

этим, актуальной становится задача определения оптимальной конфигурации нейронной сети, которую нельзя решить оценочными методами на этапе проектирования.

Возможным решением задачи оптимизации структуры является метод организации нейронной сети, при котором она проектируется недоопределённой и в дальнейшем самостоятельно подбирает свой размер, добавляя или убирая нейронные узлы своих скрытых слоёв в процессе настройки на множестве примеров на протяжении ограниченного количества эпох обучения. После получения пакета из нескольких изменений конфигурации, нейросеть определяет градиент изменений ошибки и объёма памяти и вырабатывает следующее направление для изменений своей структуры. Так, используя механизм обратного распространения ошибки, сеть вырабатывает маршрут конфигурации и самоорганизуется, пока градиент изменений не меняет своего направления или градиент ошибки не становится слишком мал относительно градиента памяти.

При таком подходе отсутствует необходимость дескрипции информации узлов скрытых слоёв нейронной сети, задача которой на текущий момент остаётся нерешённой, и процесс конфигурации сети осуществляется стохастическими алгоритмами самой системы.

Список публикаций:

- [1] Bhim Singh, Gaurav Kumar Kasal. *Neural network-based voltage regulator for an isolated asynchronous generator supplying three-phase four-wire loads* // *Electric Power Systems Research*. 2008. Vol. 78, Issue 6. Pp. 985-994.
- [2] Lei Li, Zhizhong Mao. *A direct adaptive controller for EAF electrode regulator system using neural networks* // *Neurocomputing*. 2012. Vol. 82. Pp. 91-98.
- [3] Alberto Pliego Marugan, Fausto Pedro Garcia Marquez, Jesus Maria Pinar Perez, Diego Ruiz-Hernandez. *A survey of artificial neural network in wind energy systems* // *Applied Energy*. 2018. Vol. 228. Pp. 1822-1836
- [4] Moulay Rachid Douiri, Ahmed Essadki, Mohamed Cherkaoui. *Neural Networks for Stable Control of Nonlinear DFIG in Wind Power Systems* // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 127. Pp. 454-463.
- [5] Asiye Nikseresht, Alireza Nazemi. *A novel neural network for solving semidefinite programming problems with some applications* // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2019. Vol. 350. Pp. 309-323.
- [6] Daniel A. White, William J. Arrighi, Jun Kudo Seth, E. Watts. *Multiscale topology optimization using neural network surrogate models* // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2019. Vol. 346. Pp. 1118-1135.
- [7] Long Jina Shuai, Lic Bin Hu, Mei Liu. *A survey on projection neural networks and their applications*
- [8] Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines. Third Edition* // Pearson Education. 2009. P. 937.
- [9] Franco Scarsellia, Ah Chung Tsoib, Markus Hagenbuchnerb. *The Vapnik–Chervonenkis dimension of graph and recursive neural networks* // *Neural Networks*. 2018. Vol. 108. Pp. 248-259
- [10] Conduit B. D., Illston T., Baker S., Vadegadde Duggappa D., Harding S., Stone H. J., Conduit G. J. *Probabilistic neural network identification of an alloy for direct laser deposition* // *Materials & Design*. 2019. Vol 168.
- [11] Shuo Feng, Huiyu Zhou, Hongbiao Dong. *Using deep neural network with small dataset to predict material defects* // *Materials & Design*. 2019. Vol. 162. Pp. 300-310
- [12] Vahora S. A., Chauhan N. C. *Deep neural network model for group activity recognition using contextual relationship* // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2019. Vol. 22. Issue 1. Pp. 47-54
- [13] David GT Barrett, Ari S Morcos, Jakob H Macke. *Analyzing biological and artificial neural networks: challenges with opportunities for synergy?* // *Current Opinion in Neurobiology*. 2019. Vol. 55. Pp. 55-64.
- [14] Bärtschi P., Galloni C., Lange C., Kilminster B. *Reconstruction of lepton pair invariant mass using an artificial neural network* // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2019. Vol. 929. Pp. 29-33
- [15] Ahmed Tealab. *Time series forecasting using artificial neural networks methodologies: A systematic review* // *Future Computing and Informatics Journal*. 2018. Vol. 3. Issue 2. Pp. 334-340

## **Устройство стабилизации температуры контейнеров с рабочим веществом для высокочастотных активных сред на парах металлов**

**Букреев Евгений Геннадьевич<sup>1</sup>**

*Мусоров Илья Сергеевич*<sup>1</sup>

*Торгаев Станислав Николаевич*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*Научный руководитель: Евтушенко Геннадий Сергеевич, д.т.н.*

