

УДК 681.51:681.3

Ю.Н. Хижняков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

НЕЧЕТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Разработка эффективных систем управления теплоснабжения объектов промышленного и гражданского назначения является одной из важных задач энергетической политики РФ.

Существует достаточное количество объектов, характеризующихся существенной нелинейностью и зачастую отсутствием приемлемой аналитически заданной модели. Если некоторые процессы объекта плохо поддаются формализации и математическому описанию, то в существующей системе управления используют регулятор нечеткой логики отдельно или параллельно с традиционными регуляторами управления.

Разработан нечеткий регулятор температуры, где в качестве лингвистической переменной принято отклонение температуры от заданного значения. Нечеткий регулятор содержит: фаззификатор, блок нечеткого вывода по Ларсену, дефаззификатор. В фаззификаторе задано терм-множество из четырех терм, расположенных на интервале 0–1. Нечеткая импликация выполнена по Ларсену. Нечеткая композиция выполнена по Гостеву. Дефаззификация выполнена по модифицированному методу центраоида. Точность поддержания температуры воды обратного контура 3–5 % от заданного значения.

Ключевые слова: релейный регулятор, обратный контур, фаззификатор, нечеткая импликация по Ларсену, дефаззификация.

Yu.N. Hizhnyakov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

FUZZY CONTROL OF THE HEAT-CARRIER TEMPERATURE

The development of effective heat management systems of industrial and civil purpose is one of the important tasks energy policy of Russian Federation.

There is a sufficient number of objects that are characterized by significant non-linearity and often lack an analytically acceptable given model. If some processes are poorly amenable to formalization of the object and the mathematical description, the existing control system using fuzzy logic controller separately or in parallel with the traditional control.

Designed fuzzy controller of temperature, where the linguistic variable temperature deviation from the set value is accepted. Fuzzy regulator comprises: fuzzifikator, fuzzy inference unit by Larsen and defuzzifikator. In fuzzifikator defined term set term of four located in the range 0–1. Fuzzy implication is made by Larsen. Fuzzy composition is made by Gostev. Defuzzification performed by the modified method of the centroid. Accuracy of the return flow temperature of the water 3–5 % of the predetermined value.

Keywords: relay regulator, feedback circuit, fuzzification, fuzzy implication by Larsen, defuzzification.

Разработка эффективных систем управления теплоснабжением объектов промышленного и гражданского назначения является одной из важных задач энергетической политики РФ.

Задача теплообменной системы горячего водоснабжения – обеспечить стабилизацию температуры обратного теплоносителя при отсутствии потребления либо изменении потребления при различных внешних возмущениях. В статье [1] рассмотрены основные направления оптимального управления нелинейных объектов, например, системы управления с переменной структурой, где показаны робастные свойства автоматических систем в скользящем режиме. Однако высокая частота переключения управляющего сигнала на траектории скольжения исключает его практическое применение. В [2–4] рассмотрена модифицированная релейная система регулирования с применением трехпозиционного релейного элемента с зоной нечувствительности, охваченного отрицательной интегральной связью. Как альтернатива включение модифицированного релейного элемента без зоны нечувствительности в контур управления регулируемого клапана позволило реализовать управляемое включение реверса автоколебаний и тем самым регулировать среднее значение положения регулируемого клапана. Модифицированный скользящий режим релейной системы позволил в условиях нестационарных внешних и параметрических возмущений минимизировать количество переключений и улучшить технические характеристики автоматизированных систем теплоснабжения.

Исследование автоматической системы регулирования теплоснабжения с нестационарными режимами работы является предметом данной статьи.

