

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЛИЙНОЙ ФЛОТАЦИОННОЙ ФАБРИКОЙ



В. А. МАТВЕЕВ,
зав. сектором,
канд. техн. наук,
АО «ВНИИ Галургии»,
Санкт-Петербург, Россия,
matveev@galurgy.sp.ru

Введение

Работы по автоматизации калийных фабрик сосредоточены преимущественно на решении задач математического и технического обеспечения АСУТП по отдельным технологическим стадиям и технологическими процессам (переделам) [1–6]. При этом задачи менеджмента по управлению финансово-экономической деятельностью предприятия решаются отдельно. Это касается и других химических и металлургических производств. В работе [7] иерархия автоматизированного управления строится от измерения к управлению в следующем порядке: методы и приборы контроля; устройства управления; системы автоматического регулирования; методы и системы управления технологическими процессами с использованием детерминированных и стохастических моделей, нечетких множеств, нейронных сетей. Интеллектуальный подход к нейросетевому моделированию подробно рассмотрен в работах [8, 9]. Стратегии управления отдельными стадиями обогатительных фабрик посвящены доклады на симпозиуме «Проектирование предприятий по обогащению полезных ископаемых» (Канада, Ванкувер, 2002), где обсуждали проблемы автоматизации и управления в циклах измельчения [10], флотации [11], сгущения и фильтрования [12].

Целью стратегии управления является получение максимальной прибыли при наименьших затратах. В структуре стратегии управления [11] выделяют следующие уровни: оптимизация, упреждающее управление (по отклонению параметров), средства управления, контрольно-измерительные приборы (КИП). С позиции экономики предприятия рассмотрена идея нахождения оптимальной точки на кривой «качество концентрата – извлечение». Техничко-экономический подход к решению проблем автоматизации калийных флотационных фабрик рассмотрен в работе [13]. В качестве целевой функции принята минимизация затрат на единицу продукции при заданных ее качестве и производительности фабрики. При выработке концепции управления рассмотрены все факторы, образующие целевую функцию. В работах [14–16] концепция управления рассматривается как часть технико-экономического анализа производства. Выделены следующие

Со ссылками на литературные источники дан анализ различных подходов к разработке, проектированию и созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами обогатительных фабрик, с учетом которых представлена авторская концепция обоснования и формирования АСУТП калийной флотационной фабрики. Предложенная концепция рассматривает управление технологией как оперативное планирование и регулирование объемов производства с учетом технико-технологических возможностей и оптимального распределения нагрузки по технологическим секциям. В качестве целевой функции принята минимизация затрат на единицу конечного продукта при заданных значениях его качества и производительности фабрики.

Показано, что управление по критерию стабилизации нагрузки по руде является более предпочтительным в сравнении с регулированием нагрузки в зависимости от содержания KCl в руде.

Ключевые слова: калийная флотационная фабрика, автоматизированное управление, технологический процесс, объем производства, распределение нагрузки, массовая доля KCl.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.17>

концепции: совершенствования производства; совершенствования товара; интенсификации коммерческих усилий; маркетинга.

Современный подход к концепции управления строится на базе общей структуры управления предприятием, включающей задачи управления производственными системами (Manufacturing Execution System — MES) [17] и технологическими процессами (АСУТП). Последняя формирует данные от PLC (программируемый логический контроллер) о состоянии оборудования и технологических процессов и направляет их в базы данных SCADA-системы, где после фильтрования они интегрируются с базами данных MES, информация обобщается и генерируется в режиме реального времени [18]. Система внешнего управления (СВУ) выполняет функции управления бизнес-процессами, ресурсами, финансовыми и материальными потоками; управления персоналом и подготовкой производства (задачи СВУ решают на уровне программного обеспечения и при разработке предлагаемой концепции далее не рассматривают). Система оперативного управления (СОУ) решает целевые задачи оперативного планирования при управлении технологией и осуществляет связь системы MES с АСУТП (см. **рисунок**). Разработка концепции управления калийной флотационной фабрикой сосредоточена на решении этих задач.

