

УДК 669.02.09:681.3

## О ПОДХОДЕ К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ МЕТАЛЛУРГИИ

*Кирякова О.В.*, доцент кафедры информационных систем и технологий  
в металлургии (pur ik28@yandex.ru)

*Лапина Л.А.*, доцент кафедры информационных систем и технологий в металлургии  
*Капустина С.В.*, к.т.н., доцент, зав.кафедрой информационных систем и технологий в металлургии

Сибирский федеральный университет  
(660095, Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79)

**Аннотация.** Приведены сведения об использовании современных информационных систем в управлении технологическими процессами. Рассмотрены проблемы информационного, алгоритмического, технического, программного и математического обеспечения при создании подобных систем. Проанализированы вопросы повышения надежности информационных систем управления, используемых в качестве экспертных систем при работе в режиме прогноза. Обсуждается экспертная система (тренажер) для технологического процесса в металлургии, научно-методическое и программно-алгоритмическое обеспечение рассматриваемой системы, базирующейся на технологии имитационного моделирования. Система предназначена для тренинга персонала потенциально опасного технологического объекта, а также для обучения студентов старших курсов технических специальностей металлургического профиля. Эта система позволяет исследовать объект изучения в различных режимах функционирования и отработать навыки по оптимальному и безаварийному управлению.

**Ключевые слова:** экспертная система, тренажер, имитационное моделирование, парадигма отрасли, верификация.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-4-271-277

Новой парадигмой развития металлургической отрасли является задача повышения технико-экономических показателей производства за счет повышения качества управления путем применения высокоорганизованных автоматизированных систем управления (АСУ) на базе современных компьютерных тренажеров, а также за счет повышения квалификации персонала металлургических цехов. Для достижения этой цели необходимо реализовать управление технологическим процессом таким образом, когда критерий, по которому производится управление, – количество и качество полученного конечного продукта.

Применение информационных технологий в системах управления позволяет решать задачи, которые нельзя решить только с помощью аналоговых средств автоматизации. Использование экспертных систем дает возможность организовать управление с адаптацией и прогнозом, логическое управление и получать информацию о технологических параметрах, не поддающихся прямым измерениям. Наличие тренажера в контуре управления повышает эффективность существующих систем управления и технико-экономические показатели процессов за счет организации оптимального управления.

Анализ разработок в области теории и методов обеспечения процессов функционирования сложных

интегрированных технических систем управления показывает, что к числу наиболее ответственных относятся системы автоматического управления для металлургических производств. В качестве исследуемого объекта выбрана технология получения платины. Процесс ее производства является хорошо отработанным и обычная обратная связь, позволяющая сделать систему управления нечувствительной к изменению характеристик, не дает эффекта из-за низкого быстродействия. Технологические процессы производства относятся к многостадийным с распределенными параметрами, где на каждой стадии выполняется одна законченная технологическая операция, поэтому используются системы автоматического регулирования только отдельных параметров [1, 2]. Управление осуществляется вручную по показаниям приборов, установленных на рабочих местах. Основные параметры измеряются со значительной погрешностью и запаздыванием. Получение необходимого эффекта в подобных процессах возможно только в случае управления с элементами прогнозирования [3, 4]. Для разработок таких систем управления требуется создание математических зависимостей, с помощью которых система управления на основании измеряемых датчиками некоторых параметров могла бы определять недоступные изме-

рению параметры и оценивать возможные конечные результаты процесса с элементами прогнозирования управления [5 – 8].

При моделировании технологии аффинажа платины были использованы методы мгновенных балансов, основанные на уравнениях материального и теплового балансов, и нисходящего моделирования. Отличительной особенностью метода нисходящего моделирования является возможность расчета состояния технологического процесса на последующей стадии только по информации, полученной на предыдущей стадии. Использование такого подхода позволило отказаться от физических датчиков, так как применяется

математический имитатор основных параметров производства. Процесс управления реализуется как за счет оптимального выбора управляющих воздействий на каждой стадии, так и за счет согласования основных параметров на различных стадиях [2, 3], расчет которых производится по математической модели. Экспертная система реализована в виде компьютерного тренажера, блок-схема алгоритма работы которого представлена на рис. 1.

