



УДК 697:004.8

**И. Л. ШУБИН, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, директор;**  
**А. С. СТРОНГИН, канд. техн. наук**

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ЗДАНИЙ**

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; эл. почта: strongin@yandex.ru

*Ключевые слова:* инженерное оборудование, системы управления, автоматизация, искусственный интеллект, гибридное параллельное нейроруправление, нейроконтроллер.

---

*Целью статьи является анализ возможности применения искусственного интеллекта в системах управления инженерным оборудованием жизнеобеспечения зданий. Рассмотрены недостатки традиционных систем автоматизации и преимущества использования элементов систем искусственного интеллекта. Предложено преимущественное применение гибридных параллельных систем нейроруправления, сочетающих параллельное подключение обычного и нейроконтроллера.*

---

На этапе эксплуатации объектов строительства приоритетными задачами являются управление инженерными сетями и энергопотреблением, а также мониторинг технического состояния оборудования. Развитие систем автоматизации и диспетчеризации позволяет управлять и контролировать работу инженерного оборудования жизнеобеспечения зданий (теплоснабжение, электроснабжение, холодоснабжение, отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, противопожарные системы, связь, безопасность и пр.) [1–4]. В действительности часто представляется сложным сделать работу оборудования полностью автоматической. Управление должно осуществляться людьми. Требуется постоянное человеко-машинное взаимодействие, в ходе которого оператор должен генерировать входные сигналы каждый раз, когда требуется изменение параметров с целью адаптации к изменению динамики процесса. Необходимым условием применения методов адаптивного управления является наличие большого объема априорной информации об объекте управления, например, данных математического моделирования [5–7].

Традиционным решением в системах управления является использование пропорционально-интегральных и пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов (ПИ- и ПИД-контроллеров). Их использование не требует знания точной модели процесса, поэтому они эффективны в управлении процессами, математические модели которых достаточно сложно определить. ПИ- и ПИД-контроллеры строятся на основе классической теории управления и просты для понимания. Наряду с вышеуказанными достоинствами, ПИ- и ПИД-контроллеры имеют ряд недостатков. Например, если рабочая точка процесса изменяется из-за возмущающих воздействий, параметры контроллера требуется перенастроить вручную, чтобы получить новую оптимальную настройку. Настройка должна выполняться опытным оператором. Кроме того, для процессов с переменными параметрами, временными задержками,



существенными нелинейностями и значительными помехами, использование ПИ- и ПИД-контроллеров не обеспечивает оптимальных характеристик [8, 9].

В отношении существующих систем автоматизации, управляющих функционированием инженерного оборудования жизнеобеспечения зданий, можно отметить следующие принципиальные недостатки:

1. Ошибки в управлении, вызванные «человеческим фактором»: недостаточная квалификация и опыт эксплуатационного персонала, сложность принятия правильных решений и действий в изменившихся условиях, особенно в аварийных ситуациях.

2. Невозможность проведения системной обработки и анализа данных для объективной оценки эффективности работы автоматики в различных режимах.

3. Отсутствие детального контроля энергопотребления всеми энергопотребляющими устройствами.

4. Стандартные алгоритмы управления для конкретного объекта требуют постоянной корректировки с участием оператора.

Устранить указанные недостатки можно применением систем управления с использованием искусственного интеллекта. Искусственный интеллект представляет собой компьютерную систему, способную выполнять задачи, которые обычно требуют интеллектуальных способностей человека. Такая система способна обрабатывать информацию, принимать решения и действовать в соответствии с этими решениями. Системы искусственного интеллекта генерируют выходные данные, такие как контент, прогнозы, рекомендации или решения для заданного набора целей, определенных человеком. Преимуществами систем искусственного интеллекта являются их возможность накапливать, анализировать и объективно оценивать крупные базы данных [10].

Интеллектуальной системой управления инженерным оборудованием (ИСУ) будем считать систему управления, включающую технические средства цифровой инфраструктуры, осуществляющую регулирование параметров функционирования систем инженерного обеспечения зданий в автоматическом режиме по заданному алгоритму, снабженную механизмом системной обработки и анализа данных, позволяющим без участия оператора корректировать алгоритм управления (самообучающаяся система). Благодаря способности ИСУ к обучению и самообучению не требуется полный объем первоначальной информации, что во многих случаях позволяет не проводить детального математического моделирования сложных нестационарных процессов теплового и воздушного режима зданий [11, 12]. Отметим, что результаты математического моделирования теплового и воздушного режима зданий практически невозможно верифицировать на этапе проектирования вследствие отсутствия полных и достоверных исходных данных.

