

**НЕЧЕТКО-ВОЗМОЖНОСТНЫЙ ПОДХОД
К УПРАВЛЕНИЮ СЛОЖНОСТЬЮ
ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**И. Т. КИМЯЕВ^{1*}, А. В. СПЕСИВЦЕВ²¹Норникель Спутник, Москва, Россия
*igor95a@mail.ru²Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассматривается пример создания подсистемы принятия управленческих решений в общей структуре поддержания вертикально-интегрированных объектов хозяйственной деятельности в работоспособном состоянии как элемента комплексно и целенаправленно усложняемой архитектуры информационно-управляющих систем. Представленный подход базируется на разрабатываемой авторами методологии управления сложностью, которая положена в основу методического подхода, обосновывающего порядок плановой и эволюционной замены на производственных объектах лиц, принимающих решения, на функционально эквивалентные информационно-управляющие программно-аппаратные комплексы. Одним из наиболее эффективных методов формирования прозрачного механизма принятия управленческих решений, способного стать основным „решающим ядром“ (базой знаний) для подобных комплексов, является „нечетко-возможностный подход“ (НВП). Эффективность данного подхода заключается в возможности с использованием экспертной информации восстановить сложную многосвязную функциональную зависимость между актуальными производственно-технологическими характеристиками исследуемого процесса и принимаемыми на их основе управленческими решениями. Приведен пример создания управляющей модели базы знаний для процесса с „кипящим слоем“.

Ключевые слова: объект управления, интегрированная система управления, человеческий фактор, нечетко-возможностный подход, „печь кипящего слоя“, управление сложностью

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке бюджетной темы FFZF-2022-0004.

Ссылка для цитирования: Кимяев И. Т., Спесивцев А. В. Нечетко-возможностный подход к управлению сложностью интегрированных информационно-управляющих систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 11. С. 813—817. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-11-813-817.

**FUZZY-POSSIBILISTIC APPROACH TO MANAGING THE COMPLEXITY
OF INTEGRATED INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS**I. T. Kimyaev^{1*}, A. V. Spesivtsev²¹LLC Nor Nickel Sputnik, Moscow, Russia
*igor95a@mail.ru²St. Petersburg Federal Research Center of the RAS,
St. Petersburg, Russia

Abstract. An example of creating a subsystem of managerial decision-making in the general structure of maintaining vertically integrated objects of economic activity in a working state as an element of a complex and purposefully complicated architecture of information and control systems is considered. The proposed approach is based on the complexity management methodology developed by the authors, which justifies the order of systematic and evolutionary replacement of decision makers at production facilities with functionally equivalent information-control software and hardware complexes. One of the most effective methods of forming a transparent mechanism for managerial decision-making that can become the main "decisive core" (knowledge base) for such complexes is the "fuzzy-possibilistic approach". The effectiveness of this approach lies in the possibility of using expert information to restore a complex multi-connected functional relationship between the actual production and technological characteristics of the process under study and management decisions made on their basis. An example of creating a knowledge base of control model for a process with a "fluidized bed" is given.

Keywords: control object, integrated control system, human factor, fuzzy-possibility approach, fluidized bed furnace, complexity control

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of the budget theme FFZF-2022-0004.

For citation: Kimyaev I. T., Spesivtsev A. V. Fuzzy-possibilistic approach to managing the complexity of integrated information and control systems. *Journal of Instrument Engineering*. 2022. Vol. 65, N 11. P. 813—817 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-11-813-817.

Введение. Производственная-технологическая компания в современном мире — это сложный объект хозяйственной деятельности (ОХД), в состав которого входит множество связанных материальными и энергетическими потоками объектов управления (ОУ), сгруппированных в физические, территориальные и/или функционально-логические домены (ГОСТ Р ИСО 15746-1-2016).

Функционирование ОХД в целом и каждого отдельного ОУ обеспечивается двумя составляющими [1, 2]: материально-энергетической и организационно-информационной, включающими вертикальные и горизонтальные материальные, энергетические, финансовые и другие потоки информации с множеством обратных связей (рециклов). Непрерывную, согласно единым критериям, работу данных составляющих обеспечивает организационно-управленческий аппарат, состоящий из лиц, принимающих решения (ЛПР), которые выполняют целенаправленную обработку внутренних и внешних информационных потоков и вырабатывают актуальные управляющие воздействия.

