

УДК 004.89

doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.022

Е.Г. Кабулова

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОСТАДИЙНЫМИ СИСТЕМАМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Старый Оскол, Россия*

На сегодняшний день уровень развития металлургического производства предъявляет высокие требования к системам управления производством и качеству выпускаемой металлопродукции, обусловленные развитием информационных технологий. Металлургическое производство с точки зрения управления и многостадийного характера изготовления продукции является сложной, большой системой с различными особенностями функционирования подсистем и элементов переделов. Традиционные методы моделирования для реализации управления такими системами малоэффективны, так как одной из основных проблем при этом является выбор оптимальных управленческих решений с учетом текущих ситуаций и ограничений на изменения значений технологических параметров. В этой связи возникает необходимость в разработке такой методологии, которая позволила бы повысить эффективность управления технологическими системами, организовать поддержку принятия решений в условиях неопределенности, обеспечить оперативность и точность информации для повышения качества металлопродукции и технико-экономических показателей и надежности производства. Целью исследования является применение новых методов анализа сложных производственных систем обработки информации, совершенствование управления и принятия решений, что позволит повысить эффективность функционирования предприятий и снизить долю продукции низкого качества. В результате предложена формализация задачи комплексного управления выходными показателями качества продукции с учетом неопределенности внутрисистемных факторов металлургического производства. Программная реализация алгоритмов повысит эффективность принятия решений за счет определения оптимальных технологических параметров из диапазона допустимых значений.

Ключевые слова: металлургическое производство, интеллектуальная поддержка управления, многостадийная технология в условиях неопределенности.

Введение

К качеству продукции, в том числе и к качеству металлов и сплавов, предъявляется множество требований, что приводит к необходимости получения наиболее оптимальных параметров при управлении производственным процессом [4,6]. Одной из особенностей металлургического производства является наличие сквозной технологии с последовательными стадиями, что свидетельствует о физической

разнородности подсистем и математического описания их функционирования, а также наличие несовершенных моделей прогнозирования выходных характеристик продукта по заданным в индивидуальной заказной спецификации параметрам [1, 2].

Очевидно, что жесткое соблюдение технологии производства практически невозможно, что приводит к отклонению от допустимых диапазонов параметров, а, следовательно, к браку или к выпуску незаказной продукции. Кроме того, реальные сложные системы металлургического производства функционируют в условиях неполноты данных и неопределенности информации [2]. Анализ существующих методов моделирования сложных технологических систем многостадийного производства приводит к необходимости совершенствования систем управления технологическими процессами на основе методов декомпозиции и моделирование отдельных подпроцессов, корректировки управляющих воздействий при отклонении от технологии производства на предыдущих стадиях для минимизации вероятности получения брака [1,4].

Методология и методы

Учитывая сложность и особенности функционирования систем металлургического производства, возникает необходимость в разработке такой методологии, которая позволила бы повысить эффективность управления технологическими системами, организовать поддержку принятия решений в условиях неопределенности, обеспечить оперативность и точность информации для повышения качества металлопродукции и технико-экономических показателей и надежности производства [10].

Технологическая система отличается от технической комплексным характером рассмотрения производства, эксплуатации, управления, оценки качества продукции. При этом динамика сложной технологической системы определяется изменением ее состояния и поведения во времени, а наиболее эффективными подходами для исследования таких систем являются методы системного анализа, позволяющие всесторонне рассматривать систему на различных уровнях иерархии. В унифицированной форме технологическую систему можно представить в виде кортежа:

$$S_i = \langle F, S_r, I, Q \rangle \quad (1)$$

где: S_t - технологическая многостадийная система; F - функция системы; S_r - структура (стадии, переделы); I - организация управления; Q - оценка качества продукции.

Согласно (1) моделируемую технологическую систему можно описать соотношением:

$$S_t = (S_r, Z_r) \quad (2)$$

где: $S_r = (S_{r1}, S_{r2}, S_{rN})$ - элементы технологической системы; Z_r - законы и правила функционирования технологической систем.

Производство в черной металлургии включает в себя следующие основные стадии: добычу железорудного сырья, его обогащение; агломерацию и окомкование руды; стадии производства стали, чугуна, проката; производство ферросплавов и огнеупоров; а также стадию оценки качества металлопродукции. Наличие сквозной технологии производства предприятий горно-металлургического комплекса можно отнести к таким свойствам сложным систем, как многоуровневость, динамичность производства и целостность, влияющая на подсистемы и связи между ними [2].