Концепция управления

Технологические возможности калийной фабрики при планировании определяются следующими основными факторами: нор-

мативной нагрузкой на оборудование (оптимальный режим работы); коэффициентом неравномерности работы оборудования (допустимые отклонения от оптимальной нагрузки); степенью извлечения KCl из руды; составом и свойствами технологических сред, основным компонентом которых является массовая доля KCl. Связь объема производства M (т) с основными параметрами выражается формулой

$$M = Fr \cdot Ckr \cdot T \cdot E / Ckr, \quad (1)$$

где Fr — расход руды, т/ч; Ckr — массовая доля KCl в руде, %; T — рабочее время (период планирования), ч; E — показатель (коэффициент) извлечения KCl из руды, доли ед.; Ckr — массовая доля KCl в готовом продукте, %.

Изменение значений E и Ckr в ходе технологического процесса составляет десятые доли процента, и при постоянном периоде T выражение TE/Ckr можно рассматривать как условно-постоянную величину $Ku = TE/Ckr$, а формулу (1) преобразовать к виду

$$M = Ku \cdot Fr \cdot Ckr. \quad (2)$$

Тогда оптимальный режим работы оборудования с параметрами, близкими к расчетным, можно выразить формулой:

$$M_0 = Ku \cdot Fr_0 \cdot Ckr_0. \quad (3)$$

Оптимальный режим рассматривается как базовый при стационарном режиме работы фабрики. Основным параметром формулы (1) является нагрузка по руде или расход руды Fr . Допустимым считается изменение нагрузки в пределах действия нормативного коэффициента неравномерности Kn , который представляет собой относительное отклонение расхода руды Fr от базового значения Fr_0 :

$$Kn = (Fr - Fr_0) / Fr_0. \quad (4)$$

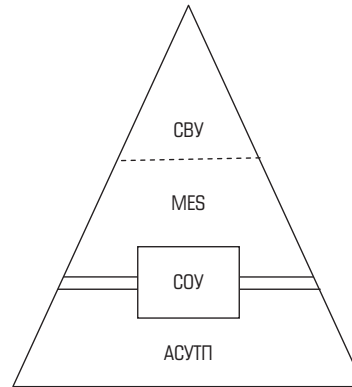
Тогда предельные значения диапазона допустимого изменения расхода руды определяются выражением

$$Fr_{\min} = Fr_0 (1 - Kn) \leq Fr \leq Fr_0 (1 + Kn) = Fr_{\max}. \quad (5)$$

Значимым параметром формулы (1) является изменчивая массовая доля KCl в руде Ckr . Эти изменения характеризуются коэффициентом относительного отклонения от базового значения Ckr_0 :

$$Kv = (Ckr - Ckr_0) / Ckr_0. \quad (6)$$

Ckr имеет стохастический характер с распределением, близким к закону Пуассона, поэтому в качестве значения Ckr и Kv в формуле (2) при планировании объема производства используется математическое ожидание или вероятностное среднестатистическое значение, рассчитанное за определенный промежуток времени. Например, при планировании на очередную смену для расчета \overline{Ckr} можно использовать статистику последних часов работы предыдущей смены. Оба параметра Fr и Ckr могут изменяться одновременно и влиять на планируемый объем производства, в том числе разнонаправленно, что необходимо учитывать при оперативном планировании объема производства. При этом необ-



Интеграция уровней управления производством в современных подходах к концепции управления предприятием

ходимы сведения, насколько возможно увеличение или уменьшение объема производства в рамках допустимых границ формулы (5) в сравнении с базовым значением M_0 . Используя формулы (1)–(4) и (6), изменение объема $\Delta M = M - M_0$ можно выразить в общем виде:

$$\Delta M = M_0 [(Kn + Kv) + Kn \cdot Kv]. \quad (7)$$

Поскольку $Kn \cdot Kv$ относительно $Kn + Kv$ представляет малую величину, этим слагаемым можно пренебречь, и тогда

$$\Delta M = M_0 (Kn + Kv). \quad (8)$$

Полученное выражение (8) является критерием оценки возможности изменения объема производства по соотношению коэффициентов Kn и Kv , уменьшение или увеличение которого зависит от знака коэффициентов и требует логических решений следующих ситуаций:

- если Kn и Kv имеют отрицательные значения, то уменьшение планируемого объема производства возможно на $Kn + Kv$ (в абсолютных значениях) по отношению к базовому M_0 ; при этом расход руды уменьшится на Kn . Пример: при $Kn = -0,1$ и $Kv = -0,1$ допустимое уменьшение планируемого объема производства составит 20 %, расход руды составит $0,9Fr_0$;
- если Kn имеет отрицательное значение, а Kv положительное, то уменьшение планируемого объема производства возможно на $-Kn + Kv$ по отношению к базовому M_0 ; при этом расход руды уменьшится на Kn . Пример: при $Kn = -0,1$ и $Kv = 0,05$ допустимое снижение объема производства составит 5 %, расход руды составит $0,9Fr_0$. При $Kv = 0,1$ снижение объема *невозможно*, т. е. объем производства останется базовым M_0 при расходе $0,9Fr_0$;
- если Kn и Kv имеют положительные значения, то увеличение планируемого объема производства возможно на $Kn + Kv$ по отношению к базовому M_0 ; при этом расход руды увеличится на Kn . Пример: при $Kn = 0,1$ и $Kv = 0,1$ допустимое увеличение объема производства составит 20 %, расход руды составит $1,1Fr_0$;
- если Kn имеет положительное значение, а Kv отрицательное, то увеличение планируемого объема возможно на $Kn - Kv$ по отношению к номинальному M_0 ; при этом расход руды увеличится на Kn . Пример: при $Kn = 0,1$ и $Kv = -0,05$ допустимое увеличение объема производства составит 5 %, расход руды соста-

вит $1,1Fr_0$; при $Kv = 0,1$ увеличение объема *невозможно*, т. е. объем производства останется базовым M_0 при расходе $1,1Fr_0$.

Согласно выполненному анализу, стратегия управления технологическими процессами при заданном объеме производства сводится в первую очередь к управлению расходом руды. Существуют два основных способа управления нагрузкой по руде: первый, когда в соответствии с формулой (1) при изменении качества руды Ckr автоматически изменяется расход руды Fr ; второй, когда расход руды оставляют постоянным независимо от качества руды на длительное время (смену и более), а при последующем оперативном планировании, если дисбаланс по готовому продукту не погашен в результате изменения качества, проводят соответствующую корректировку расчетных параметров. Положительным фактором первого способа является $Fr \cdot Ckr = const$, т. е. стабилизируется нагрузка на стадии фильтрования и сушки концентрата с получением заданного объема готового продукта. Вместе с тем динамические изменения нагрузки по руде при изменении Ckr отрицательно сказываются на процессе измельчения и требуют дополнительных управляющих воздействий, а также обуславливают изменения расходов технологических потоков на стадиях обесшламливания и флотации, плотности суспензии, что требует более сложной системы автоматического регулирования. В особенности это касается проблематичного управления уровнем суспензии во флотомашинах и последующего извлечения E . Кроме того, точность измерений Ckr составляет $\sim 2\%$, а точность дозирования руды $\sim 0,5\%$, поэтому стабилизация расхода руды на базовых значениях обеспечивает более качественное управление процессами измельчения и флотации. От точности измерений основных параметров Fr и Ckr зависят границы расчета ΔM , поэтому диапазон планирования объема производства должен быть уже расчетного по формуле (8). На практике для корректировки объема производства используют функцию отклика — обратной связи, т. е. связь выхода готового продукта и расхода руды с коэффициентом Ks :

$$M = Ks \cdot Fr. \quad (9)$$

Расчет проводят при стационарном режиме работы и стабильных значениях параметров за короткий промежуток времени T_p , но достаточный, чтобы выход продукта соответствовал Ckr и E . Поскольку продукт на выходе секций объединяется, обратная связь Ks не может относиться к каждой отдельной секции и распространяется на общий расход руды.

Распределение общего расхода руды по секциям является одной из основных частей стратегии управления производством. В период пуска фабрики или после остановочного ремонта число работающих секций в соответствии с планируемым объемом рассчитывают по трем критериям: нагрузка на секцию должна быть базовой; базовая нагрузка должна быть одинаковой для всех планируемых к работе секций; объем производства должен быть равным или ниже расчетного. Заниженный объем обусловлен тем, что остановка секции сложнее, чем пуск дополнительной секции при увеличенном объеме производства. В дальнейшем, при переходе на стационарный режим работы, наращивание объема гото-

вой продукции осуществляют, исходя из формулы (8). Из общего числа выделяют n секций с базовой нагрузкой и k — резервных. Резервные секции включают, если ΔM выше, чем для всех секций, работающих с максимальной нагрузкой:

$$\Delta M > \left(\sum_{i=1}^m M_{i\max} - \sum_{i=1}^m M_{i0} \right), \quad (10)$$

где $M_{i\max}$ — максимальная производительность i -й секции; M_{i0} — базовая производительность i -й секции.

