



УДК 65.011.55; 669-1

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-802-809

Оперативная корректировка производственных планов с использованием технологий и алгоритмов гибких производственных систем

Боева Л.М., Коврижных О.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Россия, 309516, Белгородская обл., Старый Оскол, м-н Макаренко, 42
E-mail: boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru

Аннотация. Предлагается применение технологий гибких производственных систем для решения задачи составления производственных планов сложноструктурированных систем на примере электросталеплавленного производства. Описаны схемы обработки стали с учётом имеющихся агрегатов различных групп и типов. Выявлена возможность получения некоторых марок стали по альтернативным технологическим маршрутам. Это позволяет рассматривать несколько вариантов исходного производственного расписания и его корректировки в ходе производства. Определены основные этапы и разработан алгоритм синтеза возможных вариантов оперативного перепланирования в зависимости от существующей организационной и технологической ситуации.

Ключевые слова: ERP-системы планирования ресурсов предприятия, оперативное планирование сталеплавленного производства, гибкие производственные системы, алгоритмы координации производственного процесса.

Для цитирования: Боева Л.М., Коврижных О.А. 2021. Оперативная корректировка производственных планов с использованием технологий и алгоритмов гибких производственных систем. Экономика. Информатика. 48 (4): 802–809. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-802-809.

Operational rescheduling of production plans using technologies and algorithms of flexible production systems

Ludmila M. Boeva, Olesia A. Kovrizhnykh

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISiS"
42 Makarenko St, Stary Oskol, Belgorod region, 309516, Russia
E-mail: boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru

Abstract. The application of technologies of flexible production systems is proposed to make a decide of drawing up of production plans for complex structured systems. The electric steelmaking is considered as an example. The steel processing schemes are described taking into account the available aggregates of various groups and types. The ways to produce some steel grades using alternative technological routes are found. This allows one to consider several variants of the original production schedule and ways of its rescheduling in the course of production process. Possible processing schemes of steelmaking production are described, and aggregates of various groups and types are presented. There is a dependence between the processing schemes and the resulting steel grade, which significantly complicates the process of making and adjusting the schedule. The authors substantiate the need for the application of flexible production systems technologies under the conditions of a metallurgical enterprise. The main stages are determined and an algorithm for synthesizing of possible options for operational rescheduling is developed. It depends on the current organizational and technological situation.

Keywords: ERP-enterprise resource planning systems, operational planning of steelmaking production, flexible production systems, algorithms to coordinate the production process.

For citation: Boeva L.M., Kovrizhnykh O.A. 2021. Operational adjustment of production plans using technologies and algorithms of flexible production systems. Economics. Information technologies. 48 (4): 802–809 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-802-809.

Введение

Оперативное управление сложным производственным процессом предполагает первоначальное планирование производства и последующее принятие решений по корректировке планов при возникновении рассогласований между запланированным и фактическим ходом производства.

Объект планирования сложноструктурированного производства, к которому относится сталеплавильное производство, – это совокупность технологических, грузоподъемных и транспортных операций и оборудования.

Проблема сталеплавильного производства как объекта оперативного планирования

Производство электротехнической стали на современных металлургических заводах, как правило, характеризуется широкой номенклатурой выплавляемых марок стали, что предполагает технологические маршруты многомерных и параллельных процессов на определенном наборе оборудования. На рис. 1 представлены возможные схемы обработки сталеплавильного производства в условиях АО «ОЭМК».