При идентификации сложных систем металлургического производства присутствует большой процент субъективных экспертных знаний о системе. В данном случае можно говорить о таких свойствах сложных систем, как неопределенность информации и недостаток данных о параметрах системы, возникающие в результате неосознанного механического подхода металлурга-эксперта [2, 4]. Например, определение химического состава выплавляемой стали и достижение требуемой в спецификации прокаливаемости происходит в условиях неопределенности, методом перебора на основе многолетнего опыта оператора плавки (эксперта), разработка месторождений руды также характеризуется нечеткими данными ввиду неоднородности среды и примерными данными разведки о расположении, форме, угле наклона рудника.

Одним из методологических выводов в этой проблеме является невозможность полного изменения сложной системы за один цикл. В таком случае сложная система должна совершить несколько циклов, на каждом из которых необходимо вносить изменения по управляющим воздействиям и исследовать результаты с выявлением и анализом новых связей и закономерностей функционирования системы.

Для формализации неопределенности можно использовать различные математические подходы и их разделение на сегодняшний день достаточно условно [8], но чаще всего в реальных системах применяют методы

интеллектуальной поддержки управления и принятия решений, что приводит к особой постановке и решению задач оптимизации и управления технологическими системами металлургического производства.

В связи с тем, что сложные технологические системы металлургического производства как объекты управления характеризуются наличием множества переделов, осуществляющих переработку сырья в конечный продукт, то, согласно теории многоуровневых систем М. Месаровича [3, 11], в иерархии системы необходимо присутствие координатора.

Для рассматриваемых сложных систем металлургического производства в качестве координатора предложено применение блока интеллектуальной поддержки управленческих решений. При этом каждый элемент (стадия, передел) влияет на решение последующего элемента путем передачи информации о своем состоянии и последствиях принимаемых им решений.

Согласно [3], выделим следующие уровни при принятии решений в рассматриваемых системах: уровень координирующих элементов; уровень управляющих элементов; уровень исполнительных элементов.

На Рисунке 1 представлена иерархическая структура сложной технологической многостадийной системы, где:

St - технологическая стадия производства;

$\bar{\psi}_i$ - вектор значений технологических параметров i -го процесса;

\bar{T}_i - вектор принятых решений об изменении параметров i -го процесса;

$\bar{\xi}_i$ - вектор показателей качества продукции;

ψ - значение результирующих показателей.

Каждая составляющая приведенной иерархической структуры представляет собой набор качественных или количественных параметров, причем функционирование технологической системы или каждого передела протекает в условиях неопределенности, т.е. значения параметров рассматриваются в интервальных диапазонах [7]. Процесс принятия решений в этом случае заключается в итеративном процессе уменьшения интервалов возможных значений.



Рисунок 1 - Иерархическая структура сложной технологической многостадийной системы

Таким образом, многостадийная иерархическая структура технологических систем металлургического производства представлена в виде относительно независимых, взаимосвязанных между собой переделов.

При этом на каждой стадии принимаются собственные решения, а горизонтальная иерархия расположения стадий определяется тем, что каждая последующая стадия находится под влиянием координирующей интеллектуальной системы. На каждой стадии производства достигаются собственные цели и используются различные методы принятия решений, но все они не противоречат глобальной цели предприятия.

Применение в данном случае стратифицированного представления сложных технологических систем металлургического производства, по теории М. Месаровича [3,11], позволит снизить неопределенность информации на последующих стадиях производства, без утраты единой цели технологии производства.

Очевидно, что реальная технология производства требует определенного поведения всей системы, и надлежащее функционирование системы на каждой страте предполагает, что на предыдущих стратегиях система работала правильно.

Для обеспечения адекватного функционирования системы на каждой стадии необходимо минимизировать неопределенность информации и исходных данных при выполнении технологических операций. Решение этой проблемы наиболее целесообразно проводить с помощью методов интеллектуального анализа, обработки данных и принятия решений, что позволит не только свести к минимуму неопределенность данных, но и вносить управляющие воздействия, корректировать технологические параметры на производственных стадиях для оптимизации следующего этапа производства.

Следует отметить, что интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений реализуется различными технологиями [5], но на сегодня наиболее распространенными являются технологии принятия решений на основе нечетких множеств, нечеткой логики и нейронных сетей [5, 9]. Это позволяет учитывать нечеткость информации и признаки качества продукции, а также нечеткие функции принадлежности об уровне показателей качества.

В качестве примера, рассмотрим разработку модели прогнозирования выходных характеристик металлопродукции на основе нечеткого моделирования.

Под нечетким прогнозным моделированием понимается методология, описывающая совокупность правил вида:

$$R_i : \text{если } \psi \text{ есть } A_i, \text{ то } \xi \text{ есть } B_i \quad (i=1, n) \quad (3)$$

где « ψ есть A_i » является условием, а « ξ есть B_i » заключением, представляют собой нечеткие правила, переводятся в функцию f , описывающей связь между множествами ψ и ξ .

