УДК 621.771

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА*

Ерёмченко А.Ю.^{1,2}, к.т.н., доцент кафедры «Автоматизированные и информационные системы управления», ведущий специалист организации управления производством (al_eremenko@mail.ru)

Цыганков Ю.А.¹, аспирант кафедры «Автоматизированные и информационные системы управления» (monya1993@mail.ru)

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, филиал НИТУ «МИСиС»
(309516, Россия, Белгородская обл., Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42)

² ОАО «Лебединский ГОК»
(309191, Россия, Белгородская обл., Губкин-11)

Аннотация. Повышение эффективности производственной деятельности предприятия может быть достигнуто путем повышения оперативности принимаемых управленческих решений. Использование современных высокоинтеллектуальных систем управления, основанных на принципах нечеткой логики, позволяющих не только обрабатывать большие объемы разноплановой и неструктурированной информации, но и оперативно вырабатывать решения в условиях инвариантности и недостаточности данных, адаптация этих систем к реальным производственным условиям является одним из основных направлений в реализации задачи повышения эффективности производства. В работе анализируются возможности проектирования системы оперативного управления процессами подготовки и перевалки клетей сортового прокатного стана, формирования и корректировки плана прокатки в условиях интерактивного взаимодействия всех агентов технологической цепи на основе симбиоза многоуровневых мультиагентных сетей и динамических экспертных систем.

Ключевые слова: интеллектуализация управления, сортопрокатное производство, подготовка производства, план прокатки, перевалка клетей, мультиагентные сети, экспертные системы.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-11-851-856

Прокатное производство является заключительным переделом металлургического производства, обеспечивающим выпуск готовых изделий и определяющим основной характер металлургического завода, многообразие его технологических процессов, сортамент прокатываемых сталей, технологический состав цехов и агрегатов и отличается от других переделов металлургического производства большой номенклатурой готовой продукции, непрерывным совершенствованием технологических процессов с целью повышения качества выпускаемой продукции, постоянно возрастающими требованиями потребителей к качеству этих изделий, разветвленной схемой транспортных потоков, сложной конфигурацией схемы обработки, перескладирования, учета, упаковки и отгрузки [1].

Актуальность разработки высокоинтеллектуальных систем управления процессом производства сортового проката обусловлена усложнением подготовки оборудования стана, постоянным ростом объемов производства при одновременном росте разнообразия сортамента продукции, повышением требований потребителей к отделке изделий, уменьшившимся в последние годы тоннажем отгружаемых партий проката

(монтажных партий), что в свою очередь увеличивает объем подготовительных операций вследствие возросшего количества перевалок на оборудовании, а также усложнением внутренних логистических потоков при отделке, межоперационном складировании и отгрузке готовой продукции.

Успешное решение сложной многокритериальной задачи по формированию качественного оперативного плана прокатки определяется, в значительной степени, способностью специалиста учитывать большое количество факторов, работать в режиме недостаточной полноты информации и постоянного цейтнота, вызванного непрерывно изменяющимися условиями во всей технологической цепочке «выплавка – разливка – прокатка – отделка – отгрузка», что определяется, в первую очередь, опытом и личными качествами специалиста [2].

Анализ современных средств и методов [3 – 13], позволяющих осуществлять оперативное планирование и управление производством, позволил принять решение о возможности проектирования системы управления процессом подготовки прокатного производства и оптимизации процесса формирования плана прокатки на базе симбиоза экспертных систем и мультиагентных сетей [14], как обладающих совокупностью характеристик, наиболее полно отвечающих изложенным выше требованиям.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант № 15-07-06092-а.

При разработке оптимального оперативного графика планирования прокатного производства можно выделить следующие критерии: своевременность отгрузки партии металла потребителю, отсутствие простоя транспортных средств, отсутствие простоев технологического оборудования, отсутствие нарушений технологии, отсутствие брака (например пересиживание металла в печи, связанное с неготовностью стана и др.), обеспечение минимального количества перевалок в процессе прокатки и минимального количества клетей (кассет), подлежащих замене в ходе перевалки (скольжение по профилям).

