

Вожаков, А. В. Концепция интеллектуальной системы управления мелкосерийным производством / А. В. Вожаков, В. Ю. Вожаков // Прикладная математика и вопросы управления. – 2023. – № 2. – С. 53–60. DOI 10.15593/2499-9873/2023.2.05

Библиографическое описание согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018

Вожаков А. В. Концепция интеллектуальной системы управления мелкосерийным производством / А. В. Вожаков, В. Ю. Вожаков. – Текст : непосредственный. – DOI 10.15593/2499-9873/2023.2.05 // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2023. – № 2. – С. 53–60.



ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА
И ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ

№ 2, 2023

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Научная статья

DOI: 10.15593/2499-9873/2023.2.05

УДК 519



Концепция интеллектуальной системы управления мелкосерийным производством

А.В. Вожаков^{1,2}, В.Ю. Столбов¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация

²ООО «ИБС Софт», Москва, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 4 июня 2023
Одобрена: 22 июня 2023
Принята к публикации:
22 июня 2023

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

равноценен.

Ключевые слова:

промышленное предприятие, мелкосерийное производство, автоматизированные системы управления, концепция интеллектуализации, принципы разработки, структурная модель.

АННОТАЦИЯ

Актуальность темы исследования определяется быстрым развитием технологий, переменчивостью внешней среды и началом третьей промышленной революции, что приводит к нестабильности, неопределенности и сложности современного мира. Отмечается, что существующие инструменты управления производством не соответствуют новым вызовам, и что необходимы новые инструменты управления, обеспечивающие гибкость и результативность производства в условиях переменчивости внешней среды. В статье предложена концепция создания интеллектуальных систем управления промышленными предприятиями, основанных на знаниях, нечеткой логике и интеллектуальной обработке информации. Промышленное предприятие рассматривается как сложная система, состоящая из иерархий целей, принятия решений и бизнес-процессов. Приведен краткий анализ основных видов автоматизированных систем управления производством, таких как ERP, APS, MES, SCADA и АСУ ТП. Отмечено, что в связи с переходом на индустрию 4.0, возникает потребность в создании интеллектуальных систем управления (ИСУ), основанных на знаниях, нечеткой логике и интеллектуальной обработке информации. Предлагается развитие существующих автоматизированных систем управления путем создания встроенных интеллектуальных элементов, способных в автоматическом режиме решать задачи оптимального управления и влиять на работу производства путем передачи управляющих воздействий в систему управления. Система разрабатывается на базе взаимно-интегрированных стандартных автоматизированных систем управления и ситуационного центра предприятия. Реализация и использование ИСУ повысит оперативность и эффективность принятия решений, позволяя предприятиям лучше адаптироваться к изменениям и оптимизировать использование ресурсов.

© ПНИПУ

© Вожаков Артем Викторович – канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики, e-mail: vozhakov@ya.ru, ORCID: 0000-0003-3125-6757.

Столбов Валерий Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной математики, механики и биомеханики, e-mail: valeriy.stolbov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3259-8660.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Perm Polytech Style: Vozhakov A.V., Stolbov V.Yu. The concept of intelligent control system of small-scale production. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2023, no. 2, pp. 53–60. DOI: 10.15593/2499-9873/2023.2.05

MDPI and ACS Style: Vozhakov, A.V.; Stolbov, V.Yu. The concept of intelligent control system of small-scale production. *Appl. Math. Control Sci.* 2023, 2, 53–60. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2023.2.05>

Chicago/Turabian Style: Vozhakov, Artem V., and Valerii Yu. Stolbov. 2023. “The concept of intelligent control system of small-scale production”. *Appl. Math. Control Sci.* no. 2: 53–60. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2023.2.05>



APPLIED MATHEMATICS
AND CONTROL SCIENCES

№ 2, 2023

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Article

DOI: 10.15593/2499-9873/2023.2.05

UDK 519



The concept of intelligent control system of small-scale production

A.V. Vozhakov^{1,2}, V.Yu. Stolbov¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²IBS Soft LLC, Moscow, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 04 June 2023
Approved: 22 June 2023
Accepted for publication:
22 June 2023

Funding

This research received
no external funding.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict
of interest.

Author Contributions

equivalent.

Keywords:

industrial enterprise, small-scale
production, automated control sys-
tems, intellectualization concept,
development principles, structural
model.