Для более корректной и своевременной обработки многоуровневых информационных потоков ЛПР активно используют интегрированные информационно-управляющие системы (ИУС) требуемой, согласно принципу необходимого разнообразия, сложности.

Современные условия ведения хозяйственной деятельности, влияющие на процесс проектирования структуры ОХД ↔ интегрированная ИУС, формируют запрос на планомерное и целенаправленное снижение доли „человеческого фактора“, особенно на производственно-технологическом уровне. Это связано с тем, что ошибочные решения, принимаемые ЛПР, несут риск возникновения аварий и/или радикального снижения эффективности работы как отдельных ОУ, так и ОХД в целом.

Для создания эффективной интегрированной ИУС необходимы количественно-качественные многомерные модели как входящих в ОХД объектов и систем, так и окружающей их реальности. Данные модели включают информационные потоки в ОХД и интегрированных ИУС и имеют наименование „цифровых двойников“ (ЦД). Для сложных ОХД синтезировать полнофункциональный комплекс ЦД ↔ интегрированная ИУС с учетом их многокритериальности, множества явных и неявных обратных связей, внешних воздействий и других факторов, используя существующие методологические и методические подходы, не представляется возможным.

Практика показывает, что творческие и когнитивные способности ЛПР с соответствующей квалификацией наилучшим образом применимы при решении управленческих задач, характеризующихся существенной неопределенностью текущего состояния производственно-технологического процесса и многокритериальностью при выборе целей и способов его ведения.

Отметим, что на сегодня отсутствуют количественные и/или качественные интегральные метрики по оценке возможности частичной или полной замены функций ЛПР отдельными компонентами интегрированной ИУС в виде операционно- и/или информационно-технологических подсистем (ОТ- или ИТ-подсистем).

Таким образом, формирование подходов и методологической базы для выбора уровня сложности ЦД, разработка метрик и процедур по рациональному и сбалансированному перераспределению управляющих функций между ЛПР и ОТ- или ИТ-подсистемами в процессе эволюции комплекса ОХД ↔ интегрированная ИУС — актуальная научно-техническая проблема.

Методологические подходы к управлению сложностью интегрированной ИУС. Эволюционная трансформация типов таких систем в зависимости от количества охватываемых компонентов ОХД, сложности ЦД, насыщенности обрабатываемых ОТ- или ИТ-подсистемами информационных потоков и требований к качеству управления системами предполагает необходимость управления данным неоднородным процессом (развитием).

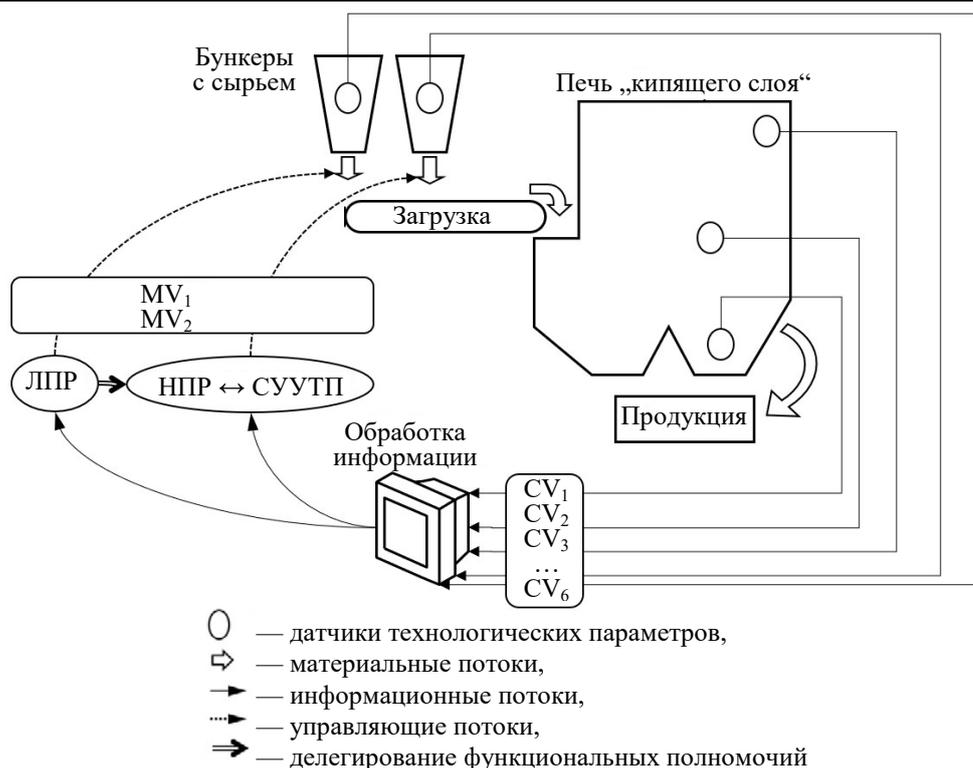
Традиционный способ повышения качества управления ОХД и его отдельными объектами состоит в их последовательном насыщении множеством источников количественных данных о состоянии физических показателей (контролируемых переменных — Controlled Variable — CV), о действующих возмущениях (Disturbance Variable — DV) и о допустимых управляющих воздействиях (Manipulated Variable — MV). Посредством наиболее подходящего математического аппарата для отдельных ОУ, технологических линий и производственных доменов создаются ЦД той или иной сложности (см. ГОСТ Р ИСО 15746-1-2016, а также [1, 3]), в которых количественные CV-, DV- и MV-векторы являются входными/выходными характеристиками.

