

*В.М. Дозорцев, А.А. Аносов, Е.С. Баулин,  
М.В. Городнова, А.Я. Коростелев, И.В. Сластенов (Группа Рубитех)*

### **Искусственный интеллект для промышленных предприятий**

*Искусственный интеллект (ИИ) – всепроникающий тренд нового столетия. Интерес к нему, как и его влияние на все стороны современной жизни, огромно. Это касается и промышленности, в том числе топливно-энергетического комплекса и химии. В автоматизации химико-технологических процессов (ХТП) у ИИ богатая полувековая история. Цель настоящего изложения – дать краткий исторический обзор темы, проанализировать особенности предметной области в контексте ИИ-подходов, обсудить перспективу развития эффективных ИИ-решений в различных областях автоматизации ХТП с фокусом на задачах, решаемых компанией Центр цифровых технологий (группа Rubytex) (ЦЦТ).*

*Ключевые слова: автоматизация управления химико-технологическими процессами, гибридное моделирование, нисходящая и восходящая парадигмы искусственного интеллекта, фундаментальное моделирование, искусственные нейронные сети.*

*Дозорцев Виктор Михайлович – д-р техн. наук, директор по развитию бизнеса,  
Аносов Андрей Александрович – канд. техн. наук, директор по разработке программного обеспечения,  
Центр цифровых технологий (группа Рубитех),  
Баулин Евгений Сергеевич – канд. техн. наук, доцент, МФТИ,  
Городнова Мария Владимировна – старший инженер,  
Коростелев Александр Яковлевич – канд. техн. наук, ведущий инженер,  
Сластенов Игорь Владимирович – директор по разработке программного обеспечения,  
Центр цифровых технологий (группа Рубитех).*

### **Список литературы**

1. Rich E. *Artificial Intelligence*. McGraw Hill, N.-Y., 1983.
2. Минский М. *Фреймы для представления знаний*. М.: Мир, 1979.
3. Quillian M. R. *Semantic memory / In Semantic information processing*, M.L. Minsky (ed.). MIT Press, 1968. Pp. 227–270.
4. Schvaneveldt R.W. et al. *Network structures in proximity data // The psychology of learning and motivation*. 1989. Vol. 24. Pp. 249–284.
5. Заде Л.А. *Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / В кн.: Математика сегодня*. М.: Знание. 1974/С. 5–49.
6. Siirala J.J, Rudd D.F. *Computer-aided synthesis of chemical process designs. From reaction path data to the process task network // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1971. Vol.10. Pp. 353-362.
7. Kramer M.A., Palowitch B.L. *A rule-based approach to fault diagnosis using the signed directed graph // AIChE Journal*. 1987. Vol. 33. Pp.1067–1078.
8. Rich S.H., Venkatasubramanian V. *Model-based reasoning in diagnostic expert systems for chemical process plants // Computers & Chemical Engineering*. 1987. Vol.11. Pp.111–122.
9. Venkatasubramanian V., Suryanarasimham K.V. *Causal modeling for process safety analysis / In: AIChE National Meeting*, 1987.
10. Basila M.R.et al. *A model—object based supervisory expert system for fault tolerant chemical reactor control // Computers & Chemical Engineering*. 1990. Vol.14. Pp. 551–560.
11. Николенко С.И., Кадурун А.А., Архангельская Е.О. *Глубокое обучение*. — СПб.: Питер, 2018.
12. Hoskins J.C. et al. *Fault diagnosis in complex chemical plants using artificial neural networks // AIChE Journal*. 1991. Vol.37. Pp.137–141.
13. Marcano L. *Using the concept of data enclosing tunnel as an online feedback tool for simulator training // Proc. 59<sup>th</sup> Conf. on Simulation and Modelling (SIMS 59)*. 2018. Oslo Metropolitan University, Norway.