ABSTRACT

The relevance of the research topic is determined by the rapid development of technology, the variability of the external environment and the beginning of the third industrial revolution, which leads to instability, uncertainty and complexity of the modern world. It is noted that the existing production management tools do not meet new challenges, and that new management tools are needed to ensure the flexibility and effectiveness of production in a volatile environment. The article proposes the concept of creating intelligent control systems for industrial enterprises based on knowledge, fuzzy logic and intelligent information processing. An industrial enterprise is viewed as a complex system consisting of hierarchies of goals, decision making and business processes. A brief analysis of the main types of automated production management systems, such as ERP, APS, MES, SCADA and APCS is given. It is noted that in connection with the transition to industry 4.0, there is a need to create intelligent control systems (ICS) based on knowledge, fuzzy logic and intelligent information processing. It is proposed to develop existing automated control systems by creating built-in intelligent elements capable of automatically solving optimal control problems and influencing production by transferring control actions to the control system. The system is developed on the basis of mutually integrated standard automated control systems and the situational center of the enterprise. The implementation and use of ICS will increase the speed and efficiency of decision-making, allowing enterprises to better adapt to changes and optimize the use of resources.

© PNRPU

© **Artem V. Vozhakov** – CSc of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computational Mathematics, Mechanics and Biomechanics, e-mail: vozhakov@ya.ru, ORCID: 0000-0003-3125-6757.

Valerii Yu. Stolbov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Department of Computational Mathematics, Mechanics and Biomechanics, e-mail: valeriy.stolbov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3259-8660.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Ведение

Промышленное предприятие рассматривается как большая и сложная система (производственная система), представляющая собой совокупность иерархии целей, принятия решений и бизнес-процессов (внутренние иерархии) [1]. Считается, что производственная система функционирует в окружении рынков продукции, сырья, труда и инноваций, взаимодействуя с этими рынками путем обмена информацией, материальными и трудовыми ресурсами. Внешней средой для производственной системы также является общество, находящееся на определенном уровне развития, преследующее некоторые цели и взаимодействующее с производственной системой через политические, экономические и социальные институты.

Производственная система вынуждена постоянно адаптироваться к тем изменениям, которые происходят в окружающей ее среде, путем модификации и развития своих внутренних иерархий. Она состоит из совокупности взаимосвязанных сбытовых, производственных и снабженческих подразделений, объединенных единой целью, направленной на выполнение плана производства готовой продукции в заданном объеме и в заданные сроки.

Для достижения этой цели на предприятии должна функционировать информационная система управления, позволяющая в короткие сроки решать большинство возникающих производственных задач.

Известны основные виды автоматизированных систем управления производством, актуальные на сегодняшний день [2; 3]:

1. ERP-системы – автоматизированные системы управления, реализующие в себе процессы управления производством, управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами, ориентированные на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия, обеспечивающие общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности предприятия.

2. APS-системы – программное обеспечение для синхронного производственного планирования, главной особенностью которого является возможность построения сквозного расписания работы оборудования в рамках всего предприятия.

3. MES – специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства.

4. SCADA – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. Данные системы относятся к оперативному уровню управления.

5. Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) – группа решений технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях.

Однако в настоящее время они перестали отвечать современным вызовам промышленности в рамках перехода на индустрию 4.0 и использование инструментов для построения безбумажного цифрового производства. Поэтому в последнее время стали задумываться над созданием интеллектуальных систем управления (ИСУ), основанных на знаниях, нечеткой логике и интеллектуальной обработке информации [4–9].

Практическая реализация и использование интеллектуальной системы управления производственным предприятием позволит перераспределить задачи между уровнями управления и значительно повысить оперативность и эффективность принимаемых решений, сделает управленческую деятельность более сбалансированной и обоснованной. Это

даст возможность предприятиям быстро реагировать на изменения внешней и внутренней среды, оперативно реагировать на возникающие проблемы и обеспечивать высокий уровень эффективности использования ресурсов.