В качестве экспертной целесообразно использовать динамическую систему ввиду необходимости учитывать динамику внешних условий, т. е. изменения, происходящие в окружающей технологической среде в режиме реального времени выполнения программного приложения.

В качестве исходной информационной базы экспертной системы (ЭС) выступает портфель заказов

прокатной продукции, план выплавки стали и поступления партий (плавов) на склад литой заготовки [15].

Возмущениями, влияющими на устойчивость графика прокатки, являются нарушения технологического процесса как на предыдущих этапах (задержка или отбраковка плавки, аварийные простои оборудования и т. д.), так и непосредственно в прокатных цехах (сбои в транспортировке литой заготовки и подката между цехами, несвоевременность подготовки прокатных клетей, задержка (отправка на доработку) партии проката работниками ОТК, и т. д.), несвоевременность поставки транспорта под отгрузку, оформления отгрузочных документов и пр.

На рис. 1 представлен пример формирования ЭС для участка сборки и подготовки клетей со статической и динамической базами данных, интегрируемой в мультиагентную сеть нижнего уровня «подготовка клетей», которая в свою очередь является агентом сети более высокого уровня (цеха) «склад исходной заготовки» –

Рис. 1 Построение экспертной системы по управлению процессом подготовки прокатного производства

Pic. 1. Development of expert system for process control of rolling production preparation

«печи нагрева» – «стан» – «участок отделки» – «склад готовой продукции» – «участок отгрузки».

База данных (рабочая память) предназначена для хранения архивной (базовой) и текущей (оперативной) информации, необходимой для решения задачи оперативного планирования и управления процессом.

Статическая база данных – это архив устойчивой неизменяемой информации. В качестве основы статической информационной базы будут выступать нормы длительности выполнения операций. Одним из негативных факторов, снижающих эффективность формирования плана прокатки, его точности, является принятие управленческих решений на основании опытно-статистических данных о продолжительности того или иного процесса.

Объективная (технически обоснованная) статическая база данных ЭС «стан» будет представлена следующими блоками:

- *A* – подготовка прокатной клетки: вальцетокарная обработка (n_{1A})/ шаблонное производство (n_{2A})/ валковых опор (n_{3A})/ сборка прокатных клеток (n_{4A})/ сборка привалковой арматуры (n_{5A})/ настройка клетки (электро и гидрообвязка – установка датчиков усилия прокатки, наличия, расхода и температуры сред, подключение носителей сред – рукавов, шлангов и т.д.) (n_{6A})/ завалка клетки (n_{7A});
- *B* – подготовка калибрующих устройств (блоков, клеток) – нарезка валков калибрующих клеток (блоков) (n_{1B})/ сборка калибрующих клеток (блоков) (n_{2B})/ настройка (с обвязкой) калибрующих клеток (блоков) (n_{3B})/ завалка клеток (блоков) (n_{4B});
- *C* – подготовка ножниц и пил: подготовка ножей (заточка и сборка) (n_{1C})/ подготовка (наплавка, заточка, сборка) пильных дисков (n_{2C})/ завалка (сборка) в линии стана (n_{3C});
- *D* – подготовка устройств термомеханической обработки: подготовка и настройка труб ТМО (n_{1D})/ завалка труб ТМО (n_{2D});
- *E* – прочие операции.

База данных может быть приведена к табличному или матричному виду «норма длительности – технологических фактор», например «типоразмер собираемой клетки – длительность выполнения сборочных работ», либо при условии наличия большего количества факторов (материал валка, материал резца, количество калибров одного типоразмера, тип станка, номер переточки и т. д.) может быть описана уравнением регрессии вида:

$$H_d = v_0 + v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_n x_n + v_{12} x_1 x_2 + \dots + v_{nm} x_n x_m,$$

где H_d – норма длительности изготовления валковой пары; $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ – перечень значимых факторов, оказывающих влияние на норму длительности операции.

Срок готовности к прокатке i -го профиля будет определяться готовностью всех блоков кластера, которые могут быть как независимыми, параллельными (например «нарезка калибров» – «ревизия валковых опор» – «подготовка привалковой арматуры»), так и строго последовательными («монтаж валковых опор» – «завалка валков в клеть» – «обвязка клетки» – «настройка клетки»).

