

УДК 004.415.2

DOI: 10.17223/19988605/57/12

С.Н. Калашников, Е.А. Мартусевич, Е.В. Мартусевич, И.А. Рыбенко, В.Н. Буинцев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90087\19.

Рассматриваются основополагающие принципы разработки специализированного комплекса программ, представленного в виде многофункциональной информационно-обучающей системы «Алюминщик» с интерактивным пользовательским интерфейсом. Данная компьютерная система спроектирована на основе объектно-ориентированного подхода и предназначена для проведения вычислительных экспериментов с использованием соответствующей математической модели технологического процесса, что позволяет повысить уровень квалификации технологического персонала и получить новые практические результаты в отрасли алюминиевой промышленности.

Ключевые слова: комплекс программ; объектно-ориентированный подход; вычислительный эксперимент; математическая модель; технологический персонал.

Процесс изучения действующих технологических этапов производства цветных металлов, включая детальный анализ установившихся принципов формирования алюминиевых сплавов, позволяет не только выявлять, но и планомерно систематизировать основные негативные тенденции, оказывающие непосредственное влияние на конечную себестоимость и совокупность конкурентных характеристик выпускаемой продукции в рамках установленных спецификаций портфеля заказов [1]. При этом наличие сложной структуры исследуемых многопараметрических объектов [2], а также присутствие трудно формализуемых или скрытых технологических особенностей предопределяют необходимость внедрения и использования современных средств информационных технологий при проведении серии соответствующих научно-исследовательских мероприятий, предназначенных для рационализации установившихся режимов изготовления алюминиевых сплавов различных марок.

Развитие сферы информационных технологий и постоянное совершенствование инструментов программной разработки определяет широкие функциональные возможности для реализации специализированных программных комплексов, предназначенных для математического моделирования и осуществления непрерывного мониторинга ключевых технологических параметров, определяющих последовательность и точность выполнения заданных производственных операций [3]. Также представленный подход способствует безопасному проведению необходимого количества вычислительных экспериментов [4], а полученные при этом результаты могут быть использованы для информационно-событийной поддержки технологического персонала и последующей выработки эффективных управляющих воздействий с целью сохранения минимальных технико-экономических показателей промышленного производства [5]. В данном случае это непосредственно влияет на безопасность организации рабочего процесса за счет снижения случаев возникновения аварийных ситуаций в результате использования средств компьютерного моделирования, а также определенно способствует повышению текущего уровня квалификации технологического персонала [6, 7].

Компьютерное моделирование является универсальным инструментом для исследования сложных технологических систем [8], к которым относится и процесс формирования алюминиевого сплава различных марок в плавильном миксере. Вместе с тем математическое представление техноло-

гического процесса изготовления алюминиевых сплавов для последующей программной реализации определяется моделью материально-теплого баланса взаимодействующих веществ, а также дополнительной моделью динамики, характеризующей последовательность модификации жидкого алюминиевого расплава с использованием исходного алюминия-сырца с установленным химическим составом из набора доступных литейных ковшей [9].

При этом, затрагивая аспекты изучения алюминиевой промышленности, имеется возможность обратиться к научно-практическим исследованиям Б.М. Горенского, которые содержат различные примеры специализированных программных комплексов, использующих сходные математические модели реальных технологических процессов. Одним из таких программных комплексов является «Автоматизированная обучающая система управления электролизом алюминия», разработанная в непосредственной близости от крупного промышленного предприятия КрАЗ в г. Красноярске. Основное предназначение данной системы заключается в том, чтобы предоставить пользователю возможность близко ознакомиться с одним из наиболее важных этапов производства алюминия, а именно с технологией электролиза алюминия. Другим примером является «Компьютерный тренажер для исследования процесса плавки в рудно-термических печах». Данный программный комплекс предназначен для приобретения опыта коррекции при протекании технологического процесса переработки медно-никелевых сульфидных руд, а также для психологической подготовки сотрудников предприятия к возникновению нештатных ситуаций. Этот тренажерный комплекс построен на основе имитационной математической модели, определяющей материально-тепловой баланс плавки рудного агломерата в рудно-термической печи. Аналогичным примером программной реализации действующего технологического процесса является «Компьютерный тренажер для исследования процесса спекания нефелино-известняковой шихты во вращающихся печах». Основной целью разработки данного тренажера является необходимость закрепления теоретического материала по технологии спекания нефелиново-известняковой шихты во вращающихся плавильных печах с учетом различных температурных условий [10].

