

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№3 (47) сентябрь 2014 г.

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, а также входит в базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и ВИНИТИ. Электронные версии журнала размещаются на сетевом ресурсе Научной Электронной Библиотеки в сети Интернет.

Издается с марта 2003 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

В.М. Колокольцев – ректор ФГБОУ ВПО «МГТУ»,
проф., д-р техн. наук.

Члены редсовета:

А.В. Дуб – ген. директор ОАО НПО

«ЦНИИТМАШ», д-р техн. наук;

Д.Р. Каплунов – член-кор. РАН, проф. ИПКОН
РАН, д-р техн. наук;

В.Ф. Рашиников – Президент ООО «Управляющая
компания ММК», проф., д-р техн. наук;

В.М. Счастливцев – зав. лабораторией ИФМ
УрО РАН; академик РАН, д-р техн. наук;

М. Пьетшик – профессор горно-металлургической
академии, г.Краков, Польша;

К. Мори – профессор Технологического
университета, г.Тойохаси, Япония;

И. Горлач – д-р наук в области машиностроения;
руководитель отделения мехатроники университета
им. Нельсона Манделы, Южная Африка;

Х. Дыя – проф., д-р техн. наук, директор
Института обработки металлов давлением
и инженерии безопасности, Ченстоховский
Технологический Университет, Польша;

А.Б. Найзабеков – академик, д-р техн. наук, проф.,
ректор Рудненского индустриального
института, Казахстан;

Р.О. Дюссан – профессор, Руководитель
факультета металлургических технологий
и наук о материалах, Технологический
институт, Мумбай, Индия;

М. Дабала – профессор, Факультет промыш-
ленного инжиниринга Университета г. Падуа,
Италия.

Главный редактор:

М.В. Чукин – первый проректор-проректор
по научной и инновационной работе ФГБОУ
ВПО «МГТУ», проф., д-р техн. наук.

Первый зам. главного редактора:

Г.С. Гун – советник ректора ФГБОУ ВПО
«МГТУ», проф., д-р техн. наук.

Зам. главного редактора:

А.Г. Корчунов – проректор по международной
деятельности ФГБОУ ВПО «МГТУ», проф.,
д-р техн. наук.

Ответственные секретари:

М.А. Полякова – доц., канд. техн. наук
ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

М.В. Шубина – доц., канд. техн. наук
ФГБОУ ВПО «МГТУ».

Редактор: Н.В. Кутекина.

Технический редактор: К.В. Гаврусева.

Перевод с английского: О.Е. Сухих

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2014

Подписной индекс издания 48603 в объединенном каталоге «Пресса России», том 1.

Также подписку в оперативном режиме можно оформить и оплатить в удобной для Вас форме на подписной страничке сайта
Агентства «Книга-Сервис» по ссылке:
код html: <http://www.akc.ru/itm/vestnik-magnitogorskogo-gosudarstvennogo-tehnicheskogo-universiteta-im-gi-nosova/>

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС11-1157 от 18 апреля 2007 г.

Выдано Управлением Федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия по Уральскому федеральному округу.

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38).

16+, в соответствии с Федеральным законом №436-ФЗ от 29.12.10.

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 22-14-93. Факс (3519) 23-57-60
URL: <http://www.vestnik.mgtu.ru>
E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@mgtu.ru

Журнал подготовлен к печати издательским центром
МГТУ им. Г.И.Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.
Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова,
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.
Выход в свет 25.09.2014. Заказ 515. Тираж 500 экз. Цена свободная.

VESTNIK

of Nosov Magnitogorsk State Technical University

No. 3 (47) September 2014

The journal is included in a List of Russian peer-reviewed scientific journals where key scientific results of dissertations for degrees of a doctor and a candidate of sciences should be published, and incorporated into databases of the Russian Science Citation Index (RSCI) and the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information. Online versions of the journal can be found in the Scientific Electronic Library collection on the Internet.

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial Board Members

Chairman:

V.M. Kolokoltsev – D. Sc., Prof., Rector
of Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Honorary Board Members:

A.V. Dub – D.Sc., General Director of OJSC Research
and Production Association Central Research Institute for
Engineering Technology (NPO TsNIITMASH).

D.R. Kaplunov – D.Sc., Prof., Corresponding Member
of the Russian Academy of Sciences. Research Institute of
Comprehensive Exploitation of Mineral Resources.

V.F. Rashnikov – D.Sc., Prof., President of LLC MMK
Managing Company.

V.M. Schastlivtsev – D. Sc., Chief of the Laboratory, Institute
of Metal Physics, Ural Division of the
Russian Academy of Sciences, Academician
of the Russian Academy of Sciences.