Реализация ИСУ возможна с применением самонастраивающихся систем, нечеткой логики и нейронного управления. На ближайшую перспективу наиболее реальным представляется внедрение гибридного параллельного нейроуправления (ГПН) (рисунок).

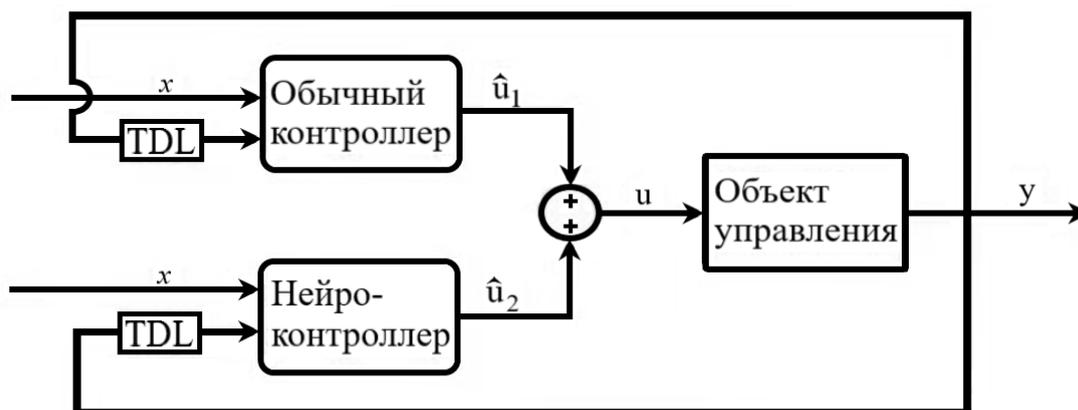


Схема гибридного параллельного нейроуправления

ГПН представляет собой компромиссное решение для внедрения нейроуправления динамическими процессами и перехода от обычных ПИД-контроллеров к нейроконтроллерам. Методы ГПН предусматривают параллельное подключение обычного и нейроконтроллера. ПИД-контроллер и нейроконтроллер на начальном этапе получают одинаковые установки. Возможны следующие варианты совместной работы контроллеров:

1. К объекту управления подключается обычный контроллер, а после его программирования и наладки во всех режимах происходит обучение нейроконтроллера. После обучения управляющие сигналы контроллеров суммируются.

2. Области действия обычного и нейроконтроллера разграничиваются. Область действия, как правило, определяется текущим режимом эксплуатации (период года, технологические требования, аварийная ситуация и т. п.).

Можно отметить следующие преимущества ИСУ по сравнению с обычными системами автоматизации:

1. Снижение риска ошибок, вызванных «человеческим фактором».

2. Возможность детального контроля и анализа энергопотребления всеми энергопотребляющими устройствами (часовой, сезонный, годовой расход тепловой и электрической энергии, а также других ресурсов).

3. Наличие блока системной обработки и анализа данных позволяет проводить объективную оценку эффективности работы автоматики в различных режимах. Постоянное накопление и обновление базы данных с учетом прогноза погодных изменений и технологических требований позволяет формировать оптимальный алгоритм управления.

4. Возможность без участия оператора корректировать алгоритм управления (самонастраивающаяся система) на основе обработки полученных данных объективного контроля параметров функционирования инженерного оборудования, достигнутого эффекта и прогноза погодных изменений и технологических требований.

5. Регулирование параметров микроклимата по «доминирующему фактору», а также по совокупному воздействию влияющих факторов (температура воздуха, результирующая температура помещения, радиационная температура нагретых и



охлажденных поверхностей, локальная асимметрия результирующей температуры, подвижность и относительная влажность воздуха, качество воздуха по газовому составу) [13].

6. Самонастройка работы автоматики в переходных режимах, учитывающая теплоаккумулирующую способность ограждающих конструкций здания (например, перевод систем в дежурный режим работы и восстановление рабочего режима) [14].

7. Автоматический перевод систем жизнеобеспечения в режим аварийной эксплуатации при аварийном отключении основных источников теплоэлектроснабжения [15] (переход на автономные генерирующие источники, поддержание пороговых показателей обитаемости и устойчивости, отключение не критических помещений и т. п.). Восстановление нормативных показателей микроклимата в требуемые сроки после устранения аварии с использованием форсированных режимов работы оборудования (системы «натопы» и т. п.).

8. Возможность по прогнозу изменения погоды или технологического режима заранее изменять параметры функционирования систем жизнеобеспечения, не допуская нарушения нормативных показателей микроклимата помещений и перерасхода энергетических ресурсов. Например, при прогнозе резкого похолодания в холодный период года заранее увеличивается тепловая мощность системы отопления, не допуская «недотопа», а при прогнозе потепления – заранее снижается, не допуская «перетопа».

