

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Правительство Вологодской области

Вологодский государственный университет

# **ВУЗОВСКАЯ НАУКА – РЕГИОНАМ**

## **Материалы**

**XVI Всероссийской научной конференции  
с международным участием**

(Вологда, 27 февраля 2018 г.)

Вологда  
2018

УДК 001(063)  
ББК 72+74.48  
В88

Утверждено экспертным советом по научной литературе  
Вологодского государственного университета

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, доцент А. А. Сеницын (отв. редактор),  
д-р техн. наук, доцент А. А. Кочкин,  
канд. экон. наук, доцент С. А. Клещ,  
д-р техн. наук, профессор А. Н. Швецов,  
д-р техн. наук, профессор А. Е. Немировский  
д-р биол. наук, профессор Л. Г. Рувинова,  
д-р техн. наук, д-р экон. наук, профессор А. Н. Шичков,  
канд. экон. наук, доцент О. Л. Гузакова,  
д-р пед. наук, профессор В. А. Тестов,  
канд. геогр. наук, доцент О. А. Золотова,  
канд. биол. наук, доцент В. В. Соколов,  
д-р филос. наук, доцент И. Н. Тяпин,  
канд. юрид. наук, доцент Т. Ю. Сухондяева,  
канд. ист. наук, доцент С. Г. Карпов,  
канд. филол. наук, доцент Т. Н. Александрова,  
канд. пед. наук, доцент Н. Н. Мелентьева,  
канд. геогр. наук, доцент Н. К. МаксUTOва

**В88 Вузовская наука – регионам** : материалы XVI Всероссийской научной конференции с международным участием (Вологда, 27 февраля 2018 г.) / М-во науки и высш. образ. РФ, Правительство Вологод. обл., Вологод. гос. ун-т ; [отв. ред. А. А. Сеницын]. – Вологда : ВоГУ, 2018. – 373 с. : ил.

ISBN 978-5-87851-801-7

В материалах XVI Всероссийской научной конференции представлены статьи ученых российских вузов по современным проблемам электроэнергетики и электротехники, экологии, водного хозяйства, социально-гуманитарных наук, а также результаты научных разработок в области строительства и архитектуры, экономики и менеджмента, информационных систем и технологий, лингвистики и др.

Публикуемые статьи весьма актуальны и могут быть полезны для научных работников, преподавателей, студентов, аспирантов вузов, работников государственных и муниципальных органов власти.

УДК 001(063)  
ББК 72+74.48

ISBN 978-5-87851-801-7

© ФГБОУ ВО «Вологодский  
государственный университет», 2018

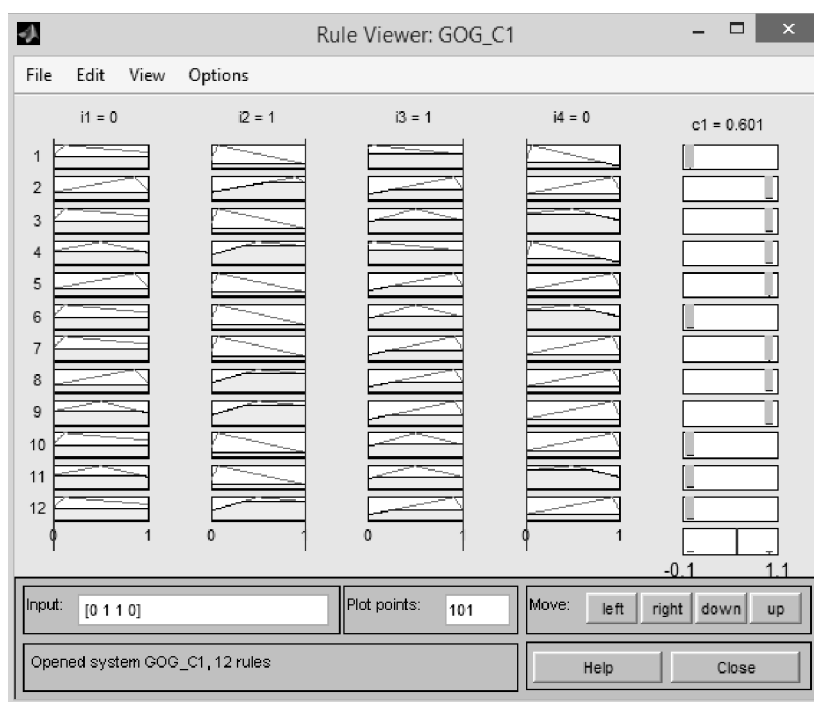


Рис. 2. Визуализация нечеткого логического вывода

### Литература

1. Швецов, А.Н. Мультиагентная информационная технология решения задач управления и принятия решений в организационных системах / А.Н. Швецов, С.В. Дианов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 49–54.
2. Швецов, А.Н. Распределенные интеллектуальные информационные системы и среды: монография / А.Н. Швецов, А.А. Суконщиков, Д.В. Кочкин и др. – Курск: Университетская книга, 2017. – 197 с.
3. Швецов А.Н. Мультиагентная система отдела по работе с обращениями и жалобами граждан / А.Н. Швецов, С.В. Дианов // Информационные технологии. – 2003. – № 7. – С. 26–31.