На рис. 1 приведена схема смешения теплоносителя, обладающего структурной нелинейностью и нелинейными свойствами регулирующего клапана. В схеме смешения показан обратный контур, включающий обратный вентиль (ОВ), регулируемый объект (РО), гидравлический насос (ГН). Если температура воды в обратном контуре понижается, то идет регулируемая подпитка обратного контура со стороны регулируемого клапана (РК) водой, температура которой выше заданного значения (регулирующее воздействие). В структурной схеме регулирования температуры воды обратного контура заложен принцип регулирования по отклонению. Обратный контур в дальнейшем формализуем как регулируемый объект с распределенными параметрами, вызванными тепло-

отдачей труб в окружающую среду, и транспортным запаздыванием. Данный объект относится к классу недетерминированных объектов и требует разработки нелинейного аппроксиматора. В качестве лингвистических переменных принято отклонение температуры воды обратного контура от заданного значения и регулирующее воздействие в виде изменения проходного сечения регулируемого клапана.

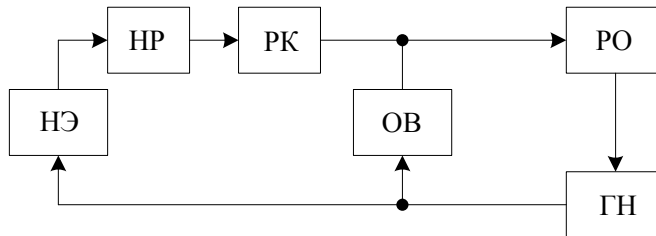


Рис. 1. Схема смешения теплоносителя:

НЭ – нагревательный элемент; НР – нечеткий регулятор;
 ОВ – обратный вентиль; РО – регулируемый объект;
 ГН – гидравлический насос; РК – регулируемый клапан

На рис. 2. показана структурная схема регулирования горячей воды для подпитки обратного контура.

Разработанный нечеткий регулятор температуры горячей воды, где в качестве лингвистической переменной принято отклонение температуры горячей воды от заданного значения, содержит: фаззификатор, блок нечеткого вывода по Ларсену, дефаззификатор.

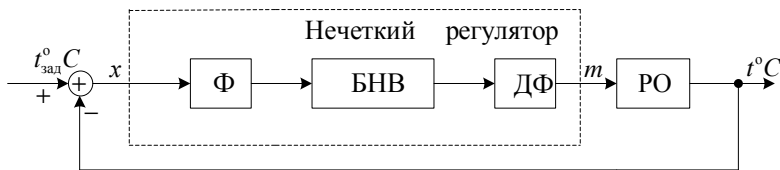


Рис. 2. Структурная схема системы регулирования температуры горячей температуры воды для подпитки обратного контура:

Ф – фаззификатор; БНВ – блок нечеткого вывода;
 РО – регулируемый объект; ДФ – дефаззификатор

В статье унимодальная функция принадлежности заменяется пропорцией вида [5, 6]

$$u^* = \frac{(x_i^* - x_{hi})}{(x_{bi} - x_{hi})}, \quad (1)$$

где $x_{\text{вi}}$, $x_{\text{нi}}$ – верхнее и нижнее значения параметра x ; x_i^* – текущее значение параметра x ; u^* – пропорциональное значение параметра x , которым является отклонение температуры Δt °С.

Математическое описание терм-множества из четырех терм фазификатора, размещенных на интервале 0–1, имеет вид:

$$\mu_1(u^*) = 1 - u^*, \quad u^* \in [0, 1], \quad (2)$$

$$\mu_2(u^*) = \begin{cases} 3u^*, & u^* \in \left[0, \frac{1}{3}\right], \\ \frac{3}{2}(1 - u^*), & u^* \in \left[\frac{1}{3}, 1\right], \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_3(u^*) = \begin{cases} 1,5u^*, & u^* \in \left[0, \frac{2}{3}\right], \\ 3(1 - u^*), & u^* \in \left[\frac{2}{3}, 1\right], \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_4(u^*) = u^*, \quad u^* \in [0, 1]. \quad (5)$$

Согласно текущему значению x_i^* определяются степени принадлежности c_{1i} , c_{2i} , c_{3i} , c_{4i} .