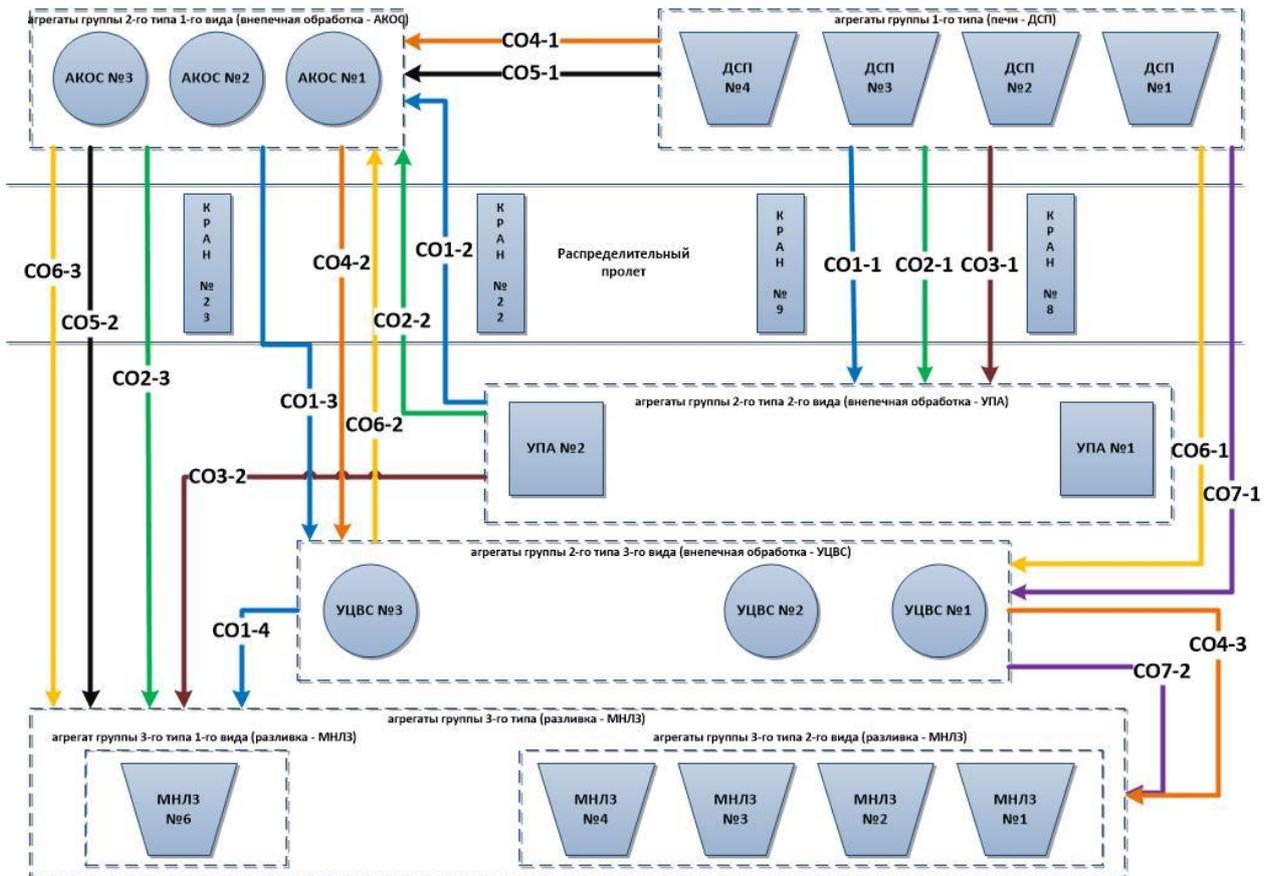


Рис. 1. Возможные схемы обработки со связями между агрегатами
Fig. 1. Possible processing schemes with connections between aggregates

На рис. 1 обозначены:

CO1–CO7-2 – схемы обработки №1–7 с указанием порядкового номера операции;



ДСП – дуговая сталеплавильная печь;
УПА – установка продувки аргоном;
УЦВС – установка циркуляционного вакуумирования стали;
АКОС – агрегат комплексной обработки стали;
МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовки.

Каждый маршрут соответствует определенной группе марок стали. С другой стороны, имеются варианты производства некоторых конкретных марок стали по отличающимся технологическим маршрутам (в части разной последовательности технологических операций, использования агрегатов разных типов или разных агрегатов одного типа, которые могут отличаться объемом загрузки или временем протекания технологического процесса). Это создает существенные сложности оперативного планирования сталеплавильного производств [Боева, Цуканов, Филатов, 2017; Цуканов, Боева, 2012; Черноруцкий, 2005; Тебекин, 2018; Tsukanov, Kovrizhnykh, 2020].

Реализация выполнения уже составленного плана осложняется влиянием на ход производства: появлением новых срочных заказов, нарушением протекания технологических процессов и авариями агрегатов, сбоями в подаче электроэнергии и т. д. [Боева, Цуканов, 2016; Цуканов, Коврижных, 2019; Коврижных, Цуканов, 2021].