Таким образом, профессиональное применение ИТ-инструментов предоставляет расширенные возможности для графической визуализации и динамического воспроизведения различных выходных характеристик исследуемых технологических объектов в ответ на выработанные управляющие воздействия, представленные в виде входных сигналов специального вида.

1. Содержательная постановка задачи

В результате рассмотрения основных технологических этапов производства алюминиевых сплавов определена необходимость проектирования специального программного обеспечения для литейного отделения алюминиевого предприятия компании РУСАЛ, предназначенного не только для визуального моделирования вычислительных экспериментов, направленных на формирование алюминиевого расплава, но и для повышения уровня квалификации технологического персонала функционирующего литейного отделения.

Как оказалось, ни на одном из предприятий компании нет совершенной образовательной базы для обучения технологического персонала основам шихтовки алюминиевых сплавов. Изучение основ производства осуществляется в учебных классах традиционным способом либо в непосредственной близости от производственных агрегатов, что является устаревшим и небезопасным подходом. Получается, что процесс шихтовки расплава в большей степени зависит от навыков и трудового опыта шихтовщика. На сегодняшний день процесс модификации расплава происходит эмпирическим путем, т.е. методом проб и ошибок, на основе использования неэффективных средств расчета, предназначенных для вычисления количества массовых добавок имеющихся компонентов, что приводит к ошибкам шихтовки и увеличению себестоимости изготовления металла.

В связи со сложившимися обстоятельствами предлагается разработать комплекс программ в виде автоматизированной информационно-обучающей системы «Алюминщик», которая бы позволила моделировать процесс формирования алюминиевых сплавов с учетом различных требований и ограниче-

ний, а также обеспечивала поиск оптимального варианта решения технологической задачи шихтовки. При этом требуется последующее тестирование реализованных функциональных возможностей данного программного продукта с использованием технологических данных.

Стоит отметить, что разработанное программное решение планируется ввести в эксплуатацию на алюминиевых предприятиях компании РУСАЛ. Также немаловажным намерением является идея внедрения данной информационно-обучающей системы в учебный процесс высших учебных заведений на соответствующие металлургические специальности, преимущественно для профориентационных мероприятий и стимулирования обучающихся к получению новых знаний.

2. Проектирование и реализация специализированного комплекса программ

Известно, что любая производственная деятельность в большинстве случаев оценивается по экономическому критерию и в первую очередь зависит не только от общей степени обученности, но и от действующего уровня квалификации технологического персонала промышленного предприятия. В целом повышение квалификации рабочих кадров является наиболее перспективным способом увеличения эффективности любого бизнес-процесса, так как при этом не требуется приостановка работоспособности дорогостоящих производственных агрегатов. Вместе с тем к основополагающим производственным показателям относятся параметры производительности предприятия и доля неверных управляющих воздействий, приводящих к негативным экономическим издержкам.

С точки зрения образовательного подхода исходный набор знаний любого сотрудника является основополагающим ядром для дальнейшего обучения. Далее на основе уже полученных знаний формируются новые практические умения и умственные навыки, а также нравственные убеждения и общее мировоззрение. Однако, умение – это лишь промежуточный этап освоения новых способов выполнения конкретных действий с учетом каких-либо правил, а навыки – набор сознательных действий, выработанных в процессе неоднократного решения определенных типов задач в различных условиях [11].

Таким образом, после прохождения первоначального обучения, основанного на традиционных методах познания в виде теоретических занятий, необходимо последовательное вовлечение сотрудников предприятия в производственный процесс с соблюдением всех мер безопасности. Однако в случае сохранения высокого риска возникновения аварийных ситуаций или при отсутствии должного экспертного контроля в процессе практического обучения возникает необходимость использования специализированных тренажерных комплексов, обеспечивающих непрерывный контроль управляющих воздействий на основе установленных эталонных значений, определяющих наиболее оптимальный режим управления выбранным технологическим процессом [12]. С учетом этого на рис. 1 представлена обобщенная структура взаимодействий основных компонентов информационно-обучающей системы «Алюминщик».

