

УДК 620.9:662.92 + 658.264:681.515.015 + 697.1:681.515.015

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕГУЛЯТОРОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ЗВЕНЬЯМИ С ПЕРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков, А.Ю. Качалин*

В статье представлен опыт проведения идентификации регуляторов температуры теплоносителя в системах отопления. Приведены алгоритмы и результаты идентификации регуляторов *ECL Comfort* (производитель *Danfoss*).

Ключевые слова: тепловые системы, регулятор температуры теплоносителя.

Широкое применение в тепловых системах автоматических регуляторов выявило ряд проблем. Главные из них следующие: 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*), 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 того, чтобы определить возможность 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.

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.

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 вольт, применены развязывающие трансформаторы T1–T2, обеспечивающие безопасность исследований.

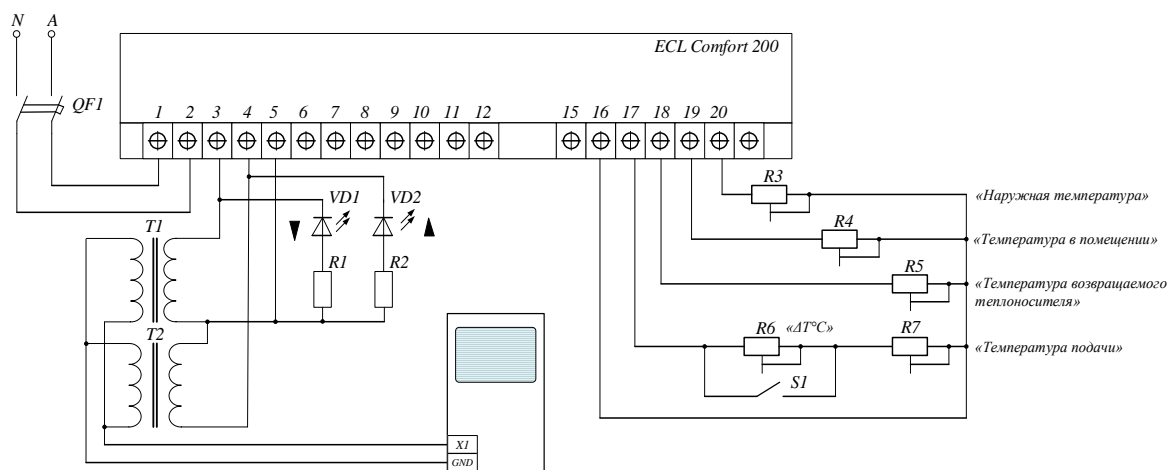


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема стенда для исследования регуляторов температуры

Данный регулятор позволяет существенно изменять параметры заложенных в него динамических звеньев. Выходной сигнал регулятора *ECL Comfort 200* приведен на рис. 2.