Методику составления материального баланса покажем на примере первой стадии аффинажа – осаждении соли гексахлороплатината аммония (ГХПА-1). Следует сделать следующие замечания о протекании

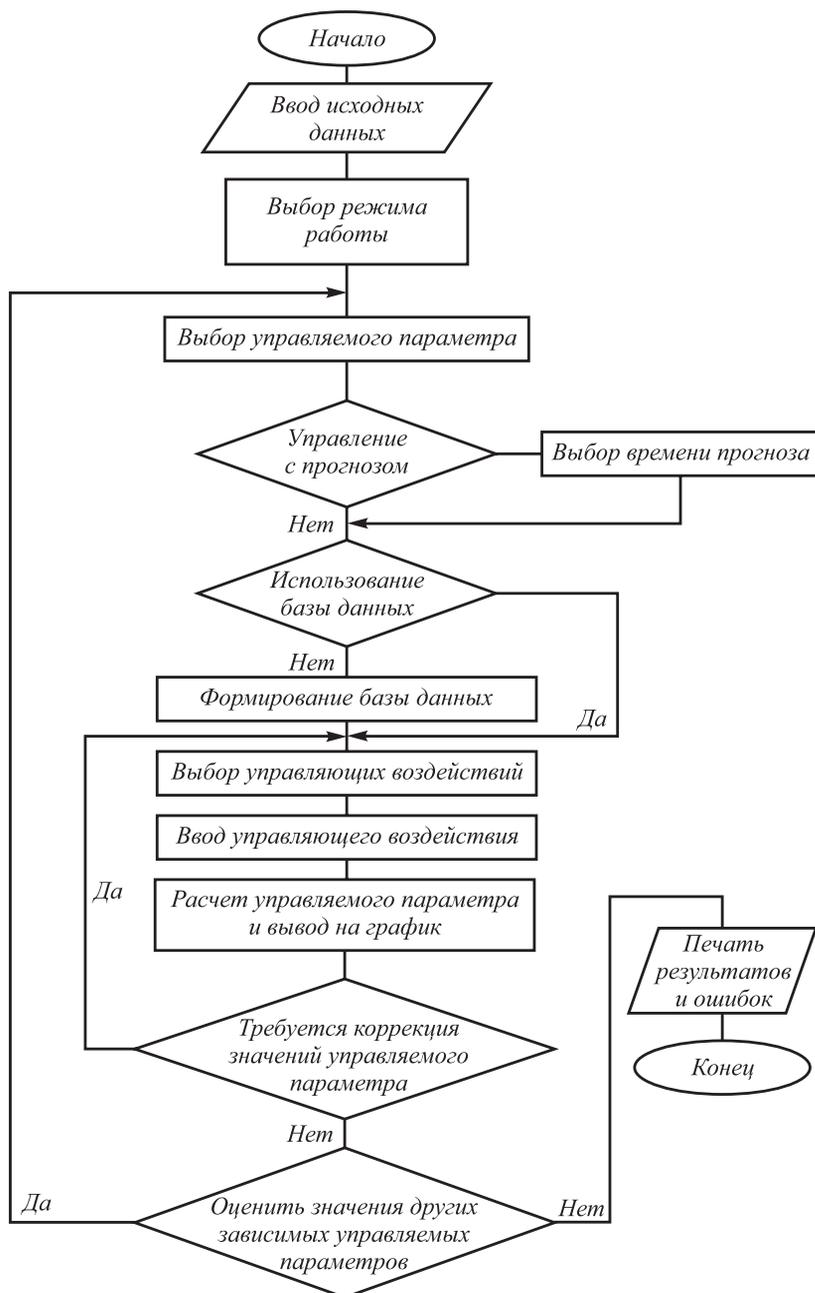
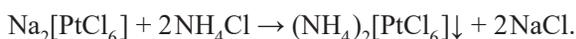


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы компьютерного тренажера

Fig. 1. Block diagram of the computer simulator work algorithm

этого процесса – здесь имеет место основная химическая реакция



Процесс экзотермический и ведется с избытком хлорида аммония. Реакция осаждения платины является гетерогенной. При этих реакциях взаимодействующие вещества находятся в различных фазах (агрегатных состояниях), а процесс химического превращения протекает на границе раздела этих фаз.