Интеллектуальные системы должны быть способны автономно понимать и контролировать внешнюю среду путем активного и адаптивного взаимодействия с реальным миром, а также взять на себя часть деятельности человека в этом мире. Таким системам необходимо справляться с неполнотой, неопределенностью и изменчивостью информации, характерным для реального мира. К новым функциям таких систем можно отнести понимание воздействий окружающей среды, моделирование реального мира, планирование последовательности действий, оптимальное управление с целью достижения желаемого результата, элементы адаптации и самоорганизации [4–6]. Интеллектуальные системы управления (intelligent control systems) [7] – это системы управления, способные к «пониманию» и обучению в отношении объектов управления, возмущений, внешней среды и условий работы. Основное отличие интеллектуальных систем – наличие механизма системной обработки знаний. Главная архитектурная особенность, которая отличает ИСУ от «традиционных» систем, – это механизм получения, хранения и обработки знаний для реализации своих функций. В основе создания интеллектуальных систем управления лежат два принципа: ситуационное управление (управление на основе анализа внешних ситуаций или событий) и использование современных информационных технологий обработки данных и знаний [8; 9].

Интеллектуальные системы управления определяют основу концепции интеллектуальности – либо умение работать с формализованными знаниями человека (экспертные системы, нечеткая логика), либо свойственные человеку приемы обучения и мышления (искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы). Структурно ИСУ содержат дополнительные блоки, выполняющие системную обработку знаний на основе названных выше информационных технологий. Данные блоки могут выполняться либо как надстройка над обычным регулятором, настраивая нужным образом его параметры, либо непосредственно включаться в замкнутый контур управления.

Концепция интеллектуальной системы

Известно [10], что концепция любой информационной системы определяет цель, принципы, общую архитектуру и основные этапы ее создания.

Целью создания ИСУ является повышение эффективности управления промышленным предприятием на основе применения современных методов обработки информации и использовании накопленных знаний.

Концепция создания ИСУ для мелкосерийного производства строится на следующих принципах:

1. В качестве базовой системы для построения интеллектуальной системы управления предприятия желательно использовать существующую на предприятии ERP-систему, в которой собраны и унифицированы все основные данные о деятельности промышленного предприятия в соответствии с универсальной моделью данных ERP (справочники, заказы, запасы и т.д.).
2. В рамках существующей информационной системы формируется система управления знаниями (база знаний) с целью перевода знаний от отдельных индивидов к организации.
3. На основании лучших практик оптимизации производственных систем и собственных накопленных знаний предприятия разрабатываются интеллектуальные элементы, способные использоваться как для поддержки процесса принятия решений, так и для автоматического принятия решений в условиях реального производственного процесса.

4. Интеллектуальные элементы ИСУ должны обладать открытыми внутренними и внешними интерфейсами для последующего развития интеллектуальной системы при изменениях во внешней среде.

5. В рамках интеллектуальной системы управления создается ситуационный центр предприятия, способный как поддерживать процесс индивидуального и коллективного принятия решений, так и извлекать экспертный опыт и знания в процессе проработки и принятия решений.

6. Необходимо постоянно анализировать принятые решения, осуществлять мониторинг результатов их исполнения и генерировать новые знания на основании накопленных данных и их интеллектуальной обработки.

В рамках исследования предлагается практическая концепция создания ИСУ мелкосерийным производством на базе существующих на предприятиях автоматизированных систем управления производством с использованием в качестве экспертных знаний лучших практик оптимизации производственных процессов, методов искусственного интеллекта и систем поддержки принятия личных и коллективных решений с учетом специфики организации мелкосерийных производств. Система разрабатывается на базе взаимно-интегрированных стандартных автоматизированных систем управления, ситуационного центра предприятия, расширяя функционал таких систем *интеллектуальными элементами*, способными в автоматическом режиме решать задачи оптимального управления и влиять на работу производства путем передачи управляющих воздействий в систему управления. Под интеллектуальными элементами здесь понимаются механизмы, позволяющие в определенных ситуациях частично или полностью заменить собой лицо, принимающее решение.

Основными отличительными особенностями создаваемой системы является симбиоз автоматизации и рационализации производства, а также развитие существующих автоматизированных систем управления путем создания встроенных интеллектуальных элементов, в том числе таких как [9]:

1. Подсистема многокритериальной оптимизации календарного планирования производства с использованием специальных нечетких множеств для построения обобщенного критерия оптимизации [11–15].

2. Интеллектуальные элементы синхронизации производства, базирующиеся на адаптированных для произвольного мелкосерийного производства принципах быстрореагирующего производства [16–18].

3. Ситуационный центр производственного предприятия, выполняющего функции поддержки принятия коллективных решений и также являющегося экспертной системой решения задач управления с использованием принципов бережливого производства, теории ограничений и сетцентрического производства [19; 20].

4. Открытые внутренние и внешние интерфейсы системы [21].