*E-mail: evgenybukreev.rab@gmail.com*

Высокочастотные активные среды на парах металлов используются в науке и технике, например, в качестве скоростных усилителей яркости для визуализации объектов и быстропротекающих процессов в условиях мощной фоновой засветки [1-5]. Системы автоматического управления используются в

промышленности для слежения и управления технологическим процессом, предотвращения критических и аварийных ситуаций и увеличения точности и стабильности работы систем [6]. В работе [7] показано, что чувствительность параметров генерации активных сред на парах металлов увеличивается с ростом частоты генерации. Отсюда следует, что высокочастотные активные среды требуют большей точности стабилизации, что может критически сказаться на их работе при возникновении непредвиденных обстоятельств: длительного падения питающего напряжения, нарушения изоляции или других. Помимо этого, высокочастотные среды более чувствительны к ситуациям перегрева, так как из-за малого объема газоразрядной трубки (ГРТ) процессы распространения паров по объёму трубки и осаждения излишков на поверхности стекла (который при перегреве служит паразитной холодной областью) происходят быстрее. Данные обстоятельства накладывают взаимопротивоположные ограничения на систему: она должна быть быстрой, чтобы компенсировать возможные влияния дестабилизирующих факторов, но при этом достаточно плавной, чтобы не допускать критических уровней перегрева.

Для управления нагреванием ёмкости с активным веществом была создана система регулирования температуры, построенная на управляемом источнике питания, подключённого к резистивной нагрузке. Управление ключевыми элементами производилось при помощи микроконтроллера. В системе использовался один контур обратной связи: по температуре.

Были рассмотрены линейные и нелинейные ПИД-регуляторы, основой которых послужил алгоритм наименьших квадратов – LMS (least mean squares). С целью оптимизации работы системы в широком диапазоне температур и конфигураций нагреваемой среды были разработаны законы регулирования с изменяющимися коэффициентами, в основу которых было положено разделение процесса нагрева и стабилизации на отдельные фазы, в которых менялся как компонентный состав ПИД-регулятора, так и законы изменения коэффициентов отдельных компонентов. Разработанные законы были протестированы на макете нагреваемого устройства при низких температурах и при высоких температурах. Полученные температурные характеристики показали преимущество разработанных нелинейных законов по сравнению с типовыми линейными: в среднем, объект быстрее нагревался до необходимой температуры и лучше удерживал температуру при воздействии дестабилизирующих факторов. Кроме того, скорость изменения времени стабилизации нелинейного регулятора оказалась ниже чем линейного в диапазоне температур 100 – 500 °С.

Таким образом, были разработаны нелинейные законы регулирования ПИД-регулятора, показавшие на низких температурах более высокую эффективность управления температурой объекта по сравнению с классическими законами регулирования и более высокую стабильность температуры при изменении уровня стабилизации температуры и воздействии дестабилизирующих факторов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

Список публикаций:

- [1] Г.Г. Петраш (и др.). *Оптические системы с усилителями яркости* // М.: Наука. 1991. С. 152.
- [2] Пасманик Г. А., Земсков К. И., Казарян М. А. и др. *Оптические системы с усилителями яркости* // ИПН АФ СССР. Горький. 1988. С. 173.
- [3] Evtushenko G. S., Trigub M. V., Gubarev F. A., Evtushenko T. G., Torgaev S. N., Shiyarov D. V. *Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting* // *Review of Scientific Instruments*. 2014. Vol. 85. Issue 3. Article number 033111. Pp. 1-5.
- [4] Abramov D. V., Arakelian S. M., Galkin A. F., Klimovskii I. I., Kucherik A. O., Prokoshev V. G. *On the possibility of studying the temporal evolution of a surface relief directly during expo-sure to high-power radiation* // *Quantum Electronics*, 2006. Vol. 36. № 6. Pp. 569–575.
- [5] Kuznetsov A. P., Gubskii K. L., Savjолоv A. S., Sarantsev S. A., Terekhin A. N., Buzhinskii R. O. *Visualization of plasma-induced processes by a projection system with a Cu-laser-based brightness amplifier* // *Plasma Physics Reports*. 2010. Vol. 36 (5). Pp. 428–437.
- [6] Денисенко В.В. *Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием* // М.: Горячая линия–Телеком. 2014. С. 608, ил.
- [7] Кулагин А. Е., Торгаев С. Н., Евтушенко Г. С., Тригуб М. В. *Кинетика активной среды усилителя яркости на парах меди* // *Известия вузов. Физика*. 2017. Т. 60. №. 11. С. 122-127.