при параметрах, которые чаще всего устанавливают при наладке (графики 2, 3 на рис. 5), регуляторы близки к пропорциональным звеньям и не оказывают существенного корректирующего воздей-

ствия (см. таблицу). Это объясняет отмеченные ранее факты незначительного влияния изменяемых параметров на процессы регулирования. Вместе с тем, возможно установить такие динамические свойства регулятора, которые способны существенно изменить динамику тепловой системы (график 1 на рис. 5).

Передаточные функции погодного компенсатора *ECL Comfort 200*

I	II	III
$W = 0,65 + \frac{467,9 \cdot p}{1+9,33 \cdot p}$	$W = 0,14 + \frac{1,022 \cdot p}{1+0,7 \cdot p}$	$W = 0,028 + \frac{0,03 \cdot p}{1+0,5 \cdot p}$

Поскольку период колебаний составляет 5...7 мин, наиболее эффективным вариантом будет I, с $T_2 = 467,9$ с.

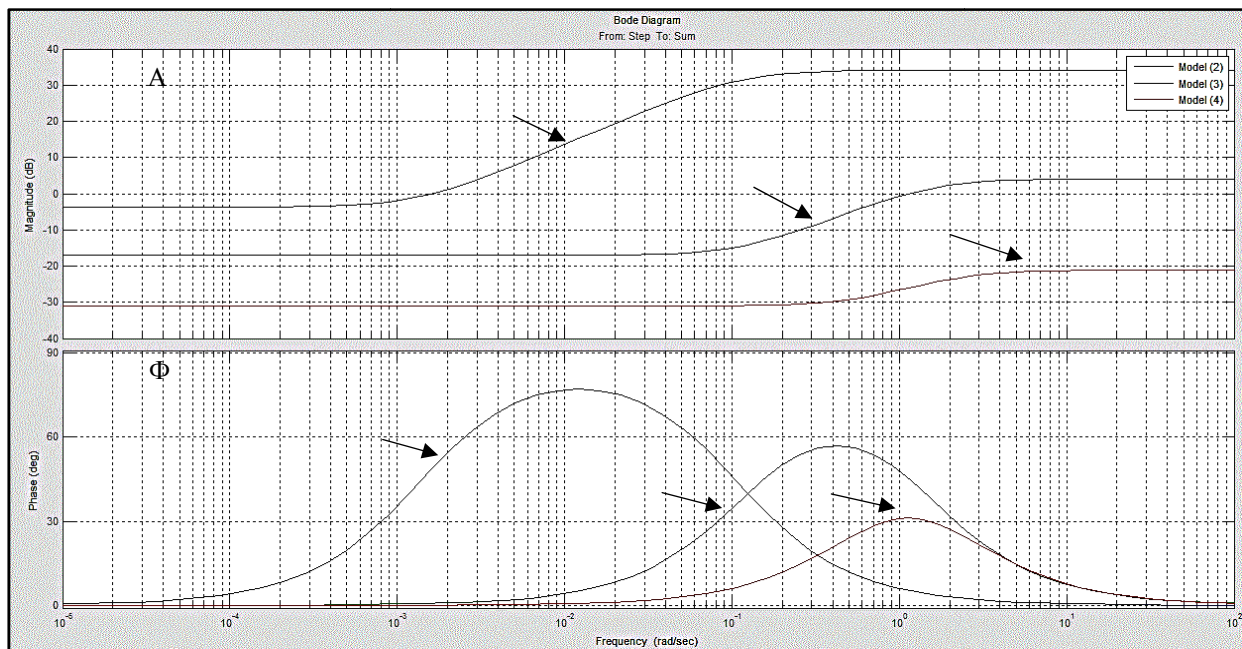


Рис. 5. Частотные характеристики регулятора *ECL Comfort 200* при изменении зоны пропорциональности X_p

Исходя из того, что чаще всего настройка параметров регулятора производится согласно инструкциям и руководствам [3, с. 42, 46], [4, п. 26 «Установка параметров ПИ-регулирования»], не дающим абсолютно никакого представления о том, как влияет каждый конкретный параметр на характер процессов в системе, в результате процесс регулирования, как правило, представляет собой автоколебания со значительной амплитудой.

В ходе экспериментальной идентификации установлено:

- параметр «время интегрирования» не определяет параметр интегрирующего звена, более того, интегральное звено в данном регуляторе отсутствует, а указанный параметр влияет на все характеристики динамического звена;
- параметр «зона пропорциональности» определяет общий коэффициент усиления регулятора;
- все коэффициенты и постоянные времени регулятора зависят от величины рассогласования.

Заключение

1. Возможно, регуляторы *ECL Comfort* и *Vititronic* содержат нечеткие алгоритмы [5], однако разобрать их и особенно воздействовать на их корректировку, т. е. воспользоваться генетическими алгоритмами, нет никакой возможности.

2. Единственным возможным вариантом корректировки данных регуляторов может быть метод, опирающийся на их идентификацию как динамических нелинейных регуляторов, и использование методов частотного анализа или гармонической линеаризации для корректировки динамики контуров теплоснабжения.