9. Детальный мониторинг функционирования всех элементов систем жизнеобеспечения: контроль и диагностика ошибок, рекомендации по их устранению; контроль времени наработки; прогнозирование проведения наладочных и ремонтных работ.

### **Заключение**

Применение систем управления инженерным оборудованием жизнеобеспечения зданий с использованием искусственного интеллекта позволяет снизить риск ошибок, вызванных «человеческим фактором», улучшить микроклимат помещений, сократить затраты тепловой и электрической энергии, обеспечить эффективное и безопасное функционирование систем в режимах нормальной и аварийной эксплуатации. На ближайшую перспективу наиболее реальным представляется внедрение гибридного параллельного нейрорегулирования с параллельным включением в систему управления обычного и нейроконтроллера.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Максименко, В. А. Конвергентная аппаратно-программная платформа автоматизации инженерного оборудования зданий / В. А. Максименко. – Текст : непосредственный // Энергосбережение. – 2021. – № 1. – С. 54–56.
2. Стронгин, А. С. Регулирующие устройства в интеллектуальной системе управления вентиляционными сетями / А. С. Стронгин. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2022. – № 3, 4. – С. 24–27.
3. Шубин, И. Л. Ключевые факторы влияния инженерного оборудования зданий на показатели углеродного следа / И. Л. Шубин, А. С. Стронгин. – Текст : электронный // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2022. – № 3. – С. 12–20. – DOI 10.21869/2311-1518-2022-39-3-12-20.
4. Дворецкий, А. Т. Низкоэнергетические здания: окна, фасады, солнцезащита, энергоэффективность : монография / А. Т. Дворецкий, А. В. Спиридонов, И. Л. Шубин. –



Москва : Директ-Медиа, 2022. – 232 с. – ISBN 978-5-4499-2943-3. – Текст : непосредственный.

5. Рымкевич, А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха / А. А. Рымкевич. – Москва : Стройиздат, 1990. – 300 с. – ISBN 5-274-01055-6. – Текст : непосредственный.

6. Панферов, В. И. К теории управления централизованного теплоснабжения / В. И. Панферов, С. В. Панферов. – Текст : непосредственный // Вестник ЮУрГУ. – 2011. – № 16. – С. 41–43.

7. Energy Master Planning for Net-Zero Energy Resilient Public Communities (Annex 73). – URL: <https://iea-ebc.org/Data/publications/Annex73-Project-Summary-Report.pdf>.

8. Бесекевский, В. А. Теория систем автоматического управления. 4-е изд. / В. А. Бесекевский, Е. И. Попов. – Санкт-Петербург : Профессия, 2004. – 752 с. – ISBN 5-93913-035-6. – Текст : непосредственный.

9. Чистович, С. А. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / С. А. Чистович [и др.]. – Ленинград : Стройиздат, 1987. – 248 с. – Текст : непосредственный.

10. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие / В. Л. Курбатов, В. И. Римшин, И. Л. Шубин, С. В. Волкова. – Москва : АСВ, 2023 – 420 с. – ISBN 978-5-4323-0491-9. – Текст : непосредственный.

11. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Trough Improved Machine Self-learning Algorithms / A. Krūmiņš, N. Bogdanovs, R. Beļinskis, K. Mežale, M. Garjāns // Johansson D. Cold Climate HVAC / D. Johansson et al. – Springer Proceedings in Energy, 2018 – P. 41-49. – URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4_4).

12. Gritmitlin, A. M. Assessment of the efficiency of the use of activating turbulent jets to eliminate the risk of the formation of unventilated zones in large premises / A. M. Gritmitlin, A. S. Strongin // Journal of Physics Conference Series. – 2021. – doi 10.1088/1742-6596/2131/5/052068.

13. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений / Л. Банхиди. – Москва : Стройиздат, 1981. – 248 с. – Текст : непосредственный.

14. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика : теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / В. Н. Богословский. – Изд. 3-е. – Санкт-Петербург : АВОК Северо-Запад, 2006. – 400 с. : ил. – ISBN 5-902146-10-0. – Текст : непосредственный.

15. Стронгин, А. С. Особенности проектирования систем жизнеобеспечения в условиях аварийной эксплуатации / А. С. Стронгин. – Текст : непосредственный // БСТ. Наука 2.2. – 2024. – № 6. – С. 32–33.

**SHUBIN Igor Lyubimovich, corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, director; STRONGIN Andrey Semenovich, candidate of technical sciences**

## **INTELLIGENT BUILDING ENGINEERING EQUIPMENT MANAGEMENT SYSTEMS**

Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS)

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia;

e-mail: [strongin@yandex.ru](mailto:strongin@yandex.ru)

*Key words:* building engineering equipment, control systems, automation, artificial intelligence, hybrid parallel neurofeedback, neurocontroller.