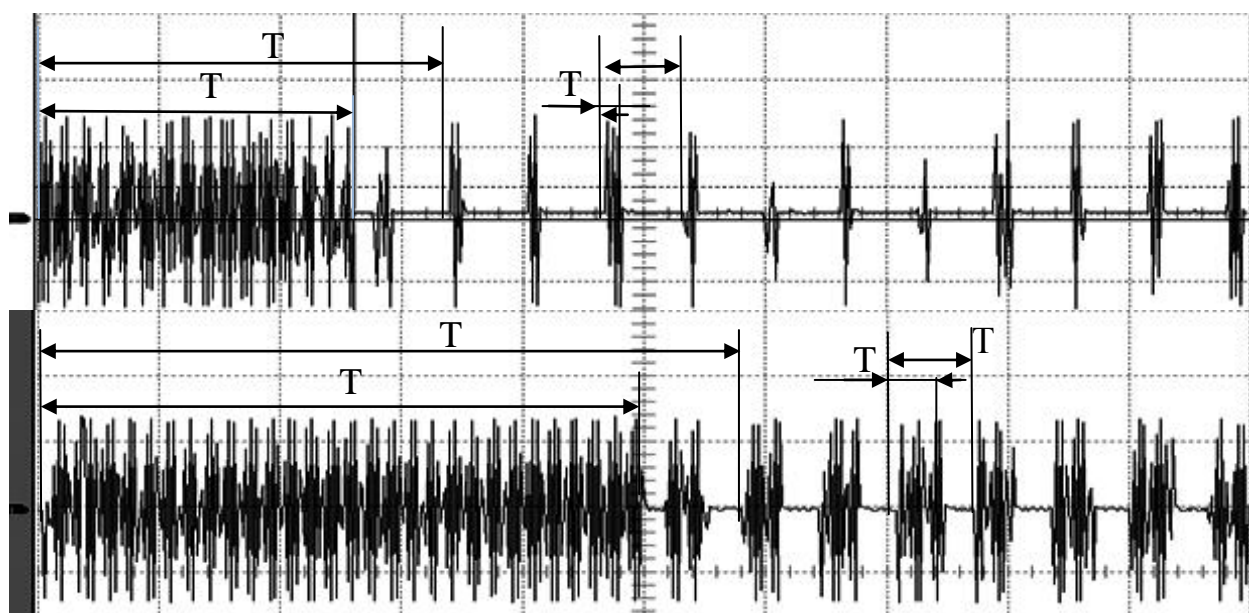


Рис. 2 Структура выходного сигнала контроллера *ECL Comfort 200*

Сигнал содержит первоначальный импульс, интервал времени с изменяющейся скважностью и установившееся значение с малой скважностью. Такой процесс может соответствовать выходному сигналу ПД регулятора (3):

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

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

Проведен цикл испытаний, показавший зависимость параметров передаточной функции от параметров регулятора:  $X_p$  – зона пропорциональности,  $T_i$  – постоянная интегрирования,  $T_{ш}$  – «время перемещения штока клапана из одного крайнего положения в другое». В программе *Matlab 7.11* рассчитаны частотные характеристики регуляторов (рис. 5), оказалось, что при параметрах, которые чаще всего устанавливают при наладке (графики 2, 3 рис. 5), регуляторы близки к пропорциональным звеньям и не оказывают существенного корректирующего воздействия. 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 рис. 5).

### Передаточные функции регулятора *ECL Comfort 200*

По параметрам выходного сигнала рассчитаны передаточные функции регулятора при различных настройках  $T_i$ ,  $X_p$  и различном рассогласовании температур теплоносителя. Полученные передаточные функции сведены в табл. 1, 2, 3 и представлены рис. 3–5.

Таблица 1

Передаточные функции погодного компенсатора *ECL Comfort 200*  
при изменении  $T_i$

I (10)	II (50)	III (250)
$W = 0,65 + \frac{467,9 \cdot p}{1 + 9,33 \cdot p}$	$W = 0,14 + \frac{1,022 \cdot p}{1 + 0,7 \cdot p}$	$W = 0,028 + \frac{0,03 \cdot p}{1 + 0,5 \cdot p}$

Поскольку период колебаний составляет 5–7 минут, эффективен будет вариант I, с  $T_2 = 467,9$  с.

Таблица 2

Передаточные функции погодного компенсатора *ECL Comfort 200*  
при изменении  $X_p$

I (10)	II (50)	III (250)
$W = 0,48 + \frac{13,8 \cdot p}{1 + 1,83 \cdot p}$	$W = 0,14 + \frac{3,03 \cdot p}{1 + 1,17 \cdot p}$	$W = 0,028 + \frac{1,57 \cdot p}{1 + 1,15 \cdot p}$

Таблица 3

Передаточные функции погодного компенсатора *ECL Comfort 200*  
при изменении рассогласования температур  $\Delta t$  °С

$\Delta t = 1$ °С	$\Delta t = 5$ °С	$\Delta t = 10$ °С
$W = 0,029 + \frac{0,023 \cdot p}{1 + 1,91 \cdot p}$	$W = 0,023 + \frac{0,024 \cdot p}{1 + 0,35 \cdot p}$	$W = 0,018 + \frac{0,051 \cdot p}{1 + 0,12 \cdot p}$

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.