В разрабатываемой системе выделяется три основных контура. Первый контур инициирует процесс обучения, в котором обучаемый при получении задания Y_z формирует собственный набор управляющих воздействий X_y , который определяет некоторый вариант решения поставленной расчетно-технологической задачи эмпирическим путем на основе математической модели технологического процесса. Во втором контуре происходит предварительный расчет оптимальных (эталонных) управляющих воздействий X_0 , к которым нужно приблизиться обучаемому в полученном решении. Наконец, третий контур обеспечивает анализ и интерпретацию совершенных ошибок по выбранному критерию F , а также осуществляет автоматическую генерацию информационных подсказок или рекомендаций для пользователя компьютерной системы. Следовательно, в каждом контуре выполняется задача оптимизации по определенному критерию с учетом сформированных исходных данных и различных настраиваемых ограничений.

При этом эталонные значения управляющих воздействий X_0 рассчитываются на основе сложившихся условий минимизации [13] исходных ошибок управления по заданному критерию Q_0 :

$$Q_0 = (Y_0 - Y_z)^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

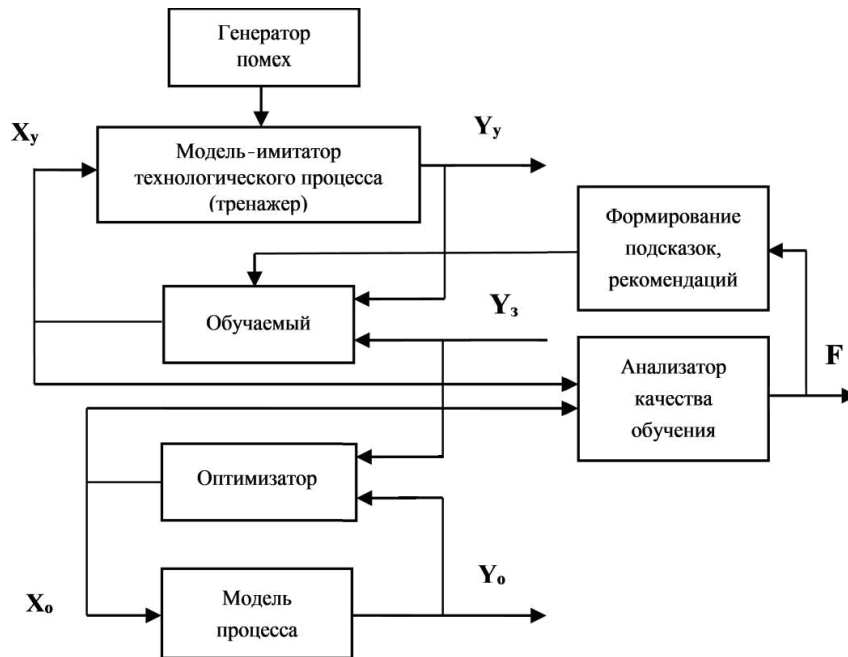


Рис. 1. Структура информационно-обучающей системы «Алюминщик»
Fig. 1. The structure of the information and training system «Aluminshchik»

Оценка эффективности проведенного процесса обучения F определяется как квадрат разности пользовательских и оптимальных значений параметров управления:

$$F = (X_y - X_0)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

По результатам данной оценки определяется величина отклонения, характеризующая факт достижения заданной степени обученности пользователя системы. В зависимости от полученных результатов формируются соответствующие информационные подсказки и рекомендации с учетом накопленных типовых ошибок, хранящихся в библиотеке данных.