На рисунке представлена одна из возможных структурных схем интеллектуальной системы управления производством.

Предложенная концепция создания интеллектуальной системы управления предприятием позволяет постепенно развивать существующие на предприятии автоматизированные системы управления с целью добавления интеллектуальных элементов и систему поддержки принятия решений. Такой подход позволит внедрять интеллектуальные функции постепенно, не требуя от предприятия больших инвестиционных вложений, которые требуются при попытке замены одной информационной системы на другую. Вложения требуются непосредственно в разработку и интеграцию интеллектуальных элементов в существующие информационные системы.

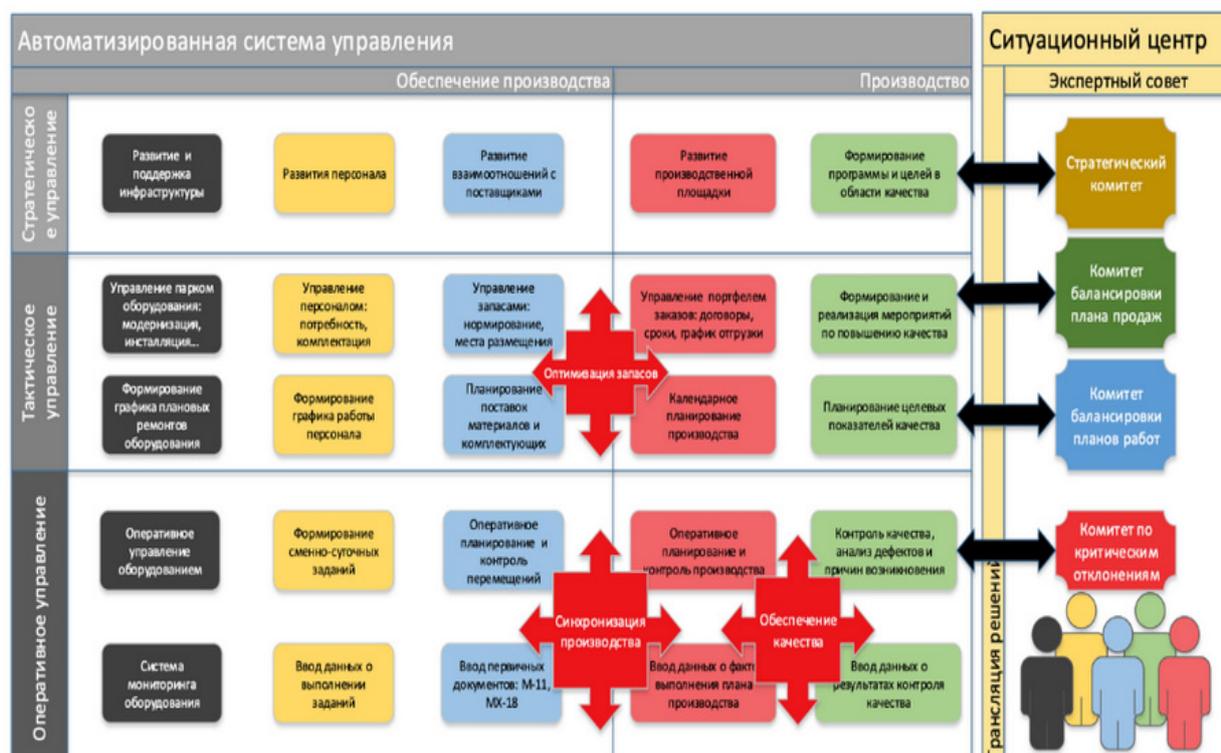


Рис. Структурная схема интеллектуальной системы управления производством

Заключение

Предложенная концепция создания интеллектуальной системы управления предприятием позволяет постепенно развивать существующие на предприятии автоматизированные системы управления путем добавления интеллектуальных элементов и систему поддержки принятия решений. Такой подход позволит внедрять интеллектуальные функции постепенно, не требуя от предприятия больших инвестиционных вложений, которые требуются при попытке замены одной информационной системы на другую. Вложения требуются непосредственно в разработку и интеграцию интеллектуальных элементов в существующие информационные системы.