*The purpose of this article is to analyze the potential for using artificial intelligence (AI) in control systems for building life support equipment. This paper discusses the shortcomings of traditional automation systems and the benefits of incorporating elements of AI systems. We propose the use of hybrid, parallel neurocontrol systems that combine the parallel connection of conventional and neurocontroller components.*

## REFERENCES

1. Maksimenko V. A. Konvergentnaya apparatno-programmnaya platforma avtomatizatsii inzhenerного oborudovaniya zdaniy [Convergent hardware and software platform for automation of engineering equipment of buildings]. *Energoberezhenie [Energy Conservation journal]*. № 1, 2021, P. 54–56.
2. Strongin A. S. Reguliruyushchie ustroystva v intellektualnoy sisteme upravleniya ventilyatsionnymi setyami [Regulating devices in an intelligent ventilation network management system]. *ABOK*, 2022, № 3, 4. P. 24–27.
3. Shubin I. L., Strongin A. S. Klyuchevye faktory vliyaniya inzhenerного oborudovaniya zdaniy na pokazateli uglerodnogo sleda [Key factors of the influence of engineering equipment of buildings on carbon footprint indicators]. *Biosfernaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii [Biosphere compatibility: man, region, technologies]*. 2022, № 3, P. 12–20. DOI: 10.21869/2311-1518-2022-39-3-12-20.
4. Dvoretzky A.T., Spiridonov A.V., Shubin I.L. Nizkoenergeticheskie zdaniya: okna, fasady, solntsezashchita, energoeffektivnost [Low-energy buildings: windows, facades, sun protection, energy efficiency]: monografiya // Moscow, Direct Media, 2022, 232 p. – ISBN 978-5-4499-2943-3.
5. Rymkevich A. A. Sistemnyy analiz optimizatsii obshcheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha [System analysis of optimization of general exchange ventilation and air conditioning]. Moscow, Stroyizdat, 1990, 300 p. ISBN 5-274-01055-6.
6. Panferov V. I., Panferov S. V. K teorii upravleniya tsentralizovannogo teplosnabzheniya [On the theory of centralized heat supply management]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gos. un-ta [Bulletin of South Ural State University]*. 2011, № 16. P. 41–43.
7. Energy Master Planning toward Net Zero Energy Resilient Public Communities Guide. International Energy Agency, IEA EBC Annex 73 Operating Agents, 2021.
8. Besekersky V. A., Popov E. I. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control systems]. 4th ed., St. Petersburg, Professiya, 2003, 752 p.
9. Chistovich S. A. et al. Avtomatizirovannye sistemy teplosnabzheniya i otopleniya [Automated systems of heat supply and heating]. Leningrad, Stroyizdat, 1987, 248 p.
10. Kurbatov V. L., Rimshin V. I., Shubin I. L., Volkova S. V. Informatsionnoe modelirovanie i iskusstvennyy intellekt v sovremennom stroitelstve i zhilishchno-kommunalnom khozyaystve [Information modeling and artificial intelligence in modern construction and housing and communal services]: uchebnoe posobie, Moscow, ACB, 2023, 420 p.
11. A. Krūmiņš, N. Bogdanovs, R. Beļinskis, K. Mežale, M. Garjāns. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Through Improved Machine Self-learning Algorithms / Andris Krūmiņš // D. Johansson et al. (eds.), *Cold Climate HVAC 2018*, Springer Proceedings in Energy, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4_4).
12. A. M. Grititlin, A. S. Strongin. 2021 Assessment of the efficiency of the use of activating turbulent jets to eliminate the risk of the formation of unventilated zones in large premises. *Journal of Physics: Conference Series* 2131 052068, doi:10.1088/1742-6596/2131/5/052068.
13. Banhidi L. Teplovoy mikroklimat pomeshcheniy [Thermal microclimate of premises]. Moscow, Stroyizdat, 1981, 248 p.



14. Bogoslovsky V. N. Stroitel'naya teplofizika: teplofizicheskie osnovy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha [Building thermophysics: thermophysical bases of heating, ventilation and air conditioning]. Izd. 3-e. St. Petersburg, ABOK Severo-Zapad, 2006, 400 p. ill. – ISBN 5-902146-100.

15. Strongin A. S. Osobennosti proektirovaniya sistem zhizneobespecheniya v usloviyakh avariynoy ekspluatatsii [Features of the design of life support systems in emergency operation]. BST. Nauka 2.2, № 6, 2024. P. 32–33.

© **И. Л. Шубин, А. С. Стронгин, 2024**

Получено: 21.08.2024 г.