Составим материальные балансы по основным элементам процесса аффинажа платины:

$$\frac{dG}{dt} = \sum_{i=1}^n G_i,$$

где  $G$  – количество вещества в аппарате;  $n$  – число исходных компонентов;  $G_i$  – суммарный поток веществ.

Поток по платине имеет следующий вид:

$$\frac{dG_{\text{Pt}}}{dt} = G_{\text{вх}} + G_{\text{х.в}} - G_{\text{вых}},$$

где  $G_{\text{вх}}$  и  $G_{\text{вых}}$  – входной и выходной потоки;  $G_{\text{х.в}}$  – поток химического взаимодействия.

Платина поступает на аффинаж в виде воднорастворимой соли, математическая модель входного потока по платине представлена формулой

$$G_{\text{вх}} = V_{\text{исх}} C_{\text{Pt}},$$

где  $V_{\text{исх}}$  – объем хлоридного раствора, поступающего на аффинаж платины, л;  $C_{\text{Pt}}$  – концентрация платины в хлоридном растворе, г/л.

Математическая модель потока химического взаимодействия имеет следующий вид:

$$G_{\text{х.в}} = k C_{\text{NH}_4\text{Cl}} V_0,$$

где  $k$  – константа скорости реакции;  $C_{\text{NH}_4\text{Cl}}$  – концентрация хлорида аммония в растворе, г/л;  $V_0$  – активный объем, м<sup>3</sup>.

Платина содержится в продуктах взаимодействия реагентов (осадке и частично в растворе), поэтому математическое описание выходного потока имеет следующий вид:

$$G_{\text{вых}} = b(V_c C_{\text{Pt}}^c + V_{\text{р-ра}} C_{\text{Pt}}),$$

где  $b$  – коэффициент, зависящий от режима отвода реагентов из аппарата;  $V_c$  – объем осажженной соли, м<sup>3</sup>;  $C_{\text{Pt}}^c$  – концентрация платины в осажженной соли, г/л;  $V_{\text{р-ра}}$  – объем выходного раствора, м<sup>3</sup>;  $C_{\text{Pt}}$  – концентрация платины в выходном растворе, г/л.

Материальный баланс по платине имеет следующий вид:

$$\frac{dG_{\text{Pt}}}{dt} = V_{\text{исх}} C_{\text{Pt}}^{\text{р-р}} + k C_{\text{NH}_4\text{Cl}} V_0 - b(V_c C_{\text{Pt}}^c + V_{\text{р-ра}} C_{\text{Pt}}).$$

Составим материальный баланс по аммонiu.

Поток по аммонiu определяется по формуле

$$\frac{dG_{\text{NH}_4^+}}{dt} = G_{\text{вх}} - G_{\text{вых}},$$

где  $dG_{\text{NH}_4^+}$  – материальный поток по аммонiu;  $G_{\text{вх}}$  и  $G_{\text{вых}}$  – входной и выходной потоки по аммонiu.

Аммоний поступает на аффинаж в растворе, математическая модель входного потока по аммонiu будет выглядеть следующим образом:

$$G_{\text{вх}} = V_a - C_{\text{NH}_4^+}^{\text{р-р}},$$

где  $V_a$  – объем заливаемого хлорида аммония, л;  $C_{\text{NH}_4^+}^{\text{р-р}}$  – концентрация аммония в заливаемом растворе хлорида аммония, г/л.

Аммоний содержится в осаждаемой соли, математическую модель выходного потока можно представить в виде формулы

$$G_{\text{вых}} = b V_c C_{\text{NH}_4^+}^c,$$

где  $C_{\text{NH}_4^+}^c$  – концентрация аммония в осажженной соли, г/л.