В случае равенства по формуле (10), все m секций планируются на максимальную нагрузку, ограниченную логическими решениями и коэффициентом Ks . При условии (10) и вводе резервной секции нагрузка на резервную ($m + 1$) секцию должна быть базовой. Чтобы все $m + 1$ секции работали в базовом режиме, необходимо выполнение условия

$$M_0 + \Delta M = \sum_{i=1}^m M_{i0}. \quad (11)$$

Если это условие не выполняется, следует провести корректировку ΔM или вместо M_{i0} ввести значения в пределах, обозначенных формулами (5), (6), (8) и логическими решениями. Далее в соответствии с формулой (1) проводят расчет нагрузок на секции.

Таким образом, расчетный метод распределения нагрузок по секциям достаточно сложен и в силу погрешностей измерений Fr и Ckr , а также стохастических изменений других параметров от дробления до готового продукта может иметь существенную ошибку. Для устранения ошибки в расчетах можно использовать метод итераций (последовательных приближений), а также имитационное моделирование [19]. Построение имитационной модели позволит выбрать правильное направление (в частности, тенденцию изменения Ckr) и дополнительно ввести предупреждающее управление распределением нагрузок. После расчета нагрузок по руде на секции вступают в силу алгоритмы и системы управления технологическими процессами фабрики — АСУТП.

Заключение

Концепция управления калийной флотационной фабрикой представлена в виде оперативного планирования объема производства с учетом технологических возможностей и распределения нагрузки по технологическим секциям. Технологические возможности фабрики обусловлены базовой нагрузкой на оборудование (оптимальный режим работы), нормативным коэффициентом допустимой неравномерности работы оборудования — Kn , а также коэффициентом вариации массовой доли KCl в руде — Kv . Установлены расчетные рамки допустимого изменения планируемого объема производства по соотношению коэффициентов Kn и Kv . Показано, что управление по критерию стабилизации нагрузки по руде является предпочтительным в сравнении с автоматическим регулированием нагрузки по параметру массовой доли KCl в руде. Установлены условия оптимального распределения нагрузок по секциям. Для решения задачи распределения нагрузок предложено дополнительно к расчетному использовать имитационное моделирование. Предложенная концепция является основой для дальнейшей разработки и создания АСУТП калийной и других аналогичных по технологии флотационных фабрик.

Библиографический список

1. Головкин Б. Ю., Колпиков Г. Г., Рейбман Л. А. Автоматизация калийных обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1983. — 200 с.
2. Вишняк Б. А., Поздеев А. А., Турко М. Р. Технология обогащения и автоматизация процессов калийных флотационных фабрики. — Пермь: Пермский НИИПУ, 2011. — 239 с.
3. Беккер В. Ф. Решение технологических проблем действующего производства средствами автоматизации. Т. 1. Производство калийных удобрений. — Пермь: Березниковский филиал Пермского НИИПУ, 2012. — 238 с.
4. Вишняк Б. А., Поздеев А. А. О технологии обогащения и автоматизации процессов современных калийных флотационных фабрик // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 9. С. 138–150.
5. Data science and big data analytics: discovering, analyzing, visualizing and presenting data. — Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons, Inc., 2015. — 432 p.
6. Rasmuson A., Andersson B., Andersson R., Ollson L. Mathematical Modeling in Chemical Engineering / University Printing House, publ. in the United States of America by Cambridge University Press, New York, 2014. — 183 p.
7. Морозов В. В., Топчаев В. П., Улитенко К. Я. и др. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых. — М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2013. — 507 с.
8. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты: адаптивные и интеллектуальные системы. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. — 655 с.
9. Vielsietiges Motion Control-System in einem Industrie-PC // AT Mineral Processing. 2015. No. 6. P. 52–53.
10. Эдвардс Р., Вьен А. Стратегия применения КИП и автоматики в циклах измельчения // Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: материалы симпозиума. Канада, Ванкувер, 20–24 октября 2002.
11. Лаурилла Х., Каресвуори Я., Тинли О. Стратегия применения КИП, автоматики и управления в циклах флотации // Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: материалы симпозиума. Канада, Ванкувер, 20–24 октября 2002.
12. Шёнбруни Ф., Халлес Л., Бедель Д. Стратегия применения КИП, автоматики и управления в циклах сгущения и фильтрации // Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: материалы симпозиума. Канада, Ванкувер, 20–24 октября 2002.
13. Матвеев В. А., Архипов Н. В., Маслобоева Л. И., Папченко А. Ю. Проблемы автоматизации флотационных фабрик // Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей. — СПб.: Информационно-издательское агентство «ЛИК», 2001. Т. 2. С. 85–95.
14. Щербakov Д. С. Концепция управления наукоёмким производством в инновационном бизнесе. — Саратов: ЦПМ, 2011. — 165 с.
15. Мазур И. И., Шапиро В. Д., Ольдеругге Н. Г. Эффективный менеджмент. — М.: Высшая школа, 2003. — 555 с.
16. Cohen O., Fedurco E. Fundamentals of the theory of constraints. — Tallin: TOC Strategic Solutions, 2012. — 331 p.
17. Нестерова А., Самойлова Т. MES-системы на российском промышленном рынке: от истоков к будущему // Рациональное управление предприятием. 2009. № 6. С. 77–79.
18. Промышленные контроллеры и интеграция ERP/APS+MES+АСУТП (по материалам компании ВСС) // Рациональное управление предприятием. 2009. № 2. С. 50–51.
19. Жеребцов А., Белашапка А. Имитационное моделирование как инструмент оптимизации производственных процессов в металлургии // Рациональное управление предприятием. 2009. № 6. С. 29–31. **IK**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 84–87
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.17>