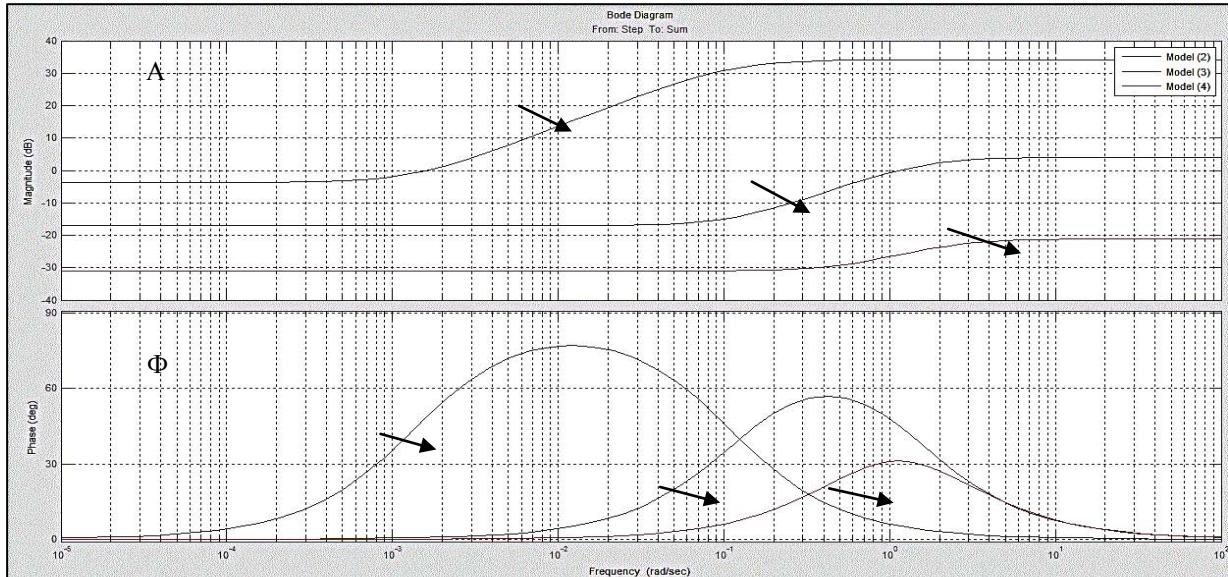


Рис. 3. Частотные характеристики регулятора *ECL Comfort 200* при изменении зоны пропорциональности  $X_p$

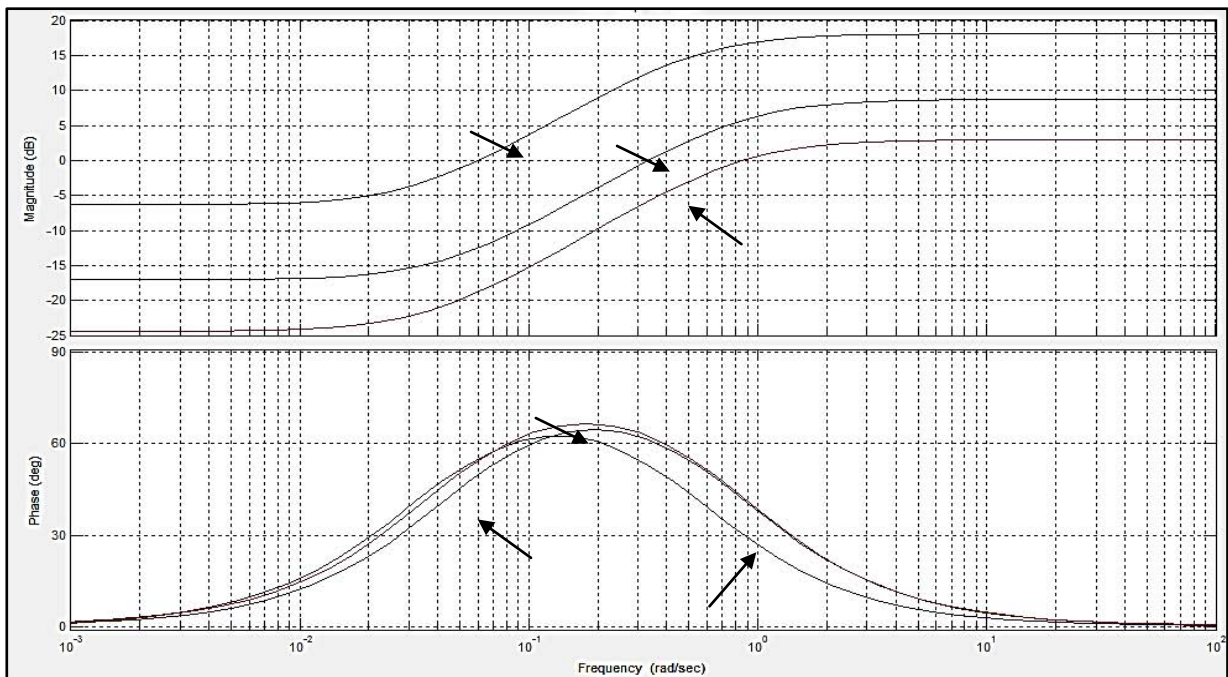


Рис. 4. Частотные характеристики регулятора *ECL Comfort 200* при изменении постоянной интегрирования  $T_i = 10$  (1), 50 (2), 250 (3)