Одним из успешных современных методологических приемов по замене ЛПР как функционального управленческого компонента на эквивалентную ОТ-подсистему является создание систем управления классов Advanced Process Control (APC) и Real Time Optimizer (RTO), в русскоязычной среде имеющих наименование „Системы усовершенствованного управления технологическими процессами“ (СУУТП) и „Системы глобальной динамической стабилизации“ (СГДО).

В свою очередь, одним из эффективных способов синтеза „управляющего ядра“ для СУУТП как компонента интегрированной ИУС является методика алгоритмизации принятия управленческих решений на базе нечетко-возможностного подхода (НВП) [4, 5]. НВП позволяет, с использованием знаний ЛПР о способах безопасного и эффективного ведения ОУ во всем многообразии производственно-технологических ситуаций, с высокой достоверностью восстановить функцию принятия управленческих решений в виде нечеткого полинома. Восстановленная таким образом функция, т.е. как база знаний (БЗ), становится „управляющим ядром“ так называемого нечеткого логического регулятора (НЛР).

В [6, 7] приведен пример создания интеллектуальной системы управления класса СУУТП конкретным технологическим объектом „печь кипящего слоя“ (ПКС), назначение которого — заместить управляющие функции ЛПР (см. рисунок). „Управляющее ядро“ данной СУУТП посредством НВП, на основе знаний оператора-технолога об управлении ПКС, по векторам $CV_{1,\dots,n}$ и $MV_{1,\dots,m}$ (в формулах для упрощения записи — cv) синтезировано как БЗ НЛР [4] в виде следующих зависимостей (представлены только значимые коэффициенты):

$$\begin{aligned}
 MV_1 = & 12,56 + 0,77cv_1 + 1,31cv_2 - 0,95cv_3 - 2,1cv_4 - 1,43cv_6 - 0,73cv_1 cv_2 + \\
 & + 1,12cv_1 cv_3 + 1,83cv_1 cv_4 - 1,15cv_1 cv_6 - 1,72cv_2 cv_3 - 1,24cv_2 cv_4 - 0,75cv_2 cv_5 - \\
 & - 0,9cv_3 cv_5 - 1,22cv_3 cv_4 + 0,56cv_5 cv_6 - 1,19cv_1 cv_2 cv_4 - 0,72cv_1 cv_2 cv_3 - \\
 & - 0,55cv_1 cv_5 cv_6 - 0,53cv_2 cv_4 cv_6 - 1,63cv_2 cv_3 cv_6 - 1,23cv_3 cv_4 cv_6; \\
 MV_2 = & 4,8 + 1,4cv_2 - 0,55cv_6 - 0,52cv_1 cv_2 cv_4 - 0,58cv_1 cv_2 cv_3 - 0,55cv_2 cv_3 cv_6.
 \end{aligned}$$