Используя импликацию по Ларсену, запишем функцию принадлежности (кривая 0–а–1, рис. 3) для текущего значения x_i^* :

$$\mu_{c_{1i}}(u^*) = c_{1i} \cdot \mu_{1i}(u^*). \quad (6)$$

Аналогично, согласно импликации по Ларсену, запишем функцию принадлежности (кривая 0–в–1, см. рис. 3) для текущего значения x_i^* :

$$\mu_{c_{2i}}(u^*) = c_{2i} \cdot \mu_{2i}(u^*). \quad (7)$$

Далее согласно импликации по Ларсену, запишем функцию принадлежности (кривая 0–г–1, см. рис. 3):

$$\mu_{c_{3i}}(u^*) = c_{3i} \cdot \mu_{3i}(u^*). \quad (8)$$

В конце согласно импликации по Ларсену, запишем функцию принадлежности (кривая 0–е–1, см. рис. 3):

$$\mu_{c_{4i}}(u^*) = c_{4i} \cdot \mu_{4i}(u^*). \quad (9)$$

Результирующая функция принадлежности согласно (6), (7), (8), (9) имеет вид:

$$\mu_{C_i}(u^*) = \mu_{C_{1i}}(u^*) \cup \mu_{C_{2i}}(u^*) \cup \mu_{C_{3i}}(u^*) \cup \mu_{C_{4i}}(u^*). \quad (10)$$

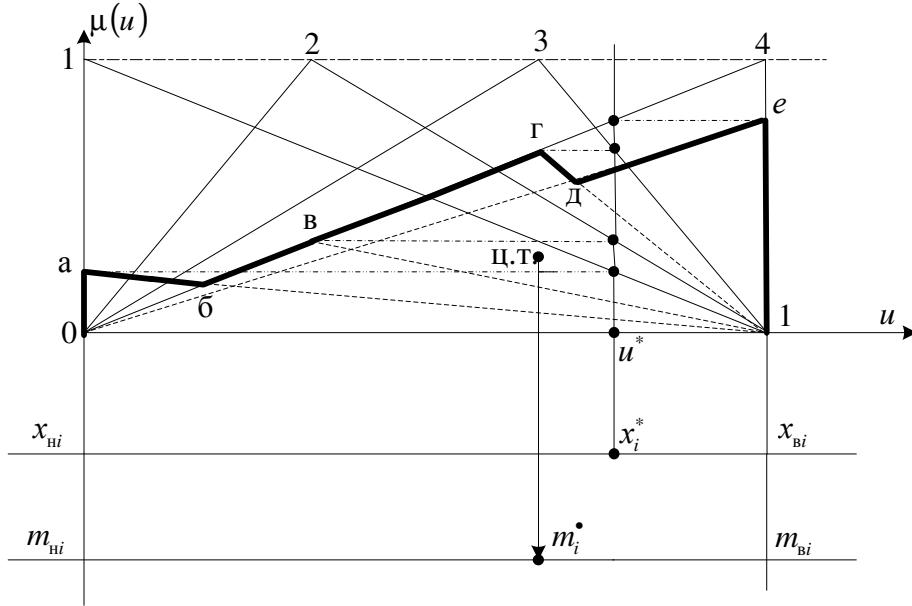


Рис. 3. Графическое изображение нечеткой импликации согласно алгоритму Ларсена и нечеткой композиции блока вывода нечеткого регулятора

Для определения конкретного значения управляющего воздействия формируется «результирующая фигура», ограниченная результирующей функцией принадлежности (10) (жирной линией 0–а–б–в–г–д–е–1, которая показана на рис. 3):

$$\mu_{C_i}(u^*) = \max[\mu_{C_{1i}}(u^*), \mu_{C_{2i}}(u^*), \mu_{C_{3i}}(u^*), \mu_{C_{4i}}(u^*)]. \quad (11)$$

Далее производится поиск координат «центра тяжести» результирующей фигуры согласно модифицированному методу центраида [7–9]:

$$x_{\text{ЦТ}}^{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \left(x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{2} \right); \quad (12)$$

$$y_{\text{ЦТ}}^{\Sigma} = \frac{0,5}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i}{x_{i+1} - x_i}, \quad (13)$$

где n – число разбиений; S_i – площади текущих разбиений; x_i, x_{i-1} – координаты абсцисс текущих разбиений.