Динамическая (оперативная) база данных является зеркалом, отражающим текущую картину – степень готовности оборудования, расходных материалов, персонала к прокатке i -го профиля без предварительной подготовки или при необходимости таковой и формируется оперативным технологическим персоналом участка в режиме реального времени:

- наличие и состав собранных рабочих клеток;
- наличие и состав клеток калибрующего блока;
- количество и типоразмеры свободных кассет рабочих клеток;
- наработка на калибрах существующих валков;
- количество выполненных переточек;
- наличие нарезанных валков на высотном складе;
- наличие и состав собранных валков;
- наличие и состав привалковой арматуры;
- количество и типоразмеры свободных комплектов валковых опор и т. д.

База моделей (знаний) – это база устойчивых правил и закономерностей, которая формируется на основании совместной работы экспертов, т. е. специалистов планово-распределительного бюро, технологических служб участков вальцетокарной обработки, подготовки рабочих клеток, сборки привалковой арматуры, шаблонной мастерской и др. с одной стороны и инженера по знаниям и программиста с другой, задача которых выявить и структурировать знания, необходимые для работы ЭС, осуществить выбор и разработку (при необходимости) информационных систем, выделить и выполнить программирование стандартных функций и т. д.

Взаимодействие элементов кластера, как агентов мультиагентной сети нижнего уровня, может быть описано на примере процесса подготовки клеток стана 350 сортопрокатного цеха (СПЦ) № 2 ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (ОЭМК) (рис. 2).

Шаблонная мастерская (ШМ) (*A*) обеспечивает поставку шаблонов (контршаблонов) на вальцетокарное отделение (ВТО) (*B*), где осуществляется изготовление (переточка выработавших ресурс) прокатных валков. Изготовленные (переточенные) валки поступают на высотный склад валков (ВСВ) (*C*) или непосредственно на участок сборки прокатных валков (*H*).

На участке подшипников жидкостного трения (ПЖТ) производится ремонт и подготовка валковых опор, поступающих далее на участок (*H*). Валковые опоры могут поступать также со склада или на склад валковых опор (*E*).

Рис. 2 Мультиагентная сеть взаимодействия структурных производственных единиц кластера подготовки прокатного производства

Pic. 2 Multi-agent system of structural production facilities interaction of rolling production preparation cluster

Привалковая арматура готовится в мастерской (F) и поступает на высотный склад (G) или непосредственно на участок сборки клетей (J), куда перед этим уже должны поступить собранные прокатные валки с участка (H) или со склада (I).

Выдача собранных, настроенных и обвязанных клетей (процесс обвязки клетей работниками электрослужб, гидравликами, энергетиками и слесарями КИПиА включен в состав работ по сборке и настройке клетей) в линию стана осуществляется либо с участка сборки клетей (J), либо со склада хранения собранных клетей.

В свою очередь, подкластер подготовки клетей выступает как агент в сети более высокого уровня – «склад исходной заготовки» – «печи нагрева» – «стан» – «участок отделки» – «склад готовой продукции» – «цех отделки проката» – «участок отгрузки», а кластер «производство проката» в сети верхнего уровня предприятия – «окомкование» – «металлизация» – «подготовка скрапа» – «выплавка/разливка стали» – «производство проката» – «отделка» – «отгрузка» и др.

Принципиальная схема реализации работы экспертной системы, взаимодействия агентов мультиагентной сети оперативного управления процессом подготовки клетей участка перевалки стана 350 СПЦ № 2 ОАО «ОЭМК» представлена на рис. 3.

Разработка современных интеллектуальных систем оперативного управления производством призвана облегчить работу специалистов, осуществляющих оперативное (тактическое) планирование и управление производством, повысить эффективность принимаемых решений в результате использования технически-обоснованной исходной информации, снизить степень субъективности принимаемых решений, повысить кадровую безопасность производства путем