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГРАНИЧНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В РЕГЕНЕРАТИВНОМ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРЕ \*

**А.Н. Наимов**

*Вологодский государственный университет,  
Вологодский институт права и экономики ФСИН России*

**А.Н. Швецов**

*Вологодский государственный университет*

В настоящей статье исследуется вопрос о применении нейро-нечетких систем и технологий к моделированию граничного температурного режима в процессах аккумуляции и регенерации тепла в стационарном переключающемся регенеративном теплоутилизаторе (СПРТ).

Математические модели процессов аккумуляции и регенерации тепла в СПРТ разработаны и исследованы в работах [1–6]. В этих работах предполагается, что граничный температурный режим и коэффициенты теплоотдачи известны на основе теоретических сведений и экспериментальных данных. Такой подход не позволяет полностью понять динамику процессов аккумуляции и регенерации тепла в СПРТ и выявить влияние тепловых характеристик на эти процессы. В частности, самыми непредсказуемыми характеристиками являются коэффициенты теплоотдачи. В исследуемых процессах коэффициенты теплоотдачи, в отличие от классических моделей теп-

\*Работа поддержана грантом РФФИ 18-47-350001 p\_a

лопереноса, тесно связаны самим процессом и меняются во времени и в пространстве. На основе моделирования граничного режима, применяя модели работ [3–5], можно находить коэффициенты теплоотдачи наряду с температурными функциями. Моделирование граничного температурного режима в СПРТ с применением аппарата нейро-нечетких систем и технологий в вышеперечисленных исследованиях не встречается.

В работах [7–9] для моделирования граничного температурного режима в СПРТ построена следующая система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (на основе экспериментальных данных):

$$\frac{dT_{B_1}(\tau)}{d\tau} = k_1(\tau, T_{B_1}(\tau))(T_{B_1}(\tau) - T_{B_2}(\tau)), \quad \frac{dT_{B_2}(\tau)}{d\tau} = k_2(\tau, T_{B_2}(\tau))(T_{B_1}(\tau) - T_{out}). \quad (1)$$

В системе уравнений (1) неизвестными являются функции  $T_{B_1}(\tau)$  – температура воздуха на внутренней границе СПРТ в момент времени  $\tau$ ,  $T_{B_2}(\tau)$  – температура воздуха на внешней границе СПРТ в момент времени  $\tau$ . Процессам аккумуляции соответствуют промежутки времени  $(0, \tau_0)$ ,  $(2\tau_0, 3\tau_0)$ , . . . , а процессам регенерации соответствуют промежутки времени  $(\tau_0, 2\tau_0)$ ,  $(3\tau_0, 4\tau_0)$ , . . . , где  $\tau_0$  – фиксированное время аккумуляции (регенерации). Функции  $k_1(\tau, T_{B_1}(\tau))$ ,  $k_2(\tau, T_{B_2}(\tau))$  определяются в процессе аккумуляции тепла формулами:

$$k_1(\tau, T_{B_1}(\tau)) = 0, \text{ если } T_{B_1}(\tau) \geq T_{in},$$

$$k_1(\tau, T_{B_1}(\tau)) = a, \text{ если } T_{B_1}(\tau) < T_{in}, \quad (2)$$

$$k_2(\tau, T_{B_2}(\tau)) = b, \quad (3)$$

в процессе регенерации тепла формулами:

$$k_1(\tau, T_{B_1}(\tau)) = -a, \quad (4)$$

$$k_2(\tau, T_{B_2}(\tau)) = 0, \text{ если } T_{B_2}(\tau) \leq T_{out} + \delta(\tau),$$

$$k_2(\tau, T_{B_2}(\tau)) = -b, \text{ если } T_{B_2}(\tau) > T_{out} + \delta(\tau), \quad (5)$$

где  $\delta(\tau) = \delta_0 - \exp(-b\tau + \mu)$ . Система уравнений (1) исследуется вместе с начальными условиями

$$T_{B_1}(0) = T_{in}, \quad T_{B_2}(0) = T_{out} + \varepsilon. \quad (6)$$

В формулах (2)-(6) числа  $a$ ,  $b$ ,  $\delta_0$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  не определены. Значения этих чисел зависят от  $T_{in}$  – температуры помещения, откуда поступает тепловая энергия,  $T_{out}$  – температуры внешней среды, куда поступает часть тепловой энергии,  $G$  – расхода воздуха на этапах аккумуляции и регенерации тепла.