14. Divsha Bhat. *Aramco launches world's first industrial AI model*. 2024. March. <https://www.agbi.com/ai/2024/03/aramcolaunches-world-first-industrial-ai-model/>
15. Venkatasubramanian V. *The Promise of Artificial Intelligence in Chemical Engineering: Is It Here, Finally?* // *AIChE Journal*. 2019. Vol.65(2). Pp. 466–478.
16. Hill J. et al. *Materials science with large-scale data and informatics: unlocking new opportunities* // *MRS Bulletin*. 2016. Vol.41(105). Pp. 399–409.
17. Tran K., Ulissi Z.W. *Active learning across intermetallics to guide discovery of electro-catalysts for CO<sub>2</sub> reduction and H<sub>2</sub> evolution* // *Nature Catalysis*. 2018. Vol.1. Pp. 696–703.
18. *How cognitive anomaly detection and prediction works – Progress DataRPM*. <https://www.progress.com/datarpm/how-it-works>
19. Bollas G.M. et al. *Using hybrid neural networks in scaling up an FCC model from a pilot plant to an industrial unit* // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2003. Vol.42 (8-9). Pp. 697–713.
20. Acosta-Lopez J.G.; de Lasa H. *Artificial Intelligence for Hybrid Modeling in Fluid Catalytic Cracking (FCC)* // *Processes*. 2024. Vol.12. 61 p.
21. Дозорцев В.М. *Будущее компьютерного тренинга: от формирования отдельных навыков к управлению компетенциями операторов* // *Автоматизация в промышленности*. 2022. № 9. С.3–9.
22. Погорелов В.П. и др. *Российская тренажерная платформа DeltaSim: характеристики, преимущества, история создания* // *Автоматизация в промышленности*. 2022. № 9. С.10–16.
23. Дозорцев В.М., Максименков В.Н., Власов А.К. *Гибридный метод автоматического оценивания действий операторов технологических процессов* // *Автоматизация в промышленности*. 2024. № 10. С. 21-29.
24. Walter F. Bogaerts, Zheng J.H. "PETROCRUDE": *Intelligent System for Automated Corrosion Risk Assessment in Oil Refinery Operation* / *MPC Conference*. 2022.
25. Zhang M. et al. *A hybrid safety monitoring framework for industrial FCC disengager coking rate based on FPM, CFD, and ML* // *Process Safety and Environmental Protection*. 2023. Vol.175. Pp.17–33.
26. Владов Р.А., Дозорцев В.М., Шайдуллин Р.А., Белоусов О.Ю. *Предиктивная аналитика состояния оборудования в химико-технологических процессах* // *Автоматизация в промышленности*. 2019. № 12. С. 44–52.
27. Weibull W. *A statistical distribution function of wide applicability* // *Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME*. 1951. Vol.18(3). Pp. 293–297.
28. Herbert J.A.F. Tulleken. *Grey-box modelling and identification using physical knowledge and Bayesian techniques* // *Automatica*. 1993. Vol.29(2). Pp. 285-308.
29. Bhushan Gopaluni R. et al. *Modern Machine Learning Tools for Monitoring and Control of Industrial Processes: A Survey* / *IFAC World Congress*. 2020 // [arXiv:2209.11123v1](https://arxiv.org/abs/2209.11123v1).
30. Тугашова Л.Г. *Виртуальные анализаторы показателей качества процесса ректификации* // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2013. №3.
31. Петухов М.Ю. *Особенности параметрического анализа ЛП-модели производственного планирования для нефтеперерабатывающего завода* // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2015. №4. С. 3–9.
32. Ibn Majdoub Hassani, Z. et al. *Hybrid approach for solving the integrated planning and scheduling production problem* // *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2020. Vol.18. No.1. Pp.172–189.
33. Александров В.Р. и др. *Искусственный интеллект в задачах планирования производства* // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2022. Т.5(2). № 2. С.196–208.
34. Kuzhagaliyeva N. et al. *Artificial intelligence-driven design of fuel mixtures* // *Chemical Communications*. 2022. Vol. 5. 111 p.

**Dozortsev V.M., Anosov A.A., Baulin E.S., Gorodnova M.V., Korostelev A.Ya., Slastenov I.V.** Artificial intelligence in process control applications

*Artificial intelligence (AI) is a pervasive tendency of the 21<sup>st</sup> century. The interest to it is enormous as well as its influence on all aspects of our life. It concerns also the industry, including fuel and energy complex and chemistry. AI has a rich half-century history in chemical engineering. This article provides its concise overview, examines the features of the subject area in the context of AI approaches, and discusses the outlook for developing effective AI solutions in various areas of chemical process automation with the focus on the solutions from the Center of Digital Technologies (subsidiary of Rubytch Group).*

Keywords: automation of chemical process control, hybrid modeling, top-down and bottom-up paradigms of artificial intelligence, first-principles modeling, artificial neural networks.