сохранения в базе знаний экспертной системы опыта экспертов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еременко А.Ю. Интеллектуализация системы оперативного управления процессом подготовки обжимных клетей сортопрокатного цеха // XI Всероссийская науч.-практич. конф. «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство». – Старый Оскол, 2014. Т. 1. С. 178 – 185.
2. Цуканов М.А., Боева Л.М. Построение контактного графика сложноструктурированного дискретно-непрерывного производства с использованием иммунного алгоритма // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 4. С. 66 – 70.
3. Дьячко А.Г. Математическое и имитационное моделирование производственных систем. – М.: МИСИС, 2007. – 540 с.
4. Вережкин С.В. Разработка и применение алгоритмов производственной координации (на примере сталеплавильного комплекса). Дисс. ... канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2003. – 227 с.
5. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 355 с.
6. Вережкин С.В. Формирование контактного графика в параллельно-последовательных системах: Сб. науч. тр. «Информационные технологии в экономике, промышленности и образовании». – Кемерово: Изд-во НФИ КемГУ, 2000. С.18 – 24.
7. Min Liu, Zhi-jiang Sun. An adaptive annealing genetic algorithm for the job-shop planning and scheduling problem // Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38(8). P. 9248 – 9255.
8. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глушенко А.И., Солодов С.В. Исследование эффективности применения нейросетевого оптимизатора параметров ПИД-регулятора при решении задач управления нагревательными объектами в металлургии // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. №7 (57). С. 61 – 65.
9. Вережкин С.В. Формирование контактного графика в параллельно-последовательных системах // Информационные технологии в экономике, промышленности и образовании: Сб. науч. тр. – Кемерово. Изд-во НФИ КемГУ, 2000. С. 18–24.
10. Цуканов М.А., Боева Л.М. Моделирование технологической координации оборудования сталеплавильного цеха на основе

Рис. 3 Реализация экспертной системы оперативного управления процессом подготовки клетей на примере работы участка перевалки стана 350 СПЦ-2 ОАО ОЭМК

Pic. 3 Expert system implementation for operational management of stands preparation process at the example of roll changing section at the rolling mill 350 of long product rolling mill workshop-2 of OJSC "Oskolskii Electrometallurgical Plant"

- аппарата вложенных сетей Петри // Электротехнические комплексы и системы управления. 2010. № 2 (18). С. 51 – 54.
11. Leung C.W., Wong T.N. Integrated process planning and scheduling by an agent-based ant colony optimization // Computers & Industrial Engineering. 2010. No. 59. P. 166 – 180.
 12. Carlier J. The one-machine sequencing problem // European Journal of Operational Research. 1982. Vol. 11. P. 42 – 47.
 13. Tang L. et al. A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production // European Journal of Operational Research. 2001. Vol. 133. No. 1. P. 1 – 20.
 14. Еременко Ю.И. Исследование эффективности интеллектуального управления в металлургии. Дисс. ... канд. техн. наук. – Липецк: ЛПТУ, 2005. – 369 с.
 15. Интеллектуализация системы оперативного управления процессом подготовки прокатных клетей сортопрокатного цеха // Всероссийская науч.-практич. конф. «Образование, наука, производство и управление». 2012. С. 180 – 185.

Поступила 3 декабря 2014 г.

CONTROL INTELLECTUALIZATION DESIGN FOR PRODUCTION PROCESS PREPARATION OF SECTION MILL

A.Y. Eremenko^{1,2}, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Automation and Information Systems”, Leading Specialist of Department of Production Control Management (al_erenenko@mail.ru)*

Y.A. Tsigankov¹, *Postgraduate of the Chair “Automation and Information Systems” (monya1993@mail.ru)*

¹ **Sary Oskol Technological Institute of National University of Science and Technology “MISIS”** (42, Makarenko, Sary Oskol, Belgorod Region, 309516 Russia)

² **OJSC “Lebedinsky GOK”** (Industrial Zone, Gubkin, Belgorod Region, 309516, Russia)

Abstract. An increase of production activity efficiency of an enterprise can be reached by efficiency increase of the management decisions making process. Modern highly intellectual management systems are based on the principles of fuzzy logic and allow not only to process the large volumes of versatile and unstructured information, but also to make decisions quickly in conditions of invariance and insufficiency of data. Such systems usage and adaptation to real working conditions are main ways to increase the production efficiency. The article describes the possibility of operational management system design. Such system is based on symbiosis between multi-level multi-agent systems and dynamic expert systems and is expected to be used for processes of section mill stand preparation and transfer, making and adjustment of the rolling plan under the conditions of interaction of all agents of a technological circuits.