Concept of automated control for potash flotation plant

Information about author

V. A. Matveev¹, Divisional Manager, Candidate of Engineering Sciences, matveev@galurgy.sp.ru

¹ VNII Galurgy Stock Co., St. Petersburg, Russia

Abstract

The paper gives analysis of a trend in development of systems for production facilities control. It has been shown that present-day approach to the strategy of control is a comprehensive one enabling to carry out the functions of control with regard to business-processes, resources, financial and material flows, as well as to control product manufacturing processes. The concept of control for potash flotation plant is being considered at the junction of MES-system and Automated Systems for Control of Production Processes (ASUTP) and is devoted to operative management of processing in the form of operative planning of the manufactured product volume given technological possibilities and distribution of load by process sections (areas).

Process technology capabilities of a plant have been stipulated by the following principal factors: standard (rated) load on the equipment (optimum operation mode), rated (regulatory) coefficient for admissible fluctuations in the equipment operation – Kn, as well as coefficient of variation for KCl mass fraction in the ore – Kv.

Design (calculation) framework limitations have been set for changes in the planned volume of a product output, according to the interrelationship of Kn and Kv coefficients (4 possible options).

It has been shown that control by the criterion of stabilizing the ore load is more preferable compared with automatic load control (regulation) by the parameter of KCl mass fraction in the ore.

The conditions for optimum distribution of loads by sections have been determined. It has been suggested to use simulation modeling, as an addition to the design calculation method, in order to solve the problem.

Keywords: Potash flotation plant, automatic control, processing, production volume, load dispatch, weight content of KCl.

References

1. Golovkov B. Yu., Kolpikov G. G., Reybman I. A. *Avtomatizatsiya kaliynykh obogatitelnykh fabrik* (Automation of potassium concentration plants). Moscow: Nedra, 1983. 200 p.
2. Vishnyak B. A., Pozdееv A. A., Turko M. R. *Tekhnologiya obogashcheniya i avtomatizatsiya protsessov kaliynykh flotatsionnykh fabrik* (Concentration technology and process automation at potassium flotation plants). Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2011. 239 p.
3. Bekker V. F. *Reshenie tekhnologicheskikh problem deystvuyushchego proizvodstva sredstvami avtomatizatsii. Tom 1. Proizvodstvo kaliynykh udobreniy* (Technological problem solving for operating production facilities by means of automation. Volume 1. Manufacturing of potassium fertilizers). Perm: Bereznik branch of Perm National Research Polytechnic University, 2012. 238 p.
4. Vishnyak B. A., Pozdееv A. A. O tekhnologii obogashcheniya i avtomatizatsii protsessov sovremennykh kaliynykh flotatsionnykh fabrik (Concentration technology and process automation at modern potassium flotation plants). *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten = Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2012. No. 9. pp. 138–150.
5. Data science and big data analytics: discovering, analyzing, visualizing and presenting data.

- Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons, Inc., 2015. 432 p.
6. Rasmuson A., Andersson B., Andersson R., Ollson L. *Mathematical Modeling in Chemical Engineering*. University Printing House, published in the United States of America by Cambridge University Press, New York, 2014. 183 p.
7. Morozov V. V., Topchaev V. P., Ulitenko K. Ya. et al. *Razrabotka i primeneniye avtomatizirovannykh sistem upravleniya protsessami obogashcheniya poleznykh iskopaemykh* (Development and use of automated control systems for mineral concentration processes). Moscow: "Ore and Metals" Publishing House, 2013. 507 p.
8. Kohonen T. *Samooorganizuyushchiesya karty: adaptivnye i intellektualnye sistemy* (Self-organizing maps: adaptive and intellectual systems). Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2010. 655 p.
9. Vielsietiges Motion Control-System in einem Industrie-PC. *AT Mineral Processing*. 2015. No. 6. pp. 52–53.
10. Edwards R., Wien A. *Strategiya primeneniya kontrolno-izmeritelnykh priborov i avtomatiki v tsiklakh izmelcheniya* (Strategy for the use of metering apparatuses and automation in grinding circuits). *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: materialy simpoziuma* (Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: Symposium materials). Canada, Vancouver, October 20–24, 2002.
11. Laurilla H., Karesvuori Y., Tinly O. *Strategiya primeneniya kontrolno-izmeritelnykh priborov, avtomatiki i upravleniya v tsiklakh flotatsii* (Strategy for the use of metering apparatuses, automation and control in flotation circuits). *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: materialy simpoziuma* (Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: Symposium materials). Canada, Vancouver, October 20–24, 2002.
12. Shonbruni F., Halles L., Bedell D. *Strategiya primeneniya kontrolno-izmeritelnykh priborov, avtomatiki i upravleniya v tsiklakh sgushcheniya i filtratsii* (Strategy for the use of metering apparatuses, automation and control in thickening and filtration circuits). *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: materialy simpoziuma* (Mineral Processing Plant Design, Practice and Control: Symposium materials). Canada, Vancouver, October 20–24, 2002.
13. Matveev V. A., Arkhipov N. V., Masloboeva L. I., Papchenko A. Yu. *Problemy avtomatizatsii flotatsionnykh fabrik* (Problems in automation of flotation plants). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnykh soley* (Topical issues in mining and processing of natural salts). Saint Petersburg: LIK, 2001. Vol. 2. pp. 85–95.
14. Shcherbakov D. S. *Kontseptsiya upravleniya naukoemkim proizvodstvom v innovatsionnom biznese* (Control concept for science-intensive manufacturing in the innovation business). Saratov: TsPM, 2011. 165 p.
15. Mazur I. I., Shapiro V. D., Olderrugge N. G. *Effektivnyy menedzhment* (Effective management). Moscow: Vysshaya shkola, 2003. 555 p.
16. Cohen O., Fedurco E. *Fundamentals of the theory of constraints*. Tallin: TOC Strategic Solutions, 2012. 331 p.
17. Nesterova A., Samoylova T. *MES-sistemy na Rossiyskom promyshlennom rynke: ot istokov k budushchemu* (MES-systems in the Russian industrial market: from the origins to the future). *Ratsionalnoe upravlenie predpriyatiem = Rational Enterprise Management*. 2009. No. 6. pp. 77–79.
18. *Proyshlennyye kontrolyery i integratsiya ERP/APS+MES+ASUTP (po materialam kompanii VCC)* (Industrial controllers and integration ERP/APS+MES+PCS (VCC company materials)). *Ratsionalnoe upravlenie predpriyatiem = Rational Enterprise Management*. 2009. No. 2. pp. 50–51. (in Russian)
19. Zherebtsov A., Beloshapko A. *Imitatsionnoye modelirovaniye kak instrument optimizatsii proizvodstvennykh protsessov v metallurgii* (Simulation modeling as a tool for production processes optimization in metallurgy). *Ratsionalnoe upravlenie predpriyatiem = Rational Enterprise Management*. 2009. No. 6. pp. 29–31