Таким образом, материальный баланс по аммонiu определяется как

$$\frac{dG_{\text{NH}_4^+}}{dt} = V_a C_{\text{NH}_4^+}^{\text{р-р}} - b V_c C_{\text{NH}_4^+}^c.$$

Суммарный материальный баланс по платине и аммонiu имеет следующий вид:

$$\frac{dG}{dt} = V_{\text{исх}} C_{\text{Pt}}^{\text{р-р}} - k C_{\text{NH}_4^+} V_0 - b(V_c C_{\text{Pt}}^c + V_{\text{р-ра}} C_{\text{Pt}}) + V_a C_{\text{NH}_4^+}^{\text{р-р}} - b G_c C_{\text{NH}_4^+}^c.$$

Общий тепловой баланс первой стадии запишется как

$$\frac{dQ}{dt} = \sum G_i,$$

где  $Q$  – количество тепла в аппарате;  $Q_i$  – суммарные потоки тепла в реакторе.

Дифференциальное уравнение теплового баланса также необходимо выразить через переменные этого процесса. Уравнение суммарного теплового потока процесса аффинажа платины выглядит следующим образом:

$$Q_i = Q_{\text{вх}} + Q_{\text{х.в}} - Q_{\text{вых}} - Q_{\text{т.п}} + Q_0,$$

где  $Q_{\text{вх}}$  – входной тепловой поток;  $Q_{\text{х.в}}$  – количество тепла, выделяемое при химических взаимодействиях;  $Q_{\text{вых}}$  – выходной тепловой поток;  $Q_{\text{т.п}}$  – тепловые потери;  $Q_0$  – тепловой поток от внешних источников.

Входными потоками являются потоки хлоридного раствора и хлорида аммония. Уравнение входного теплового потока примет вид

$$Q_{\text{вх}} = \lambda_{\text{р-ра}} V_{\text{1р-ра}} T_{\text{р-ра}} + \lambda_{\text{NH}_4\text{Cl}} V_{\text{NH}_4\text{Cl}} T_{\text{NH}_4\text{Cl}},$$

где  $\lambda_{\text{р-ра}}$  – удельная теплоемкость хлоридного раствора;  $V_{\text{1р-р}}$  – объем заливаемого хлоридного раствора, л;  $T_{\text{р-ра}}$  – температура хлоридного раствора, °C;  $\lambda_{\text{NH}_4\text{Cl}}$  – удельная теплоемкость хлорида аммония;  $V_{\text{NH}_4\text{Cl}}$  – объем заливаемого хлорида аммония, л;  $T_{\text{NH}_4\text{Cl}}$  – температура хлорида аммония, °C.

Для поддержания температурного режима подается горячая вода, поэтому тепловой поток можно представить как

$$Q_0 = \lambda_{\text{г.в}} G_{\text{г.в}} T_{\text{г.в}},$$

где  $\lambda_{\text{г.в}}$  – удельная теплоемкость горячей воды;  $G_{\text{г.в}}$  – расход горячей воды, л;  $T_{\text{г.в}}$  – температура горячей воды, °C.

Тепло из аппарата отводится с получаемым раствором и с осажденной солью; выражение для выходного потока можно записать так:

$$Q_{\text{вых}} = \lambda_{\text{с}} m_{\text{с}} T_{\text{с}} + \lambda_{\text{NaCl}} V_{\text{NaCl}} T_{\text{NaCl}},$$

где  $\lambda_{\text{с}}$  – удельная теплоемкость осаждаемой соли;  $m_{\text{с}}$  – масса осаждаемой соли, кг;  $T_{\text{с}}$  – температура соли, °C;  $\lambda_{\text{NaCl}}$  – удельная теплоемкость получаемого раствора;  $V_{\text{NaCl}}$  – объем получаемого раствора, л;  $T_{\text{NaCl}}$  – температура получаемого раствора, °C.

Тепловые потери определяются по уравнению

$$Q_{\text{т.п}} = \lambda_{\text{р}} m (T_{\text{в}} - T_{\text{н}}),$$

где  $\lambda_{\text{р}}$  – удельная теплоемкость реактора;  $m$  – масса реактора, кг;  $T_{\text{в}}$  и  $T_{\text{н}}$  – внутренняя и наружная температура стенок реактора, °C.

В результате химической реакции выделяется тепло:

$$Q_{\text{х.в}} = qv,$$

где  $q$  – тепловой эффект реакции, отнесенный к молю исходного вещества;  $v$  – число молей исходного вещества.