Keywords: management intellectualization, section mill, preproduction, rolling plan, roll changing, multi-agent system, expert system.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-11-851-856

REFERENCES

- Eremenko A.Yu. Intellectualization of operational management system of preparation process of breakdown stands at section rolling shop. In: *Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo. XI vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem* [Modern problems of mining and smelting complex. Science and Production. XI All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation]. Vol. 1, Sary Oskol, 2014, pp. 178–185. (In Russ.).
- Tsukanov M.A., Boeva L.M. Construction of contact schedule of complex structured discrete-continuous production using immune algorithm. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2012, vol. 8, no. 4, pp. 66–70. (In Russ.).
- D'yachko A.G. *Matematicheskoe i imitatsionnoe modelirovanie proizvodstvennykh sistem. Nauchnoe izdanie* [Mathematical modeling and simulation of manufacturing systems]. Moscow: MISIS, 2007, 540 p. (In Russ.).
- Verevkin S.V. *Razrabotka i primeneniye algoritmov proizvodstvennoi koordinatsii (na primere staleplavil'nogo kompleksa). Diss. ... kand. tekhn. nauk* [Development and application of industrial coordination algorithms (at the example of steel-smelting complex) Cand. Tech. Sci. Diss.]. Novokuznetsk, 2003, 227 p. (In Russ.).
- Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems]. Moscow: Nauka, 1968, 355 p. (In Russ.).
- Verevkin S.V. Formation of contact graph in the parallel-serial systems. In: *Sb. nauch. tr. “Informatsionnye tekhnologii v ekonomike, promyshlennosti i obrazovanii”* [Information technologies in economy, industry and education: Coll. of sci. papers]. Kemerovo: Izd-vo NFI KemGU, 2000, pp. 18–24. (In Russ.).
- Min Liu, Zhi-jiang Sun. An adaptive annealing genetic algorithm for the job-shop planning and scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38(8), pp. 9248–9255.
- Eremenko Yu.I., Poleshchenko D.A., Glushchenko A.I., Solodov S.V. The appliance efficiency estimation of pid-regulator parameters of neural optimizer for solving of control problem of metallurgical heating plants. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2014, vol. 57, no. 7, pp. 61–65. (In Russ.).
- Verevkin S.V. Formation of contact graph in the parallel-serial systems. In: *Sb. nauch. tr. “Informatsionnye tekhnologii v ekonomike, promyshlennosti i obrazovanii”* [Information technologies in economy, industry and education: Coll. of sci. papers]. Kemerovo: Izd-vo NFI KemGU, 2000, pp. 18–24. (In Russ.).
- Tsukanov M.A., Boeva L.M. Modeling of technological coordination of steel plant equipment on the basis of the unit with enclosed Petri nets. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya*. 2010, no. 2 (18), pp. 51–54. (In Russ.).
- Leung C.W., Wong T.N. Integrated process planning and scheduling by an agent-based ant colony optimization. *Computers & Industrial Engineering*. 2010, no. 59, pp. 166–180.
- Carlier J. The one-machine sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 1982. Vol. 11, pp. 42–47.
- Tang L. etc. A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production. *European Journal of Operational Research*, 2001. Vol. 133, no. 1, pp. 1–20.
- Eremenko Yu.I. *Issledovanie effektivnosti intellektual'nogo upravleniya v metallurgii. Diss. ... kand. tekhn. nauk* [Investigation of the efficiency of intelligent control in metallurgy. Cand. Tech. Sci. Diss.]. Lipetsk: LGTU, 2005, 369 p. (In Russ.).
- Control intellectualization design for production process preparation of section mill. In: *“Obrazovanie, nauka, proizvodstvo i upravlenie”, Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya prepodavatelei, studentov i aspirantov s mezhdunarodnym uchastiem* [“Education, science, production and management” All-Russian scientific and practical conference of tutors, students and graduate students with international participation]. 2012, pp. 180–185. (In Russ.).

Acknowledgements. The work was supported by the Russian Foundation for Fundamental Researches. Grant no.15-07-06092-a.

Received December 3, 2014