Далее, в соответствии со сформированными условиями поставленной расчетно-технологической задачи, осуществлены разработка и программная реализация специализированной информационно-обучающей системы «Алюминщик» на основе объектно-ориентированного языка программирования C# с использованием встроенных инструментов среды разработки Microsoft Visual Studio Community. Данная среда разработки обладает multifunctional возможностями по взаимодействию исполняемого кода с сервисными службами операционной системы Windows, а также имеет набор открытых скомпилированных библиотек, повышающих гибкость разработки за счет потенциала их внедрения в разрабатываемое решение [14, 15].

Также в ходе работы был произведен подбор графических компонентов пользовательского интерфейса, в том числе специальных компонентов, предназначенных для организации хранения, ввода и вывода системной информации. Для редактирования и просмотра отображаемых данных применены диалоговые окна, исключающие выполнение недопустимых пользовательских действий. Программная реализация структуры данного программного комплекса представлена в виде основополагающих классов технологических объектов. Экземпляры таких классов беспрепятственно взаимодействуют между собой и хранят первичную информацию об объектах программы, а также производят корректирующую обработку данных, передаваемых в конструктор класса.

В информационно-обучающей системе «Алюминщик» используется три основных класса: *Form* (Форма), *Mixer* (Миксер) и *Bucket* (Ковш). Класс *Form* является системным и обеспечивает отображение основных визуальных компонентов пользовательского интерфейса, а также предназначен для хранения множества полей и методов, обеспечивающих работоспособность всей программы с момента ее запуска. Класс *Mixer* служит для хранения и обработки данных о технических характеристиках плавильного миксера и содержит описание соответствующего набора полей данных. Класс *Bucket*

предназначен для хранения и обработки данных о доступных литейных ковшах и содержит детальное описание собственного уникального набора полей данных.

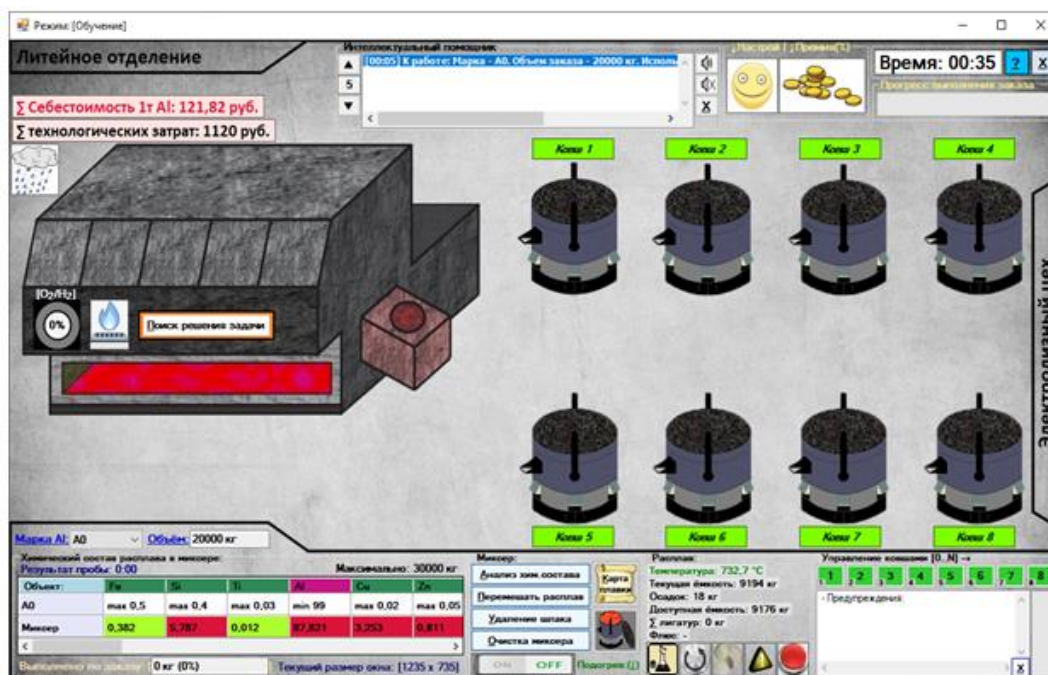


Рис. 2. Пользовательский интерфейс информационно-обучающей системы «Алюминщик»
Fig. 2. User interface of the information and educational system «Aluminschik»

Как итог, на рис. 2 представлен результат применения соответствующих средств программной разработки, позволивший реализовать интерактивный интерфейс пользователя информационно-обучающей системы «Алюминщик», обеспечивающий динамическое отображение технологических особенностей производства алюминиевых сплавов.