Вопросы оперативной корректировки планов в процессе производства при отклонении фактического его хода от запланированного с целью сокращения возможных потерь рассматривались авторами в работах [Боева, Цуканов, 2014; Цуканов, Боева, 2012; Tsukanov, Kovrizhnykh, 2019; Коврижных, Цуканов, 2018; Skobelev, 2011]. В данной статье предлагается применение для этой цели алгоритмов гибких производственных систем.

В настоящее время предприятия функционируют в нестабильной среде, требующей гибкости и адаптивности, и для эффективного изменения установленных производственных планов необходимо внедрять соответствующие технологии гибкого производства.

О возможности применения алгоритмов гибких производственных систем к оперативному планированию сталеплавильного производств

Наиболее значимым фактором в конкурентной борьбе оказывается гибкость. Клиенты ожидают не только высокого качества, но и рассчитывают на быструю доставку, возможность удовлетворения их персональных пожеланий, поэтому разработка гибких производственных систем сегодня является важным критерием успеха, вместе с соответствующими организационными решениями.

Под гибкостью при этом понимается не только своевременное реагирование на постоянно меняющиеся потребности клиентов, но и обеспечение гибкости самого производства – его способности трансформироваться и приспосабливаться к изменчивым условиям. Повышение гибкости производства может поддерживаться внедрением соответствующих технологий и оценки их экономической эффективности [Фолежинский, 2013.].

Более чем на 75 % предприятий обрабатывающей промышленности внедрена ERP система планирования ресурсов предприятия, в которую в качестве модуля встроена система планирования и управления производством PPS, предназначенная для поиска наилучшего решения проблем нормативного планирования производственного процесса (времени, мощности, подходящих затрат).

Интенсивность применения PPS в металлургии связана со сложностью продукта и его производством. Разнообразный ассортимент продукции, предназначенной для удовлетворения самых разных потребностей клиентов, повышает сложность планирования и контроля производства. Целями PPS, в том числе, является разработка плана производства, который минимизирует время выполнения заказа и максимизирует загрузку производственных мощностей.

Технология PPS позволяет быстро реагировать на изменения продукта и процесса, что обеспечивает сокращение времени простоя оборудования и способствует рациональному

использованию производственных мощностей даже при сильно меняющихся условиях производства. Однако система PPS/ERP основана на целостном, хотя и многоуровневом подходе к планированию, при этом планирование мощностей и графика осуществляется на одном уровне. Это означает, что план производства составляется на основе установленных сроков поставки и оптимального использования имеющихся мощностей.

Технологии PPS/ERP не обеспечивают возможности согласования плановой потребности в сырье и полуфабрикатах и производственных мощностей со сроками выполнения заказов. Дело в том, что потребности в мощностях определяются на базе усредненного времени прохождения заказов, которое не всегда соответствует фактическому. Первоначальные производственные планы часто становятся неактуальными и приводят к опозданиям [Фолежинский, 2013].

Необходимо установить надежную обратную связь для своевременной корректировки объемов производства. Эффективность корректировки производственных планов определяется алгоритмами устранения отклонений от установленного производственного графика и принятия мер по координации производственного процесса в зависимости от сложившейся организационной и технологической ситуации. Авторам представляется возможным применение для оперативного перепланирования сталеплавильного производства алгоритмов ГПС.

В традиционном понимании ГПС – это производственные комплексы, отличающиеся сложностью и ориентированные на выпуск продукции нескольких номенклатур разного состава и способные при минимальных затратах времени и материальных ресурсов перестроиться на выпуск новых видов продукции, переработку нового сырья или организацию новых технологических процессов. Элементами ГПС как сложной системы являются ассортимент видов выпускаемой продукции; элементарные технологические операции; типы технологического оборудования и т. п.

Ежемесячно на ОЭМК выплавляется около 300 марок стали, и продолжается работа по расширению ассортимента марок стали, в том числе в рамках комплексной программы по повышению клиентоориентированности и качества SBQ. Ассортимент марок периодически обновляется. Сталеплавильное производство характеризуется периодическим способом организации технологических процессов, для которого характерны: строгая последовательность технологических операций во времени; пространственная изоляция технологических операций и оборудования; неизменность элементарных процессов по отношению используемых агрегатов определенного типа.