Заключение. Показана необходимость разработки методологии и технологии эволюционной автоматизации и интеллектуализации деятельности лиц, принимающих решения, как естественной управляющей подсистемы в целях создания и планомерного их замещения на эквивалентные логико-динамические модельно-алгоритмические комплексы в контурах управления ОХД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вивчарь Р. М., Птушкин А. И., Соколов Б. В. Риск-ориентированное управление созданием организационно-технических систем на основе использования имитационных моделей их функционирования // Вестн. ВГУ. Сер. Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. С. 1—15.
2. Sokolov B. V., Yusupov R. M. Scientific Basis of Management and Cybernetics Methodologies Integration // Lecture Notes in Networks and Systemst. 2022. N 442 LNNS. P. 52—59.
3. Микони С. В., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: Монография М.: Изд-во РАН, 2018. 314с.
4. Спесивцев А. В. Нечетко-возможностный подход к формализации и использованию экспертных знаний для оценивания состояний сложных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 11. С. 985—994.
5. Kimyaev I. T., Spesivtsev A. V. Ontological and Fuzzy-Possibility Approach to the Synthesis of the DM Functional Equivalent for Management of Hierarchical Systems // Artificial Intelligence Trends in Systems, CSOC 2022: Conf. Proc., Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 502. Cham: Springer [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-09076-9_53/>.
6. Кимяев И. Т. Интеллектуальная система управления процессом обжига сульфидного никелевого концентрата в кипящем слое (на примере печи обжигового цеха Никелевого завода ОАО „Норильская горная компания“): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2001.
7. Исследование закритических областей факторного пространства при управлении обжигом в кипящем слое с помощью нечеткой управляющей модели / И. Т. Кимяев, З. Г. Салихов, А. В. Спесивцев, А. В. Дроздов // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2001. № 1. С. 74—78.

Сведения об авторах

Игорь Тимофеевич Кимяев

— канд. техн. наук; ООО „Норникель Спутник“; архитектор;
E-mail: igor95a@mail.ru

Александр Васильевич Спесивцев — д-р техн. наук, доцент; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; ведущий научный сотрудник; E-mail: sav2050@gmail.com

Поступила в редакцию 18.07.2022; одобрена после рецензирования 30.07.2022; принята к публикации 30.09.2022.

REFERENCES

1. Vivchar R.M., Ptushkin A.I., Sokolov B.V. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*, 2021, no. 2, pp. 1–15. (in Russ.)
2. Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Scientific Basis of Management and Cybernetics Methodologies Integration*, 2022, vol. 442, LNNS, pp. 52–59.
3. Mikoni S.V., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Kvalimetriya modeley i polimodel'nykh kompleksov* (Qualimetry of Models and Polymodel Complexes), Moscow, 2018, 314 p. (in Russ.)
4. Spesivtsev A.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2020, no. 11(63), pp. 985–995. (in Russ.)
5. Kimyaev I.T., Spesivtsev A.V. *Artificial Intelligence Trends in Systems. CSOC 2022*, Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, 2022, vol. 502, https://doi.org/10.1007/978-3-031-09076-9_53/.
6. Kimyaev I.T. *Intellektual'naya sistema upravleniya protsessom obzhiga sul'fidnogo nikellevogo kontsentrata v kipyashchem sloye (Na primere pechi Obzhigovogo tsekha Nikelevogo zavoda OAO «Noril'skaya gornaya kompaniya»)* (Intelligent Control System for the Process of Roasting Nickel Sulfide Concentrate in a Fluidized Bed (On the Example of the Furnace of the Roasting Shop of the Nickel Plant of OJSC Norilsk Mining Company)), Candidate's thesis, Moscow, 2001. (in Russ.)
7. Kimyaev I.T., Salikhov Z.G., Spesivtsev A.V., Drozdov A.V. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Tsvetnaya Metallurgiya*, 2001, no. 1, pp. 74–77.

Data on authors

Igor T. Kimyaev — PhD; LLC Nor Nickel Sputnik; Architect; E-mail: igor95a@mail.ru
Alexander V. Spesivtsev — Dr. Sci., Associate Professor; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Leading Researcher; E-mail: sav2050@gmail.com

Received 18.07.2022; approved after reviewing 30.07.2022; accepted for publication 30.09.2022.