Полученное значение m_i^* согласно (12), (13) преобразуется в численное значение управляющего воздействия на объект управления.

Точность поддержания температуры в обратном контуре составляет 3...5 % от заданного значения.

Выводы

1. Разработана модифицированная система горячего водоснабжения промышленных и гражданских зданий, которая обеспечивает стабилизацию температуры обратного теплоносителя при отсутствии или наличии потребления либо изменении потребления при различных внешних возмущениях.

2. Разработан нечеткий регулятор температуры воды в обратном контуре водоснабжения промышленных и гражданских зданий, обеспечивающий точность поддержания температуры обратного контура 3–5 % от заданного значения.

Библиографический список

1. Поляк В.Т. Развитие теории автоматического управления // Проблемы управления. – 2009. – № 3. – С. 13–18.
2. Шилин А.А., Букреев В.Г. Динамическое определение траектории скольжения при релейном управлении нелинейным объектом // Проблемы управления. – 2013. – № 5. – С. 22–28.
3. Шилин А.А., Букреев В.Г., Койков К.И. Математическая модель нелинейной теплообменной системы с запаздыванием // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 6. – С. 15–22.
4. Шилин А.А., Букреев В.Г. Упрощение модели сложной теплообменной системы для решения задачи релейного управления // Тепло-техника. – 2014. – № 9. – С. 56–63.
5. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
6. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – Киев: Радиоаматор, 2008. – 972 с.
7. Леготкина Т.С., Хижняков Ю.Н. Модификация метода центраида // Вестник Ижевск. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 122–125.
8. Хижняков Ю.Н. Нечеткое, нейронное и гибридное управление: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 303 с.

9. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 156 с.

References

1. Poliak V.T. Razvitie teorii avtomaticheskogo upravleniia [Development of automatic control theory]. *Problemy upravleniia*, 2009, no. 3, pp. 13-18.

2. Shilin A.A., Bukreev V.G. Dinamicheskoe opredelenie traektorii skol'zheniia pri releinom upravlenii nelineinym ob"ektom [Dynamic determination of the sliding path while nonlinear object on/off control]. *Problemy upravleniia*, 2013, no. 5, pp. 22-28.

3. Shilin A.A., Bukreev V.G., Koikov K.I. Matematicheskaiia model' nelineinoi teploobmennoi sistemy s zapazdyvaniem [Mathematical model of nonlinear heat-exchange system with a delay]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 2013, no. 6, pp. 15-22.

4. Shilin A.A., Bukreev V.G. Uproshchenie modeli slozhnoi teploobmennoi sistemy dlia resheniia zadachi releinogo upravleniia [Reduction model of the complex heat-exchange system for solving on/off control tasks]. *Teplotekhnika*, 2014, no. 9, pp. 56-63.

5. Gostev V.I. Proektirovanie nechetkikh regulatorov dlia sistem avtomaticheskogo upravleniia [Designing nondistinct process controllers for automatic control system]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2011. 416 p.

6. Gostev V.I. Nechetkie regulatory v sistemakh avtomaticheskogo upravleniia [Nondistinct process controllers in automatic control systems]. Kiev: Radioamator, 2008. 972 p.

7. Legotkina T.S., Khizhniakov Iu.N. Modifikatsiia metoda tsentroida [Centroid method development]. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, no. 1, pp. 122-125.

8. Khizhniakov Iu.N. Nechetkoe, neironnoe i gibridnoe upravlenie [Nondistinct, neuron and hybrid control]. Permckii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2013. 303 p.

9. Khizhniakov Iu.N. Algoritmy nechetkogo, neironnogo i neuro-nechetkogo upravleniia v sistemakh real'nogo vremeni [Algorithms of nondistinct, neuron and neuron fuzzy control in real-time system]. Permckii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2013. 156 p.

Сведения об авторе

Хижняков Юрий Николаевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и телемеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Luda@at.pstu.ru).

About the author

Hizhnyakov Yury Nikolaevich (Perm, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: Luda@at.pstu.ru).

Получено 12.10.2016