Следовательно, модель прогнозирования выходных параметров проката будет формулироваться следующим образом:

$$\text{Если } \bar{\psi} \in D_j \text{ с } \mu_{D_j}(\bar{\psi}), \text{ то } \bar{\xi}(S_t) = \bar{\lambda}_{0j} + M_j \bar{\psi} \text{ с } \mu_{D_j}(\bar{\psi}) \text{ для всех } j \quad (4)$$

где: D_i^j – j -ый интервал, в котором изменяется i – ый параметр;

$\mu_{D_{ij}}(\psi_i)$ - значения функций принадлежности ψ_i соответствующему интервалу;

$\mu_{D_j}(\bar{\psi})$ - значения функций принадлежности вектора $\bar{\psi}$ классу D_j .

Согласно (4) можно сформировать нечеткие продукционные правила для прогнозирования конкретного химического состава стали, приведенные на Рисунке 2.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Если} \\ \text{Химический состав} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{массовая доля C} = 0,27\% \in D_1 = [0,2200,468] \text{ с } \mu_{D_1}(C) = 0,709 \\ \text{массовая доля Si} = 0,32\% \in D_1 = [0,0200,360] \text{ с } \mu_{D_1}(Si) = 0,705 \\ \text{массовая доля Mn} = 0,92\% \in D_1 = [0,5900,970] \text{ с } \mu_{D_1}(Mn) = 0,841 \\ \text{массовая доля P} = 0,012\% \in D_1 = [0,050,037] \text{ с } \mu_{D_1}(P) = 0,471 \\ \text{массовая доля S} = 0,024\% \in D_1 = [0,0030,038] \text{ с } \mu_{D_1}(S) = 0,911, \dots \text{ то} \\ \text{массовая доля Cu} = 0,06\% \in D_1 = [0,0170,320] \text{ с } \mu_{D_1}(Cu) = 0,315 \\ \text{массовая доля Al} = 0,023\% \in D_1 = [0,012;0,062] \text{ с } \mu_{D_1}(Al) = 0,440 \\ \text{массовая доля Cr} = 0,87\% \in D_1 = [0,8001,240] \text{ с } \mu_{D_1}(Cr) = 0,848 \\ \text{массовая доля Mo} = 0,21\% \in D_1 = [0,005;0,190] \text{ с } \mu_{D_1}(Mo) = 0,683 \end{array}$$

$$y_{k1} = 50,3 \text{ HRC}$$

Рисунок 2 - Нечеткие продукционные правила для прогнозирования конкретного химического состава стали

Следует отметить, что применение нечеткого прогнозного моделирования требует дальнейшей фаззификации посылочной части правил, а также проверку модели на адекватность.

Результаты

Предложенная интеллектуальная модель управления выходными свойствами металлопродукции была апробирована и внедрена на предприятиях металлургической отрасли: "Оскольском электрометаллургическом комбинате" и металлургическом заводе "Электросталь". Анализ опыта использования модели показал значительное увеличение достоверности прогноза выходных параметров за счет применения нечеткого моделирования на основе продукционных правил и нечеткого вывода Такаги-Суждено-Канга.

Заключение

Моделирование многостадийных технологических систем чаще всего сопровождается сложностью организации, наличием взаимосвязей между элементами, многопараметричностью, неполнотой и неопределенностью информации. В этой связи становится достаточно актуальной разработка и развитие методов моделирования сложных технологических систем, которые позволили бы исследовать системные связи и закономерности функционирования изучаемых систем и повысить их эффективность.

Выявлено, что для построения управления сложными многостадийными системами необходимо применение методов декомпозиции и моделирование отдельных подпроцессов, корректировка управляющих воздействий при отклонении от технологии на предыдущих стадиях для минимизации вероятности получения брака.

Для дальнейшего исследования сложных систем металлургического производства введено понятие "горизонтальной многостадийной иерархии технологических систем". При таком подходе моделирование должно проходить при последовательном движении от одной стадии к другой с разработкой соответствующих математических моделей процессов производства.