Таким образом, тепловой баланс первой стадии представляем в следующем виде:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda_{\text{р-ра}} V_{\text{1р-ра}} T_{\text{р-ра}} + \lambda_{\text{NH}_4\text{Cl}} V_{\text{NH}_4\text{Cl}} T_{\text{NH}_4\text{Cl}} + \lambda_{\text{г.в}} G_{\text{г.в}} T_{\text{г.в}} - \lambda_{\text{с}} m_{\text{с}} T_{\text{с}} - \lambda_{\text{NaCl}} V_{\text{NaCl}} T_{\text{NaCl}} - \lambda_{\text{р}} m (T_{\text{в}} - T_{\text{н}}) + qv.$$

Полученные уравнения материального и теплового балансов использованы для построения математичес-

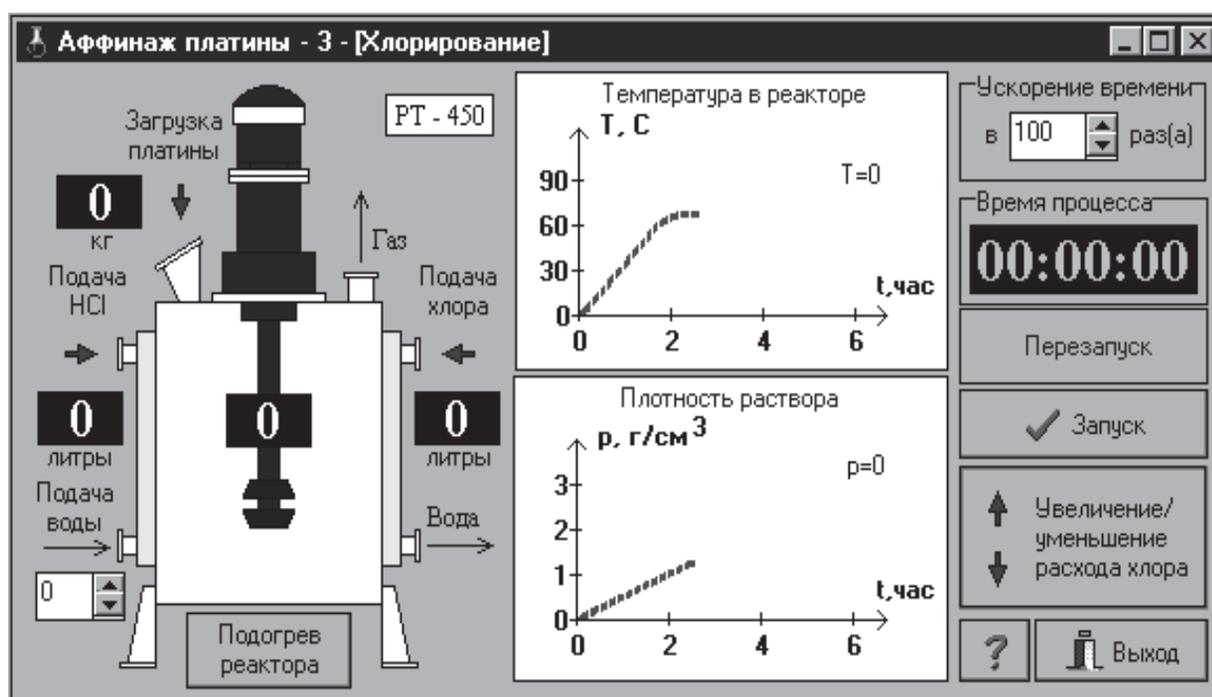


Рис. 2. Мнемосхема процесса хлорирования

Fig. 2. Symbolic circuit of the chlorination process

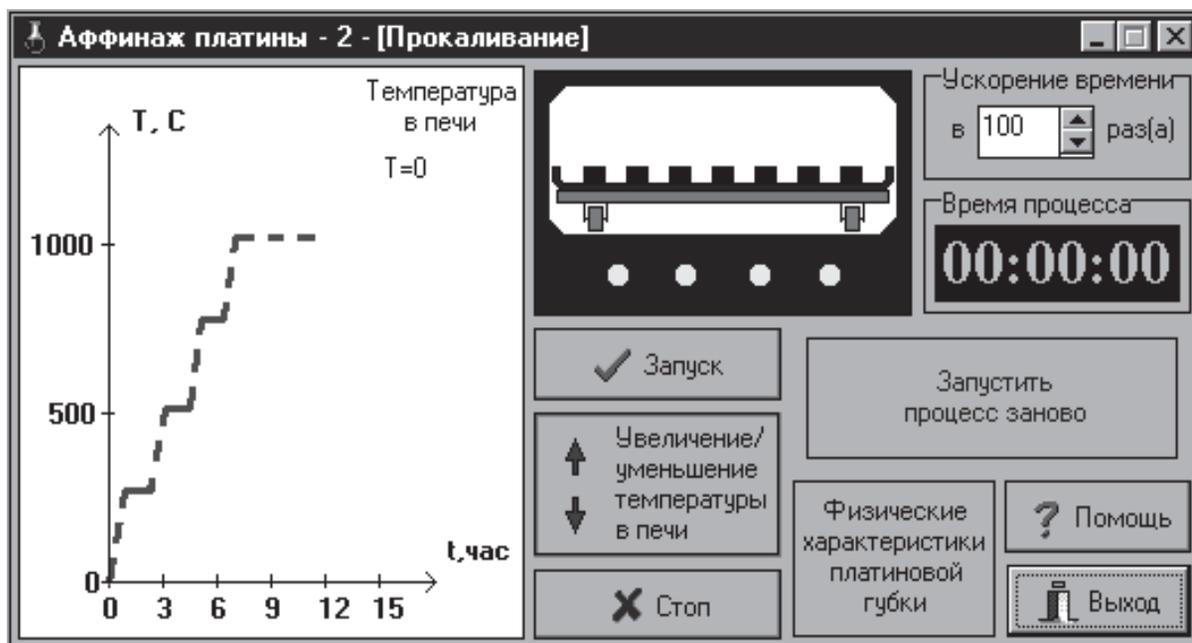


Рис. 3. Интерфейс модели участка прокаливания

Fig. 3. Model interface of the incinerating section

кой модели функционирования первой стадии аффинажа платины. Модель квазидинамическая.

Математические модели функционирования остальных стадий построены по реализованной выше методике и позволяют исследовать процессы, протекающие на этих стадиях.

На основании разработанной математической модели была создана экспертная система технологии аффинажа платины [9 – 12]. Структура экспертной системы представляет собой три подпрограммы (объединенные головной программой): осаждения, прокаливания и хлорирования соли ГХПА-1. Головная программа предусматривает выбор запуска ознакомительного режима работы любой из трех подпрограмм; возможен выбор варианта задания начальных или промежуточных исходных данных (если процесс аффинажа ведется не с первой стадии). Для этого необходимо в головной программе выбрать пункт меню «Задания» и внести корректирующие изменения.

Система управления процессом аффинажа написана на языке программирования Delphi. Экспертная система реализована в виде имитационной модели, работающей в диалоговом режиме, в котором возможен выбор масштаба времени (реальный или ускоренный).

На рис. 2 и 3 представлены интерфейсы мнемосхемы отдельных стадий на примере прокаливания соли ГХПА-1 и хлорирования черновой платиновой губки; приведены условная схема реактора РТ-450, в котором производится хлорирование, и все кнопки управления процессом; динамический протокол температурного режима плотности раствора.

С помощью кнопки «Перезапуск» можно перезапустить весь процесс заново. Выход из программы осуществляется нажатием на кнопку «Выход».

При синтезе диагностических моделей для систем оперативного управления и диагностики состояния технологического процесса основным источником знаний является эмпирический материал. Для верификации (оценки ее согласованности и достоверности) экспертной системы была проведена апробация на реальных растворах одного из российских предприятий [13 – 15]. Система показала хорошую сходимость производственных данных и работы экспертной модели. В перспективе возможности рассматриваемой системы можно расширить за счет введения дополнительных управляющих воздействий (возможность введение коагулянтов, других химических реагентов).