Список литературы

1. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях / С.А. Федосеев, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов, А.В. Вожаков. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. – 229 с.
2. Питеркин С.В., Оладов Н.А., Исаев Д.В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. – М.: Альпина Паблишер, 2002. – 368 с.
3. О’Лири Д. ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – М.: ООО «Вершина», 2004. – 272 с.
4. Кузнецов О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления. – 2009. – № 3.1. – С. 64–72.
5. Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. Интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью. – М.: Университетская книга, 2004. – 768 с.
6. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 221 с.
7. Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы (Исследование и создание). – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 194 с.
8. Логиновский О.В., Максимов А.А., Бурков В.Н. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 410 с.

9. Вожаков А.В., Столбов В.Ю., Федосеев С.А. Интеллектуальные информационные системы управления предприятием: модели и практики. – М.: Университетская книга, 2021. – 304 с.
10. Системная инженерия. Принципы и практика: учебник для вузов / А. Косяков, С.М. Бимер, С.Дж. Сеймур, У.Н. Свит. – М.: ДМК-Пресс, 2017. – 469 с.
11. Вожаков А.В., Евстратов С.Н., Столбов В.Ю. Автоматизация планирования производства в рамках единой информационной системы многопрофильного предприятия // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 2. – С. 13–16.
12. Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б. Модель календарного планирования производства с нечеткими целями и ограничениями // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3 (37). – С. 21–24.
13. Федосеев С.А., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Управление качеством продукции за счет оптимального планирования производства // Управление большими системами: мат. VIII Всерос. конф. мол. учен., 27–29 Мая 2011, Магнитогорск. – М.: ИПУ РАН, 2011. – С. 350–355.
14. Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б. Управление производством на тактическом уровне планирования в условиях нечеткой исходной информации // Проблемы управления. – 2009. – № 5. – С. 36–43.
15. Yevstratov S., Vozhakov A., Stolbov V. Automation of Production Planning within an Integrated Information System of a Multi-Field // Automation and Remote Control. – 2014. – Vol. 75, № 7. – P. 1323–1329.
16. Вожаков А.В. Синхронизированная система управления мелкосерийным производством // Автоматизация в промышленности. – 2017. – № 8. – С. 6–10.
17. Vozhakov A., Gitman M., Stolbov V. Synchronization and management of material flows in small-scale production // Advances in Engineering Research. – 2018. – Vol. 157. – P. 622–626.
18. Вожаков А.В. Задача синхронизации материальных потоков в мелкосерийном производстве // Интеллектуальные системы в производстве. – 2017. – № 1. – С. 52–59.
19. Вожаков А.В., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Ситуационный центр как инструмент интеллектуализации системы управления производством // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22). – С. 45–49.
20. Вожаков А.В., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Алгоритм принятия управленческих решений на базе ситуационного центра промышленного предприятия // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 8. – С. 8–12.
21. Вожаков А.В., Данилов А.Н. Разработка интеллектуальной системы управления промышленным предприятием на основе модели с открытым интерфейсом // Прикладная математика и вопросы управления. – 2015. – № 2. – С. 31–46.

References

1. Fedoseev S.A., Gitman M.B., Stolbov V.Yu., Vozhakov A.V. Upravlenie kachestvom produktsii na sovremennykh promyshlennykh predpriiatiakh [Product quality management in modern industrial enterprises]. Perm, Publishing House of Perm National Research Politecnic University, 2011, 229 p.
2. Piterkin S.V., Oladov N.A., Isaev D.V. Tochno vovremia dlia Rossii. Praktika primeneniia ERP-sistem [Just in time for Russia. The practice of using ERP-systems]. Moscow, Alpina Publisher, 2002, 368 p.
3. O'Leary D. ERP-sistemy. Sovremennoe planirovanie i upravlenie resursami predpriiatiia. [O'Leary D. Enterprise Resource Planning Systems: Systems, Life Cycle, Electronic Commerce, and Risk. Cambridge, Cambridge University Press, 2000, 242 p.]. Moscow, Vershina LLC, 2004, 272 p.
4. Kuznetsov O.P. Intellektualizatsiia podderzhki upravliaiushchikh reshenii i sozdanie intellektual'nykh sistem [Intellectualization of Support for Control Decisions and Creation of Intelligent Systems]. *Control Sciences*, 2009, no. 3.1, pp. 64–72.