ГПС предполагает наличие «избыточного» оборудования и гибких систем коммуникаций, позволяющих быстро переориентироваться на выпуск новой продукции путем частичного изменения состава технологических агрегатов, согласования режимов и увеличения срока полезной эксплуатации, оснащения необходимых технологических режимов и организационных мероприятий, т. о. ГПС как сложная система обладает мобильной структурой, которая может меняться в течение времени ее функционирования.

По отношению к решаемой задаче оперативной корректировки производственного расписания изменение структуры системы заключается в определении набора оптимальных вариантов технологических маршрутов выпуска стали соответственно сложившейся организационно-производственной ситуации, т. е. в синтезе оптимальных маршрутов и производства в целом. Основные этапы синтеза гибкого производства представлены в виде блок-схемы алгоритма на рис. 2.

Задача синтеза оптимальных технологических маршрутов электросталеплавильного производства является сложной, что связано с её многомерностью (большой ассортимент, разнообразие и количество технологического оборудования, многовариантность технологических процессов).

Используемый в алгоритме параметр «расходный коэффициент» характеризует нормы расхода сырья для производства единицы продукции.

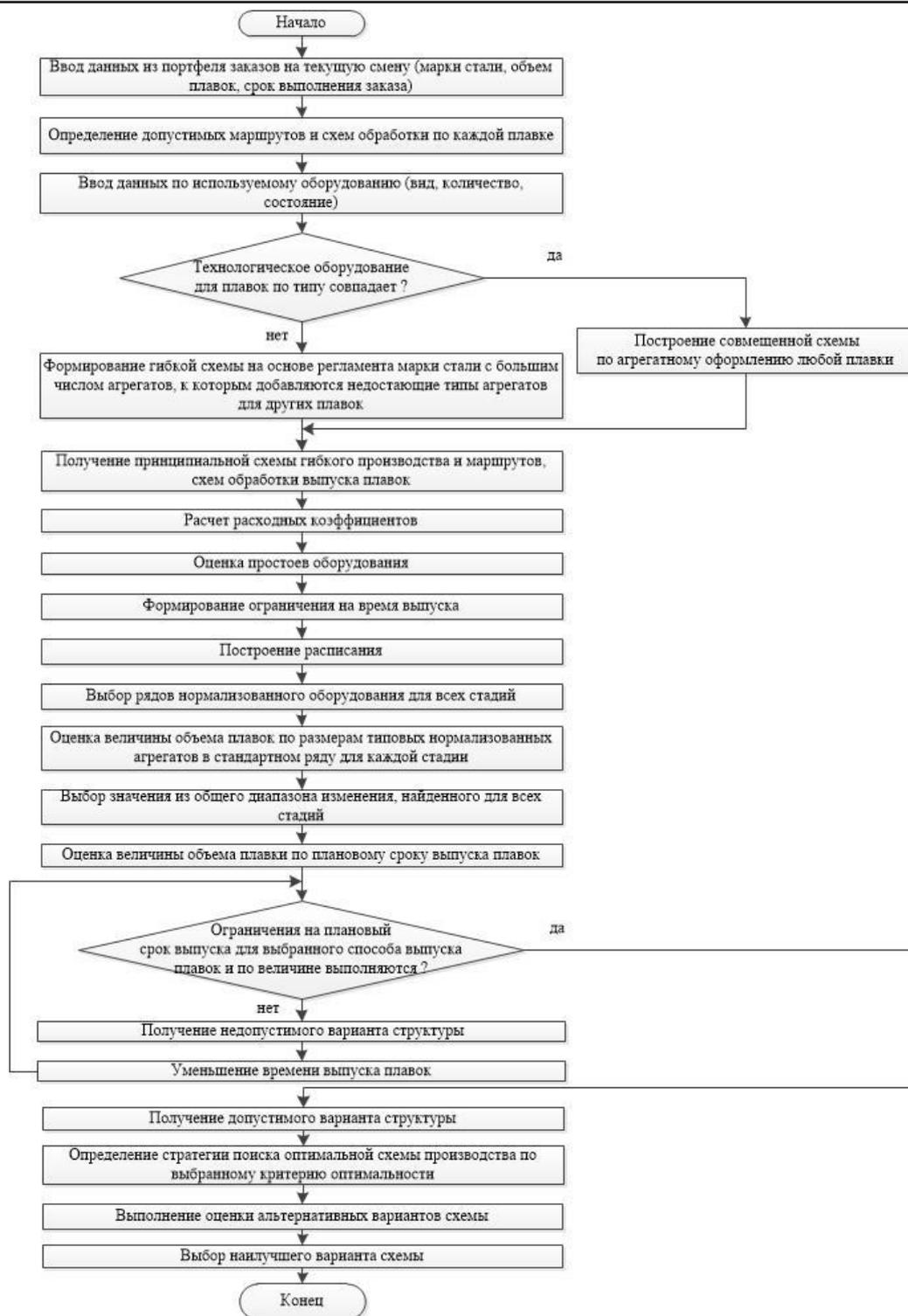


Рис. 2. Блок-схема алгоритма
 Fig. 2. Block diagram of the algorithm

Под нормализованным оборудованием предполагается его базовый набор, который позволяет выпустить марки стали выбранного ассортимента в плановых количествах за отведенное время с минимальными затратами.

Конечные результаты решения поставленной задачи, т. е. структура и параметры синтезируемых схем обработки, существенно зависят от принимаемых при её решении упрощений (совпадение технологических маршрутов получения разных продуктов, использование одного технологического агрегата на стадии, игнорирование изменения

длительности технологических стадий от объема перерабатываемого продукта, установка параллельных только однотипных аппаратов на стадиях) [Малыгин, Карпушкин, Фролова и др., 1999.].

Заключение

В настоящее время авторы работают над моделями реализации предложенного алгоритма по каждому конкретному случаю протекания производственного процесса. Внедрение предлагаемого подхода в области металлургического производства позволит эффективно вносить необходимые корректировки в установленные планы, улучшит выявление нарушений при выполнении производственной программы и позволит более эффективно строить и корректировать расписание.

Список литературы

1. Боева Л.М., Цуканов М.А. 2014. Технологическая координация сложноструктурированных производств с использованием мультиагентных технологий. Монография. Губкин: 90 с.