**Выводы.** Разработана экспертная система аффинажа платины, которая может быть применена для исследования функционирования реального технологического процесса, реализации управления технологическим процессом в режиме «Советчика», так как предусмотрена выдача советов оператору по принятию тех или иных решений. Диалоговый режим позволяет оператору выбрать управляющие воздействия и проанализировать их влияние на выходные показатели; если значения выходных показателей устраивают оператора, то управляющие воздействия переносятся на реальный процесс; если не устраивают, то продолжается выбор вариантов желаемого управления процессом аффинажа платины. Представляет интерес использование рассматриваемого тренажера для

обучения специалистов металлургических специальностей, тренировки персонала аффинажного производства. За счет наглядности и имитации реальных технологических ситуаций и режимов, многочисленных повторений появляется возможность значительно улучшить качество обучения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов. – Кемерово; М.: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с.
2. Горенский Б.М., Кирыкова О.В., Ченцов С.В. Информационные технологии в цветной металлургии: учебное пособие. – Красноярск: изд. СФУ, 2012. – 187 с.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. – 343 с.
4. Быкова П.О. Моделирование объектов и процессов в металлургии: Учебное пособие. – Пермь: Изд-во Пермского Государственного технического университета, 2010. – 132 с.
5. Рыжонков Д.И. Расчеты металлургических процессов на ЭВМ. – М.: Металлургия, 1987. – 231 с.
6. Масленицкий И.М., Севрюков Н.Н. Металлургия благородных металлов: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1987. – 768 с.
7. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2005. – 768 с.
8. Гринберг А.С., Горбачев Н.Н., Бондаренко А.С. Информационные технологии управления: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 479 с.
9. Васильев В.И., Коноваленко В.В., Горелов Ю.И. Имитационное управление неопределенными объектами. – Киев: Наукова думка, 1989. – 216 с.
10. Уткин Н.И. Цветная металлургия (технология отрасли): Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1990. – 439 с.
11. Белай Г.Е. Организация металлургического эксперимента: Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1993. – 256 с.
12. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии: Учебное пособие/ Н.А. Спирин, В.В. Лавров, С.И. Паршаков, С.Г. Денисенко. – Екатеринбург: изд. УГТУ-УПИ, 2006. – 307 с.
13. Александрова Н.А., Куркина В.В., Рудакова И.В., Русинов Л.А. Верификация экспертной информации при построении систем оперативного управления и диагностики технологических процессов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 7. С. 14 – 17.
14. Горенский Б.М., Кирыкова О.В., Лапина Л.А., Гронь Д.Н. Оценка уровня совершенствования технологических переделов производства тяжелых цветных металлов методами компьютерного моделирования // Журнал СФУ. 2009. № 4. С. 434 – 445.
15. Кирыкова О.В., Паршаков А.В., Горенский Б.М., Озерова Е.Л. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617794 RU. Компьютерный тренажер «Аффинаж платины». Заявл. № 201616046 4.10.2010; опубл. 24.11.2010 г.

Поступила 20 октября 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. Vol. 59. No. 4, pp. 271–277.

### ON THE APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF INFORMATION CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL METALLURGICAL OBJECTS

*O.V. Kiryakova, L.A. Lapina, S.V. Kapustina*

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** The paper presents the information about the use of modern information systems in control processes. It considers the problems of information, algorithmic, technical, software and mathematical software to create such systems. The authors have analyzed the issues of improving the reliability of information control systems to be used as expert systems when operating in the forecast. The expert system (simulator) for the technological process in metallurgy, scientific-methodical and program-algorithmic maintenance of the system based on technologies imitation modeling has been discussed. The system was designed for the training of personnel of potentially dangerous technological object, as well as for teaching the students of technical specialties of metallurgical profile. This system allows to explore an object of study in various modes of operation and to receive practical experience for optimal and trouble-free management.