Заключение

Представленные результаты научно-исследовательской работы позволили осуществить высокоуровневую объектно-ориентированную программную реализацию специального комплекса программ в виде автоматизированной информационно-обучающей системы «Алюминщик». Данная компьютерная система предназначена для осуществления математического моделирования и выполнения визуализации технологического процесса формирования алюминиевых сплавов за счет соответствующего набора функциональных возможностей. Кроме того, наличие динамической библиотеки исходных компонентов расплава, а также использование алгоритмов интеллектуальной поддержки пользователя определяют возможность настройки и проведения серии различных сценариев вычислительных экспериментов.

Таким образом, предложенная компьютерная система является инструментом для снижения количества ошибок шихтовки алюминиевого расплава за счет повышения уровня квалификации технологического персонала, что, несомненно, способствует улучшению качества готовой продукции и сопутствующих технико-экономических показателей литейного отделения в результате поиска более рациональных вариантов распределения доступных материальных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Г.С. Состояние и проблемы вторичного алюминия в России // Материалы международной конференции «Алюминий-21. Рециклинг» // Цветные металлы. 2019. № 2. С. 79–84.
2. Зибров П.Ф., Зиброва О.Г. Обобщенные вероятностные показатели нереализованных возможностей многопараметрических систем // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. 2016. № 2 (3). С. 32–38.

3. Кучеренко Е.И., Дрюк А.Д. Расширение методов интеллектуального управления сложными объектами // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 3 (70). С. 13–18.
4. Рутковская К.В., Суримто К.А. Вычислительный эксперимент как метод моделирования технологических процессов в промышленности // Моделирование в технике и экономике : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. Витебск, 2016. С. 153–155.
5. Боровиков И.Г., Вивчарь Р.М., Волков Н.А., Пачин А.В. Методика использования учебно-тренировочных средств подготовки технологического персонала // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 3 (1). С. 93–99.
6. Гончаренко С.Н., Дементьева Е.В. Разработка мероприятий по снижению риска возникновения аварийных ситуаций промышленных объектов // Управление риском. 2010. № 1 (53). С. 38–42.
7. Киван М., Березкин Д.В., Раад М., Рашид Б. Анализ основных подходов к моделированию аварийных ситуаций для управления рисками в социотехнических системах // Динамика сложных систем – XXI век. 2021. № 15 (1). С. 22–37.
8. Сталинский Д.В., Ботштейн В.А., Павленко А.А. Инновационные решения по технологическому переоснащению и модернизации металлургических производств // Экология и промышленность. 2012. № 2. С. 10–17.
9. Судник Л.В., Рудницкий Ф.И., Рудницкий К.Ф., Николайчик Ю.А., Галиновский А.Л., Моисеев В.А. Технологические возможности повышения качества и снижения себестоимости изделий, эксплуатируемых в условиях повышенных нагрузок, на стадии металлургического передела // Технология металлов. 2018. № 4. С. 13–19.
10. Горенский Б.М. Автоматизированные системы имитационного управления объектами цветной металлургии / Краснояр. гос. акад. цв. металлов и золота. Красноярск : Поликом, 2002. 149 с.
11. Дзида Г.А. О соотношении понятий «компетенции, способности» личности и понятий «знания, умения и навыки» // Ямальский научный вестник. 2016. № 2 (7). С. 50–56.
12. Гафуров К.А. Исследование соответствия информационных процессов и зрения специалистов в системах с высокой профессиональной информативной нагрузкой // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2020. № 2-3 (79). С. 95–108.
13. Тятюшкин А.И. Численные методы оптимизации управляемых систем с параметрами // Евразийское научное объединение. 2016. № 10 (22). С. 40–50.
14. Шувалов Н.В. Основы объектно-ориентированного программирования // Аллея науки. 2018. № 5 (21). С. 1119–1122.
15. Мавлянов А.Н., Хаджибаев К.О. Ключевые концепции и принципы объектно-ориентированного программирования // Современное образование: традиции и инновации. 2020. № 2. С. 227–232.