2. Боева Л.М., Цуканов М.А. 2016. Интеллектуальная система ситуационного управления сталеплавильным производством. Старый Оскол, 154 с.
3. Боева Л.М., Цуканов М.А., Филатов В.А. 2017. Решение проблем технологической координации сложных производств на основе применения мультиагентных технологий: монография. Харьков, 105 с.
4. Коврижных О.А., Цуканов М.А. 2021. Применение мультиагентных технологий в задаче построения и корректировки устойчивого производственного расписания. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: XVII Всероссийская научно-практическая конференция. Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»: 290–294.
5. Коврижных, О.А., Цуканов М.А. 2018. Оценка производственного расписания как инструмент повышения эффективности процессов оперативного управления и технологической координации металлургического производства. Современные сложные системы управления HTCS'2018: Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции. Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии»: 121–124.
6. Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В., Фролова Т.А. и др. 1999. Проектирование гибких автоматизированных производственных систем: Учеб. пособие. М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 79 с.
7. Тебекин А.В. 2018. Методы принятия управления: учебник для академического бакалавриата. М.: Издательство Юрайт, 431 с.
8. Фолежинский А. 2013. Гибкие производственные системы: опыт немецких производителей. Альманах «Управление производством», 1: 53–61.
9. Цуканов М.А., Боева Л.М. 2012. Мультиагентная система поддержки принятия решений по оперативному планированию и технологической координации сложноструктурированных производственных систем. Управление большими системами: сборник трудов, 39: 254–263.
10. Цуканов М.А., Боева Л.М. 2012. Построение контактного графика сложноструктурированного дискретно-непрерывного производства с использованием иммунного алгоритма. Вестник Воронежского государственного технического университета, Т. 8, 4: 66–70.
11. Цуканов М.А., Коврижных О.А. 2019. Совершенствование мультиагентной системы оперативного управления и диспетчирования производства на основе принципа многоальтернативности и связи с обеспечивающими подсистемами. XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019, Москва, 17–20 июня 2019 года. Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН: 3080–3085.
12. Черноуцкий И.Г. 2005. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 416 с.
13. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2019. Analysis of Algorithms for Scheduling Complex Production Systems. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical



Modelling, Automation and Energy Efficiency, Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: 584-589. DOI 10.1109/SUMMA48161.2019.8947598.

14. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2020. The Need to Ensure Stability of the Schedule of Complex-Structured Productions. Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020: Virtual, Lipetsk: 735–739. DOI 10.1109/SUMMA50634.2020.9280680.

15. Skobelev P. 2011. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application. 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). France, Toulouse. Springer: 5–14.

References

1. Boeva L.M., Tsukanov M.A. 2014. Technological coordination of complex structured productions using multi-agent technologies. Monograph. Gubkin, 90 p. (in Russian)

2. Boeva L.M., Tsukanov M.A. 2016. Intelligent situational management system for steelmaking production. Stary Oskol, 154 p. (in Russian)

3. Boeva L.M., Tsukanov M.A., Filatov V.A. 2017. Solving the problems of technological coordination of complex productions based on the use of multi-agent technologies: monograph. Kharkiv, 105 p. (in Russian)

4. Kovrizhnykh O.A., Tsukanov M.A. 2021. Application of Multi-Agent Technologies in the Problem of Building and Adjusting a Sustainable Production Schedule. Modern problems of mining and metallurgical complex. Science and Production: XVII All-Russian Scientific and Practical Conference. Stary Oskol: Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISiS": 290–294. (in Russian)

5. Kovrizhnykh O.A., Tsukanov M.A. 2018. Assessment of production schedule as a tool to improve the efficiency of operational management processes and technological coordination of metallurgical production. Modern complex control systems HTCS'2018: Proceedings of XIII International Scientific and Practical Conference. Stary Oskol: LLC "Fine Science-Intensive Technologies": 121–124. (in Russian)

6. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Frolova T.A., etc. 1999. Design of flexible automated production systems: training manual. Tambov State Technical University, Tambov, 79 p. (in Russian)

7. Tebekin A.V. 2018. Methods of management decision-making: textbook for academic bachelor's degree. M.: Yurait Publishing House, 431 p. (in Russian)

8. Folezhinskiy A. 2013. Flexible production systems: the experience of German manufacturers. Almanac "Production Management". 2013. №1: 53–61. (in Russian)

9. Tsukanov M.A., Boeva L.M. 2012. Multi-agent decision support system for operational planning and technological coordination of complex production systems Management of large systems: collection of works. № 39: 254–263. (in Russian)

10. Tsukanov M.A., Boeva L.M. 2012. Construction of a contact graph of a complex structured discrete-continuous production using an immune algorithm. Bulletin of the Voronezh State Technical University. Vol. 8, № 4: 66–70. (in Russian)

11. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2019. Improvement of the multi-agent system of operational management and dispatching of production on the basis of the principle of multi-iterativity and communication with the supporting subsystems. XIII All-Russian Meeting on management problems of VSPU-2019: Proceedings of the XIII All-Russian Meeting on management problems of VSPU-2019. Institute of control sciences of Russian academy of sciences n.a. V.A. Trapeznikov. Moscow: 3080–3085. (in Russian)

12. Chernorutsky I.G. 2005. Methods of decision making. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 416 p. (in Russian)

13. Tsukanov M.A., Kovrizhnykh O.A. 2019. Analysis of Algorithms for Scheduling Complex Production Systems. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: 584-589. DOI 10.1109/SUMMA48161.2019.8947598. (in English)

14. Tsukanov M. A., Kovrizhnykh O. A. 2020. The Need to Ensure Stability of the Schedule of Complex-Structured Productions. Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020: Virtual, Lipetsk: 735–739. DOI 10.1109/SUMMA50634.2020.9280680. (in English)

15. Skobelev P. 2011. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application. 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). France, Toulouse. Springer: 5–14. (in English)



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боева Людмила Михайловна, доцент кафедры автоматизированных и информационных систем управления Старооскольского технологического института НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, Россия

Коврижных Олеся Александровна, аспирант кафедры автоматизированных и информационных систем управления Старооскольского технологического института НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ludmila M. Boeva, Docent of the Faculty of Automation and Information Technology Stary Oskol Technological Institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISiS", Stary Oskol, Russia

Olesia A. Kovrizhnykh, postgraduate student of the Faculty of automation and information technology, Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISiS", Stary Oskol, Russia