5. Tsyganov V.V., Borodin V.A., Shishkin G.B. *Intellektual'noe predpriatie: mekhanizmy ovladeniia kapitalom i vlast'iu* [Intellectual enterprise: mechanisms for mastering capital and power]. Moscow, Universitetskaya kniga, 2004, 768 p.
6. Yasnitsky L.N. *Intellektual'nye sistemy* [Intelligent systems]. Moscow, Laboratory of Knowledge, 2016, 221 p.
7. Pupkov K.A., Konkov V.G. *Intellektual'nye sistemy (Issledovanie i sozдание)* [Intelligent systems (Research and creation)]. Moscow, Publishing house of Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, 2001, 194 p.
8. Loginovsky O.V., Maksimov A.A., Burkov V.N. [Management of industrial enterprises: strategies, mechanisms, systems]. Moscow, INFRA-M, 2018, 410 p.
9. Vozhakov A.V., Stolbov V.Yu., Fedoseev S.A. *Upravlenie promyshlennymi predpriatiiami: strategii, mekhanizmy, sistemy* [Intellectual information systems of enterprise management: models and practices]. Moscow, Universitetskaya kniga, 2021, 304 p.
10. Kosyakov A., Beamer S.M., Seymour S.J., Sweet U.N. *Sistemnaia inzheneriia. Printsipy i praktika* [System engineering. Principles and practice]. Moscow, DMK-Press, 2017, 469 p.
11. Vozhakov A.V., Evstratov S.N., Stolbov V.Yu. *Avtomatizatsiia planirovaniia proizvodstva v ramkakh edinoi informatsionnoi sistemy mnogoprofil'nogo predpriatiia* [Automation of production planning within the framework of a single information system of a diversified enterprise]. *Automation in industry*, 2012, no. 2, pp. 13–16.
12. Fedoseev S.A., Vozhakov A.V., Gitman M.B. *Model' kalendarnogo planirovaniia proizvodstva s nechetkimi tseliami i ogranicheniiami* [A production scheduling model with fuzzy goals and constraints]. *Control Systems and Information Technologies*, 2009, no. 3 (37), pp. 21–24.
13. Fedoseev S. A., Gitman M. B., Stolbov V. Yu. *Upravlenie kachestvom produktsii za schet optimal'nogo planirovaniia proizvodstva* [Product quality management through optimal production planning]. *Proceedings of VIII All-Russian Conference "Control of large-scale systems" 27-29 May 2011, Magnitogorsk, Russia*. Moscow, ICS RAS, 2011, pp. 350–355.
14. Fedoseev S.A., Vozhakov A.V., Gitman M.B. *Upravlenie proizvodstvom na takticheskom urovne planirovaniia v usloviakh nechetkoi iskhodnoi informatsii* [Production management at the tactical level of planning under conditions of fuzzy initial information]. *Control Problems*, 2009, no. 5, pp. 36–43.
15. Yevstratov S., Vozhakov A., Stolbov V. *Automation of Production Planning within an Integrated Information System of a Multi-Field*. *Automation and Remote Control*, 2014, vol. 75, no 7, pp. 1323–1329.
16. Vozhakov A.V. *Sinkhronizirovannaia sistema upravleniia melkoseriinyim proizvodstvom* [Synchronized control system for small-scale production]. *Automation in industry*, 2017, no. 8, pp. 6–10.
17. Vozhakov A., Gitman M., Stolbov V. *Synchronization and management of material flows in small-scale production*. *Advances in Engineering Research*, 2018, vol. 157, pp. 622–626.
18. Vozhakov A.V. *Zadacha sinkhronizatsii material'nykh potokov v melkoseriinom proizvodstve* [The problem of synchronization of material flows in small-scale production]. *Intelligent systems in production*, 2017, no. 1, pp. 52–59.
19. Vozhakov A.V., Gitman M.B., Stolbov V.Yu. *Situatsionnyi tsentr kak instrument intellektualizatsii sistemy upravleniia proizvodstvom* [Situation center as a tool for intellectualization of the production management system]. *Intelligent systems in production*, 2013, no. 2 (22), pp. 45–49.
20. Vozhakov A.V., Gitman M.B., Stolbov V.Yu. *Algoritm priniatiia upravlencheskikh reshenii na baze situatsionnogo tsentra promyshlennogo predpriatiia* [Management decision-making algorithm based on the situational center of an industrial enterprise]. *Automation in Industry*, 2014, no. 8, pp. 8–12.
21. Vozhakov A.V., Danilov A.N. *Razrabotka intellektual'noi sistemy upravleniia promyshlennym predpriatiem na osnove modeli s otkrytym interfeisom* [Development of an intelligent control system for an industrial enterprise based on an open interface model]. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2015, no. 2, pp. 31–46.