Предлагается применить нечетко-нейронные системы и технологии для разработки и реализации алгоритмов нахождения неопределенных параметров  $a$ ,  $b$ ,  $\delta_0$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  (по известным значениям  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ ,  $G$ ), при которых динамическая модель (1) адекватно описывает граничный температурный режим в процессах аккумуляции и регенерации тепла в СПРТ. Динамическая модель (1) считается адекватной, если численное решение системы дифференциальных уравнений (1) с начальными условиями (6) с заданной точностью приближает экспериментальные значения функций  $T_{B_1}(\tau)$  и  $T_{B_2}(\tau)$ .

Численное решение системы уравнений (1) с начальными условиями (7) показывает, что соответствующие значения параметров  $a$ ,  $b$ ,  $\delta_0$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  можно подобрать задавая значения  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ ,  $G$ . Однако выявить зависимость  $a$ ,  $b$ ,  $\delta_0$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  от  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ ,  $G$  аналитическими и численными методами невозможно. Поэтому ставится задача разработки и реализации алгоритмов нахождения значений  $a$ ,  $b$ ,  $\delta_0$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  по значениям  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ ,  $G$ , применяя нейро-нечеткие системы и технологии. Для решения поставленной задачи предлагается два подхода. Суть перво-

го подхода состоит в разработке многослойного перцептрона ([10]) и формировании обучающей выборки на основе экспериментальным путем установленных значений  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ ,  $G$  и  $a$ ,  $b$ ,  $\delta_0$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$ . Суть второго подхода состоит в применении теории нечетких систем, нечетких технологий и методов исследования дифференциальных уравнений с нечеткими коэффициентами. Хотя теория нечетких систем и нечеткие технологии общеизвестны, их применение к поставленной задаче требует определенных усилий и творческого подхода. Методы исследования дифференциальных уравнений с нечеткими коэффициентами разработаны и развиты в работах [11-14]. Эти методы дополняют теорию нечетких систем применительно к исследованию динамических моделей, представляемых дифференциальными уравнениями. Здесь, наряду с вопросами применения нечетких систем к дифференциальным уравнениям с неопределенными коэффициентами, возникают теоретические задачи, связанные с теорией дифференциальных уравнений [11-13].

### Литература

1. Allen P. W. Experimental and Numerical Investigation of Fluid Flow and Heat Transfer in Microchannels. Msc Thesis, Mechanical Engineering Department, Louisiana State University, 2007.
2. Al-Nimr M. A., Maqableh M., Khadrawi A. F. Fully developed thermal behaviors for parallel flow microchannel heat exchanger. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2009. P. 385–390.
3. Васильев В.А. Методы расчета тепловых процессов в стационарном переключающемся регенеративном теплоутилизаторе: дис. канд. техн. наук: 05.04.03. – СПб. 2010.
4. Захаров А. А., Низовцев М. И. Экспериментальные исследования регенератора тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока // Научный вестник НГТУ. 2014. № 1. с. 143–150.
5. Цыганков А. В., Рябова Т. В., Алешин А. Е. Компьютерное моделирование тепломассопереноса в канале регенеративного теплообменника // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 1. с. 1–7.
6. Цыганков А. В., Алешин А. Е. Моделирование процессов конденсации и испарения в канале регенеративного теплоутилизатора // Вестник Международной академии холода. 2016. № 1. С. 82–85.
7. Наимов А. Н., Монаркин Н. Н. Моделирование и расчет температурного режима в процессе аккумуляции и регенерации тепла в теплоутилизаторе // Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2015», Новосибирск, 19-23 октября 2015 г., с. 511-517.
8. Наимов А. Н., Монаркин Н. Н. Математическое моделирование граничного температурного режима в регенеративном теплоутилизаторе с применением нейро-нечеткой системы // Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий: сборник трудов VIII международной конференции ПМТУКТ-2015, 21-26 сентября 2015 г., Воронеж, изд-во «Научная книга», 2015, с. 251-255.
9. Наимов А. Н., Монаркин Н. Н. Исследование математической модели процесса аккумуляции тепловой энергии в СПРТ с неопределенным коэффициентом теплоотдачи // Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука – региону», 25 февраля 2015 г. – Вологда, 2015, с. 47-54.
10. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г. Э. Яхьяева. – М.: Изд-во Интернет-университет информационных технологий – ИНТУИТ, 2006. – 320 с.
11. Kaleva O. The Peano Theorem for fuzzy differential equations revisited / O. Kaleva // Fuzzy Sets and Systems, 98 (1998), pp. 147-148.
12. Oberguggenberger M. Differential Equations with Fuzzy Parameters / M. Oberguggenberger, S. Pittschmann // Mathematical and Computer Modeling of Dynamical Systems. 1999. V. 5. P. 181–202.
13. Park J. Y. Existence and uniqueness theorem for a solution of fuzzy differential equations, Internat / J. Y. Park, H. K. Han // J. Math. and Math. Sci., 22, No. 2 (1999), pp. 271-279.
14. Матвеев М. Г., Семенов М. Е., Канищева О. И., Абаполова Е. А. Дефаззификация решений дифференциальных уравнений с нечеткими параметрами // Вестник ВГУ: Системный анализ и информационные технологии, 2011, № 1, с. 179-183.