Литература

1. Цифровой погодозависимый каскадный контроллер Vitotronic 300-К. Инструкция по монтажу и сервисному обслуживанию для специалистов. – http://viessmann.watercity.ru/upload/iblock/b09/efc210a6-b149-11e1-9504-6c626db89317_efc210b4-b149-11e1-9504-6c626db89317.pdf
2. Инструкция по установке регулятора ESBE series 90. – <http://www.esbe.eu/ru/ru-ru/produktii/kontrolliery/90c>
3. Каталог автоматических регуляторов для систем теплоснабжения зданий. – ЗАО «Данфосс», 2012.
4. ECL Comfort 200. Руководство пользователя. – http://www.danfoss-rus.ru/catalog/sections_files/VI7BC550_P30.pdf
5. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. / С.Д. Штовба. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2001. – 756 с.
6. Сравнительный анализ практического применения терморегуляторов, основанных на ПИД законе и на применении правил нечеткой логики (Fuzzy Logic) / Ю.Л. Беккер, Н.Д. Сибильская, В.В. Делибалтов, А.М. Зак. – <http://d.17-71.com/2007/08/20/sravnitelnyiy-analiz-prakticheskogo-primeneniya-termoregulyatorov-osnovannyih-na-pid-zakone-i-na-primenenii-pravil-nechetkoj-logiki-fuzzy-logic/>

Аникин Александр Сергеевич, доцент кафедры электротехники и возобновляемых источников энергии, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; anikinsasha@gmail.com.

Балденков Александр Александрович, аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Южно-Уральский государственный университет; инженер, ООО «КОСТЕС», г. Челябинск; baloo@mail.ru.

Кодкин Владимир Львович, д-р техн. наук, профессор кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kodkina2@mail.ru.

Поступила в редакцию 6 мая 2015 г.

DOI: 10.14529/ctcr150318

EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF STRUCTURE AND PARAMETERS OF AUTOMATIC REGULATORS OF HEATING SYSTEMS

A.S. Anikin, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, anikinsasha@gmail.com,
A.A. Baldenkov, South Ural State University, LLC "COSTES", Chelyabinsk, Russian Federation,
baloo@mail.ru,
V.L. Kodkin, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, kodkina2@mail.ru

Today the main task of energy saving programs in the country is to provide the efficiency of all processes connected with the production, transmission and consumption of energy. In the utilities sector heat consumption exceeds the consumption of electric energy almost in 10 times in relation to the needs of heating and hot water. In addition the thermal load schedule during the heating season varies greatly (by 5–6 times) not only the time of day, but also on the climatic conditions. Therefore energy efficiency in heating systems by providing them quality control process is an urgent task.

The article describes the experience of identifying the regulators flow temperature in heating and hot water. The algorithms and the results of the identification of the three most commonly regu-

lators: ECL Comfort (produced by Danfoss), Vitotronic (produced by Viessmann), 90S (produced by ESBE) used in heating systems and domestic hot water are presented.

Keywords: heating systems, temperature of heat-transfer agent regulator.

References

1. *Tsifrovoy pogodozavisimyy kaskadnyy controller Vitotronic 300-K. Instruktsiya po montazhu i servisnomu obsluzhivaniyu dlya spetsialistov* [Digital Weather-Compensated Cascade Control Unit Vitotronic 300-K. Installation and Services for Professionals]. Available at: http://viessmann.watercity.ru/upload/iblock/b09/efc210a6-b149-11e1-9504-6c626db89317_efc210b4-b149-11e1-9504-6c626db89317.pdf (accessed 17 May 2015).
2. *Instruktsiya po ustanovke regulatora ESBEseries* [Installation Instructions Regulator ESBE Series 90]. Available at: <http://www.esbe.eu/ru/ru-ru/produktii/kontrolliery/90/> (accessed 17 May 2015).
3. *Katalog avtomaticheskikh regulyatorov dlya system teplosnabzheniya zdaniy* [Catalogue of Automatic Regulators for Heating Buildings]. Danfoss Inc., 2012.
4. *Rukovodstvo polzatelya ECL Comfort 200* [ECL Comfort 200 User Manual]. Available at: http://www.danfoss-rus.ru/catalog/sections_files/VI7BC550_P30.pdf (accessed 17 May 2015).
5. Shtovba S.D. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to the Theory of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic]. Vinnitsa, UNIVERSUM-Vinnitsa, 2001. 756 p.
6. Bekker Y.L., Sibil'skaya N.D., Delibaltov V.V., Zak A.M. *Sravnitel'nyy analiz prakticheskogo primeneniya termoregulyatorov, osnovannykh na PID-zakone i na primenenii nechetkoy logiki* [Comparative Analysis of the Practical Application of Temperature Controllers, Based on PID-law and in the Application of Rules of Fuzzy Logic]. Available at: <http://d.17-71.com/2007/08/20/sravnitelnyiy-analiz-prakticheskogo-primeneniya-termoregulyatorov-osnovannyih-na-pid-zakone-i-na-primenenii-pravil-nechetkoy-logiki-fuzzy-logic/> (accessed 17 May 2015).

Received 6 May 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Аникин, А.С. Экспериментальная идентификация структуры и параметров автоматических регуляторов систем отопления / А.С. Аникин, А.А. Балденков, В.Л. Кодкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 147–152. DOI: 10.14529/ctcr150318

FOR CITATION

Anikin A.S., Baldenkov A.A., Kodkin V.L. Experimental Identification of Structure and Parameters of Automatic Regulators of Heating Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 147–152. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150318