Поступила в редакцию 12 февраля 2021 г.

Kalashnikov S.N., Martusevich E.A., Martusevich E.V., Rybenko I.A., Buintsev V.N. (2021) DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SET OF PROGRAMS FOR MODELING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FORMING ALUMINUM ALLOYS BASED ON AN OBJECT-ORIENTED APPROACH. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika* [Tomsk State University Journal of Control and Computer Science]. 57. pp. 110–117

DOI: 10.17223/19988605/57/12

The study of the main technological stages of metallurgical production, including a detailed analysis of the established principles of the formation of aluminum alloys, allows not only to identify, but also to systematically systematize significant negative trends that have a direct impact on the final quality and consumer properties of products, taking into account the specified requirements of the order portfolio. In the context of significant development of IT tools and due to the availability of a wide range of modern software development tools, unique opportunities are opening up for conducting low-cost optimization of established production modes of operation without significantly changing or interrupting them. In this case, there is a need to carry out a series of research and development work aimed at the design and high-level object-oriented implementation of the structure of special software systems intended for information support of technological personnel through continuous monitoring of key parameters of the modeled process.

The study of the technological foundations of the production of aluminum alloys in cooperation with «RUSAL» made it possible to establish that the process of modifying the liquid melt occurs empirically based on the use of ineffective means and calculation methods designed to calculate the amount of mass additions of the available components, which leads to periodic errors in the blending of the aluminum melt and an increase in the cost of metal production.

To solve this technological problem, it is proposed to design a special complex of programs in the form of an automated information and training system «Aluminshchik», which would allow simulating the process of forming aluminum alloys, taking into account various requirements and restrictions, as well as providing a search for the optimal solution to the technological problem of batching.

Further development and software implementation of the structure of the information and training system «Aluminshchik» was carried out in the high-level object-oriented programming language C # using the built-in tools of the Microsoft Visual Studio Community development environment. At the moment, in the developed information and training system «Aluminshchik», three basic classes are used: Form, Mixer and Bucket. The presented classes are the central structural units and directly interact with each other. Reasonable selection of visual components of software development, available in the executable environment, contributed to the creation of a multifunctional user interface of the software product.

Ultimately, a special software product was developed, which is an effective tool for reducing the number of errors in the blending of aluminum melt by increasing the level of qualification of technological personnel, which undoubtedly contributes to improving the

quality of finished products and other technical and economic indicators of the foundry as a result of the search for more rational options for using available material resources.

Keywords: software package; object-oriented approach; computational experiment; mathematical model; technological personnel.

KALASHNIKOV Sergey Nikolaevich (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Information Technologies and Programming, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation).

E-mail: s.n.kalashnikov@yandex.ru

MARTUSEVICH Efim Aleksandrovich (Junior Researcher, Post-graduate Student of the Department of Applied Information Technologies and Programming, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation).

E-mail: program.pro666@yandex.ru

MARTUSEVICH Elena Vladimirovna (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Science Disciplines named after Professor V.M. Finkel, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation).

E-mail: science_nvz@yandex.ru

RYBENKO Inna Anatolyevna (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Information Technologies and Programming, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation).

E-mail: rybenkoi@mail.ru

BUINTSEV Vladimir Nikolaevich (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Information Technologies and Programming, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation).