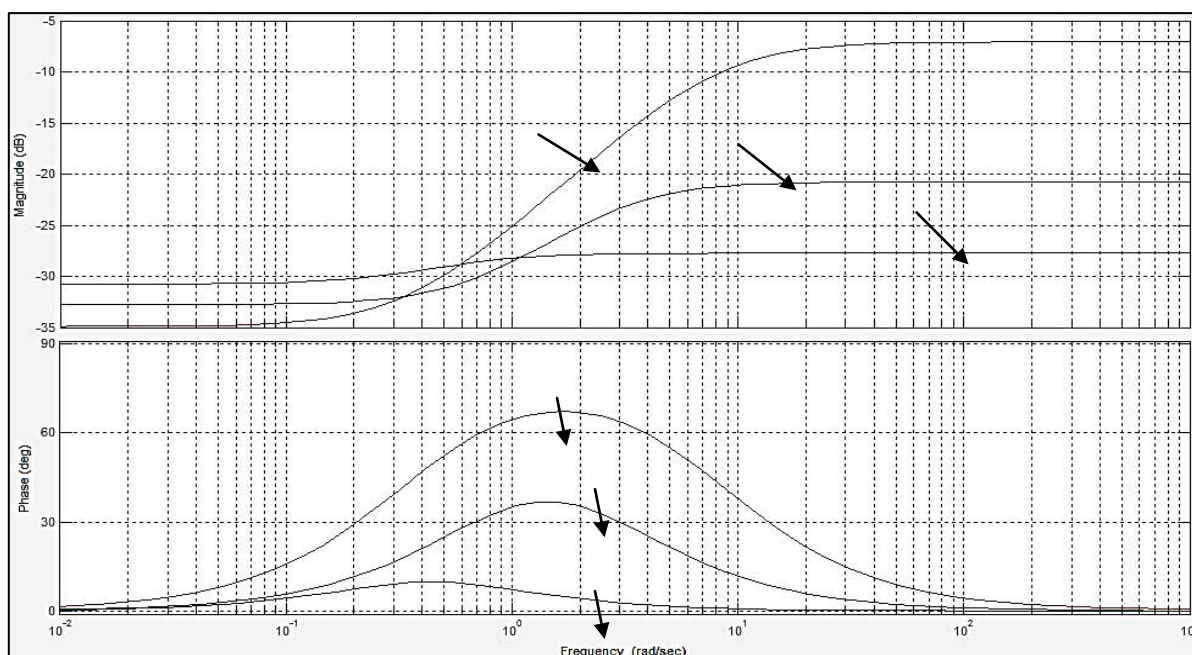


Рис. 5. Частотные характеристики регулятора *ECL Comfort 200* при изменении рассогласования температур  $\Delta t = 1$  (1), 3 (2), 10 (3) °С

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.

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

В связи с этим, единственно 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.

#### Библиографический список

1. Цифровой погодозависимый каскадный контроллер Vitotronic 300 – К. Инструкция по монтажу и сервисному обслуживанию для специалистов. – URL: [http://viessmann.watercity.ru/upload/iblock/b09/efc210a6-b149-11e1-9504-6c626d-b89317\\_efc210b4-b149-11e1-9504-6c626db89317.pdf](http://viessmann.watercity.ru/upload/iblock/b09/efc210a6-b149-11e1-9504-6c626d-b89317_efc210b4-b149-11e1-9504-6c626db89317.pdf).
2. Инструкция по установке регулятора ESBE series 90. – URL: <http://www.esbe.eu/ru/ru-ru-produktsiia/kontrolliery/90c>.

3. Каталог автоматических регуляторов для систем теплоснабжения зданий. ЗАО «Данфосс» 2012 г. *ECL Comfort 200*. Руководство пользователя. – URL: [http://www.danfoss-rus.ru/catalog/sections\\_files/VI7BC550\\_P30.pdf](http://www.danfoss-rus.ru/catalog/sections_files/VI7BC550_P30.pdf).

4. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Монография / С.Д. Штовба. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2001. – 756 с.

5. Беккер, Ю.Л. 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. – URL: <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/>.