**Keywords:** expert system, simulator, simulation modeling, paradigm of industry, verification.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2016-4-271-277

#### REFERENCES

1. Tsymbal V.P. *Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh sistem v metallurgii: Uchebnik dlya vuzov* [Mathematical modeling of complex systems in metallurgy: Textbook for universities]. Kemerovo, Moscow: Kuzbassvuzizdat–ASTSh, 2006, 431 p. (In Russ.).
2. Gorenskii B.M., Kiryakova O.V., Chentsov S.V. *Informatsionnye tekhnologii v tsvetnoi metallurgii: uchebnoe posobie* [Information technologies in non-ferrous metallurgy: Manual]. Krasnoyarsk: izd. SFU, 2012, 187 p. (In Russ.).
3. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Modelirovanie sistem: Uchebnik dlya vuzov* [Modeling of systems: Textbook for universities]. Moscow: Vysshaya shkola, 2007, 343 p. (In Russ.).
4. Bykova P.O. *Modelirovanie ob'ektov i protsessov v metallurgii: Uchebnoe posobie* [Modeling of objects and processes in metallurgy: Manual]. Perm': Izd-vo Permskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2010, 132 p. (In Russ.).
5. Ryzhonkov D.I. *Raschety metallurgicheskikh protsessov na EVM* [Computer calculations of metallurgical processes]. Moscow: Metallurgiya, 1987, 231 p. (In Russ.).
6. Maslenskii I.M. *Metallurgiya blagorodnykh metallov: Uchebnik dlya vuzov* [Metallurgy of noble metals: Textbook for universities]. Moscow: Metallurgiya, 1987, 768p. (In Russ.).
7. Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. *Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami: Uchebnik dlya vuzov* [Information technologies of technological process control systems: Textbook for universities]. Moscow: Vysshaya shkola, 2005, 768 p. (In Russ.).
8. Grinberg A.S., Gorbachev N.N., Bondarenko A.S. *Informatsionnye tekhnologii upravleniya: Uchebnik dlya vuzov* [Information technology control: Textbook for higher educational institutions]. Moscow: YUNITI-DANA, 2004, 479 p. (In Russ.).
9. Vasil'ev V.I., Konovalenko V.V., Gorelov Yu.I. *Imitatsionnoe upravlenie neopredelennymi ob'ektami* [Simulation control of undefined objects]. Kiev: Naukova dumka, 1989, 216 p. (In Russ.).
10. Utkin N.I. *Tsvetnaya metallurgiya (tekhnologiya otrasli): Uchebnik dlya vuzov* [Non-ferrous metallurgy (branch technology): Textbook for universities]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 439 p. (In Russ.).
11. Belai G.E. *Organizatsiya metallurgicheskogo eksperimenta: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Organization of metallurgical experiment: technologies in non-ferrous metallurgy: Manual]. Krasnoyarsk: izd. SFU, 2012, 187 p. (In Russ.).

- Manual for universities]. Moscow: Metallurgiya, 1993, 256 p. (In Russ.).
12. Spirin N.A., Lavrov V.V., Parshakov S.I., Denisenko S.G. *Optimizatsiya i identifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov v metallurgii: Uchebnoe posobie* [Optimization and identification of technological processes in metallurgy: Manual]. Ekaterinburg: izd. UGTU-UPI, 2006, 307 p. (In Russ.).
  13. Aleksandrova N.A., Kurkina V.V., Rudakova I.V., Rusinov L.A. Verification of expert information at modeling of operational control systems and diagnostics of technological processes. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*. 2007, no. 7, pp. 14–17. (In Russ.).
  14. Gorenskii B.M., Kiryakova O.V., Lapina L.A., Gron' D.N. Level assessment of the improvement of technological conversion of heavy non-ferrous metal production by the methods of computer modeling. *Zhurnal SFU*. 2009, no. 4, pp. 434–445. (In Russ.).
  15. Kiryakova O.V., Parshakov A.V., Gorenskii B.M., Ozerova E.L. *Komp'yuternyi trenazher "Affinazh platiny"* [Computer simulator "Platinum affinage"]. Certificate of state registration of the program for computer no. 2010617794, publ. 24.11.2010. (In Russ.).
- Information about the authors:**
- Kiryakova O.V.**, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Information Systems and Technologies in Metallurgy*  
(purik28@yandex.ru)
- Lapina L.A.**, *Assist. Professor of the Chair of Information Systems and Technologies in Metallurgy*
- Kapustina S.V.**, *Cand. Sci. (Eng.), Asist. Professor, Head of the Chair of Information Systems and Technologies in Metallurgy*

Received October 20, 2015