E-mail: buintcev@mail.ru

REFERENCES

1. Makarov, G.S. (2019) Sostoyanie i problemy vtorichnogo alyuminiya v Rossii [State and problems of secondary aluminum in Russia]. *Tsvetnyye metally*. 2. pp. 79–84.
2. Zibrov, P.F. & Zibrova, O.G. (2016) Obobshchennyye veroyatnostnyye pokazateli nerealizovannykh vozmozhnostey mnogoparametricheskikh sistem [Generalized probabilistic indicators of unrealized capabilities of multiparameter systems]. *Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatishcheva*. 2(3). pp. 32–38.
3. Kucherenko, E.I. & Dryuk, A.D. (2014) Rasshirenie metodov intellektual'nogo upravleniya slozhnymi ob"ektami [Expansion of methods of intelligent control of complex objects]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3(70). pp. 13–18.
4. Rutkovskaya, K.V. & Surimto, K.A. (2016) Vychislitel'nyy eksperiment kak metod modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov v promyshlennosti [Computational experiment as a method for modeling technological processes in industry]. In: Vankevich, E.V. (ed.) *Modelirovanie v tekhnike i ekonomike* [Modeling in technology and economics]. Vitebsk: VSTU. pp. 153–155.
5. Borovikov, I.G., Vivchar, R.M., Volkov, N.A. & Pachin, A.V. (2019) Methodology of using educational and training means of training technological personnel [Methodology of using educational and training means of training technological personnel]. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii – Modern High Technologies*. 3(1). pp. 93–99.
6. Goncharenko, S.N. & Dementieva, E.V. (2010) Development of measures to reduce the risk of accidents of industrial facilities. *Upravlenie riskom*. 1(53). pp. 38–42.
7. Kiwan, M., Berezkin, D.V., Raad, M. & Rashid, B. (2021) Analyzing common approaches of accident models for risk management in socio-technical systems. *Dinamika slozhnykh sistem – XXI vek – Journal Dynamics of Complex Systems - XXI century*. 15(1). pp. 22–37. DOI: 10.18127/j19997493-202101-03
8. Stalinsky, D.V., Botshtein, V.A. & Pavlenko, A.A. (2012) Innovatsionnyye resheniya po tekhnologicheskomu pereosnashcheniyu i modernizatsii metallurgicheskikh proizvodstv [Innovative solutions for technological re-equipment and modernization of metallurgical production]. *Ekologiya i promyshlennost'*. 2. pp. 10–17.
9. Sudnik, L.V., Rudnitsky, F.I., Rudnitsky, K.F., Nikolaychik, Yu.A., Galinovskiy, A.L. & Moiseev, V.A. (2018) Technological possibilities for improvement of quality and reduction of cost price of products that operate under conditions of high loads at stage of metallurgical conversion. *Tekhnologiya metallov*. 4. pp. 13–19.
10. Gorensky, B.M. (2002) *Avtomatizirovannyye sistemy imitatsionnogo upravleniya ob"ektami tsvetnoy metallurgii* [Automated systems for imitation control of non-ferrous metallurgy objects]. Krasnoyarsk: Polikom.
11. Dzida, G.A. (2016) O sootnoshenii ponyatiy "kompetentsii, sposobnosti" lichnosti i ponyatiy "znaniya, umeniya i navyki" [On the relationship between the concepts of "competence, ability" of a person and the concepts of "knowledge, skills and abilities"]. *Yamal'skiy nauchnyy vestnik*. 2(7). pp. 50–56.
12. Gafurov, K.A. (2020) Issledovanie sootvetstviya informatsionnykh protsessov i zreniya spetsialistov v sistemakh s vysokoy professional'noy informativnoy nagruzkoy [Investigation of the correspondence of information processes and the vision of specialists in systems with a high professional information load]. *Nauchnyy vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2-3(79). pp. 95–108.

13. Tyatyushkin, A.I. (2016) Numerical optimization methods for controlled systems with parameters. *Evraziyskoe nauchnoe ob"edinenie*. 10(22). pp. 40–50. DOI: 10.7868/S0044466917100131
14. Shuvalov, N.V. (2018) Osnovy ob"ektno-orientirovannogo programmirovaniya [Fundamentals of object-oriented programming]. *Alleya nauki – Journal of Science Alley*. 5(21). pp. 1119–1122.
15. Mavlyanov, A.N. & Khadzhibaev, K.O. (2020) Klyuchevye kontseptsii i printsipy ob"ektno-orientirovannogo programmirovaniya [Key concepts and principles of object-oriented programming]. *Sovremennoe obrazovanie: traditsii i innovatsii*. 2. pp. 227–232.