Применение методов интеллектуального анализа и обработки данных и принятия решений на различных стадиях производства позволяет минимизировать неопределенность, вносить управляющие воздействия и корректировать технологические параметры на производственных стадиях для оптимизации следующего этапа производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бестужев -Лада И.В. Рабочая книга по прогнозированию. М.: Изд-во Мысль, 1982. - 430 с.
2. Кабулова Е.Г. Математическое моделирование производственных процессов в металлургии. Старый Оскол: Изд-во «ТНТ», 2014. - 131 с.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Издательство «Мир», 1973. - 344 с.
4. Рожков И.М., Власов С.А., Мулько Г.Н. Математические модели для выбора рациональной технологии и управления качеством стали. М.: Металлургия, 1990. - 398 с.
5. Baldwin J.F., Guild N.C. Comparison of Fuzzy Sets on the Same Decision Space // Fuzzy Sets and Systems. - 1879. - Vol. 2. - № 3. - Pp. 231-231.
6. Gitman M.B., Trusov P.V., Fedoseev S.A. On optimization of metal forming with adaptable characteristics // Journal of Applied Mathematics and Computing. - 2000. - Vol. 7. - No. 2. - Pp. 387-396.
7. Matsko I.I. Adaptive fuzzy decision tree with dynamic structure for automatic process control system o of continuous-cast billet production // IOSR Journal of Engineering. - 2012. - Vol. 2. - № 8. - Pp. 53-55.
8. Merkuryeva G. Computer Simulation in Industrial Management Games // Proc. of MIM 2000. IFAK Symp. on Manufacturing, Modeling, Management and Control. University of Patras, Rio, Greece. - 2000. - Pp. 69 -73.
9. Michalska H., Ellis J.E., Roberts P.D. Joint coordination method for the steady state control of large-scale systems // Int. J. Syst. Sci. - 1985. - № 5. - Pp. 605 - 618.
10. Saati T. and Kerns K. Analytical planning. Organization of systems. M: Radio and communication, 1991. - 224 p.
11. Saati T.L. Decision-making. Method of the analysis of hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. - 278 p.

E.G. Kabulova

**INTELLIGENT CONTROL OF MULTISTAGE SYSTEMS OF
METALLURGICAL PRODUCTION**

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch)

NUST «MISIS»

Sary Oskol, Russian Federation

To date, the level of development of metallurgical production imposes high requirements to production management systems and the quality of steel products, due to the development of information technology. Metallurgical production from the point of view of management and multistage character of production is a complex, large system with different characteristics of subsystems and elements of processing. Traditional methods of modeling for the management of such systems are ineffective, as one of the main problems is the choice of optimal management decisions taking into account current situations and restrictions on changes in the values of technological parameters. In this regard, there is a need to develop a methodology that would improve the management of technological systems, organize decision-making support in the face of uncertainty, to ensure the speed and accuracy of information to improve the quality of metal products and technical and economic indicators and the reliability of production. The application of new methods of analysis of complex production systems of information processing, management improvement and decision-making will improve the efficiency of enterprises and reduce the proportion of low-quality products. The aim of the study is to use new methods of analysis of complex production systems of information processing, improvement of management and decision-making, which will improve the efficiency of enterprises and reduce the share of low-quality products. As a result, the formalization of the problem of integrated management of output indicators of product quality, taking into account the uncertainty of internal factors of metallurgical production. The software implementation of the algorithms will increase the efficiency of decision-making by determining the optimal technological parameters from the range of permissible values.

Keywords: metallurgical production, intelligent control support, multi-stage technology in the context of uncertainty.

REFERENCES

12. Bestuzhev-Lada I. V. working book on forecasting. M.: Mysl, 1982. 430 p.
13. Kabulova E.G. Mathematical modeling of production processes in metallurgy. Sary Oskol: TNT Publishing house, 2014. - 131 c.
14. Mesarovich M., Mako D., Takahara I. theory of hierarchical multilevel systems. M.: Publishing House "Mir", 1973. - 344 c.
15. Rozhkov I. M., Vlasov S. A., Malko, G. N. A mathematical model for the choice of rational technology and quality control of steel. M.: Metallurgy, 1990. - 398 p.

16. Baldwin J.F., Guild N.C. Comparison of Fuzzy Sets on the Same Decision Space // Fuzzy Sets and Systems. - 1979. - Vol. 2. - № 3. - Pp. 231-231.
17. Gitman M.B., Trusov P.V., Fedoseev S.A. On optimization of metal forming with adaptable characteristics // Journal of Applied Mathematics and Computing. - 2000. - Vol. 7. - No. 2. - Pp. 387-396.
18. Matsko I.I. Adaptive fuzzy decision tree with dynamic structure for automatic process control system of continuous-cast billet production // IOSR Journal of Engineering. - 2012. - Vol. 2. - № 8. - Pp. 53-55.
19. Merkuryeva G. Computer Simulation in Industrial Management Games // Proc. of MIM 2000. IFAK Symp. on Manufacturing, Modeling, Management and Control. University of Patras, Rio, Greece. - 2000. - Pp. 69 -73.
20. Michalska H., Ellis J.E., Roberts P.D. Joint coordination method for the steady state control of large-scale systems // Int. J. Syst. Sci. - 1985. - № 5. - Pp. 605 - 618.
21. Saati T. and Kerns K. Analytical planning. Organization of systems. M: Radio and communication, 1991. - 224 p.
22. Saati T.L. Decision-making. Method of the analysis of hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. - 278 p.