M. Pietrzyk – Prof., Akademia Gorniczo-Hutnicza,
Krakow, Poland.

K. Mori – Prof., Toyohashi University of Technology, Japan.

I. Gorlach – Ph.D., Head of Mechatronics Department,
Nelson Mandela Metropolitan University, South Africa.

H. Dyja – D.Sc., Prof., Director of the Institute
of Metal Forming and Engineering Security, Czestochowa
University of Technology, Poland.

A.B. Nayzabekov – D.Sc., Prof., Member
of the Academy of Sciences, Rector of Rudny
Industrial Institute, Republic of Kazakhstan.

R.O. Dusane – Prof., Head of Metallurgical
Engineering & Materials Science Department, Institute
of Technology Bombay, India.

M. Dabalà – Prof., Department of Industrial
Engineering, University of Padova, Italy.

Editor-in-Chief:

M.V. Chukin – D.Sc., Prof., First Vice-Rector-
Vice-Rector for Science and Innovation,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University.

First Deputy Editor-in-Chief:

G.S. Gun – D. Sc., Prof., Adviser to the Rector,
Nosov Magnitogorsk State Technical
University.

Deputy Editor-in-Chief:

A.G. Korchunov – D.Sc., Prof.,
Vice-Rector for International Affairs,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University.

Executive Editors:

M.A. Polyakova – Ph.D., Assoc. Prof.,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University.

M.V. Shubina – Ph.D., Assoc. Prof.,
Nosov Magnitogorsk State Technical
University.

Editor: N.V. Kutekina.

Technical Editor: K.V. Gavrusheva.

Translated from English: O.E. Sukhikh

© Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education
Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014

Registration certificate PI # FS11-1157 dated April 18, 2007

Issued by the Administration of the Federal Service for Media Law Compliance and Cultural Heritage in the Urals Federal District.

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk 455000, Chelyabinsk Region,)

16+ in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10

Editorial office:

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Tel.: +7 (3519) 221 493. Fax: +7 (3519) 235 760
URL: <http://www.vestnik.magtu.ru>
E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru

Prepared for the publication by the NMSTU publishing center,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Printed by the NMSTU printing section,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia.
Publication date: 25.09.2014. Order 515. Circulation: 500. Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

Разработка и переработка полезных ископаемых.....	5
Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В. Об эффективности подземной разработки тарынахского и горкитского железорудных месторождений.....	5
Зубков А.В., Сентябов С.В., Бирючев И.В. Влияние изменяющихся горизонтальных напряжений в массиве на состояние крепи стволов	11
Каримова Л.М. Сульфатизирующий обжиг чернового медносульфидного концентрата для серно-кислотного выщелачивания.....	15
Кузбаков Ж. И. Учет переходных процессов в щековой дробилке при измельчении ферроматериалов.....	21
Вагин В.С., Филатов А.М., Курочкин А.И. Снижение динамичности передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидроприводом	25
Литейное производство	30
Колокольцев В.М., Коток А.П., Долбилов К.А. Проблема серы в литейных сталях	30
Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Методика определения рациональной длины поддерживающей системы узких граней непрерывнолитого сляба для предотвращения выпучивания.....	32
Обработка металлов давлением	37
Салганик В.М., Денисов С.В., Полецков П.П., Стеканов П.А., Бережная Г.А., Алексеев Д.Ю. Физическое моделирование процессов производства горячекатаного листа с уникальным комплексом свойств	37
Материаловедение и термическая обработка металлов	40
Богданова Т.А., Довженко Н.Н., Меркулова Г.А., Гильманшина Т.Р., Латыпов Ф.Р. Влияние режимов термической обработки и нанесения декоративно- защитного покрытия на механические свойства и структуру дисков автомобильных колес из сплава АК7пч.....	40
Варнак О.В., Ильин С.И., Пышминцев И.Ю., Смирнов М.А., Тетеркин С.Н. Деформационное старение трубной стали с ферритобейнитной структурой	43

CONTENTS

Mining and Mineral Processing	5
Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Baranovsky K.V. Efficiency of underground mining of the tarinnakhsky and the gorkitsky iron ore deposits	5
Zubkov A.V., Sentyabov S.V., Biryuchev I.V. The effect of changes of horizontal stresses in rock mass on shaft supports	11
Karimova L.M. Sulphatizing roasting of a rough copper sulfide concentrate for sulfuric acid leaching.....	15
Kuzbakov Zh. I. Factoring into transient processes in a jaw crusher when crushing ferromaterials.....	21
Vagin V., Filatov A.M., Kurochkin A.I Reduction of dynamic loads in mobile sinking hoisting plants with a gearless hydraulic drive	25
Foundry Engineering.....	30
Kolokoltsev V.M., Kotok A.P., Dolbilov K.A. Problem with sulfur in cast steel.....	30
Shevchenko E.A., Stolyarov A.M., Shapovalov A.N. Method of determining the rational length of supporting systems for narrow faces of continuously cast slabs to prevent bulging	32
Metal Forming	37
Salganik V.M., Denisov S.V., Poletskov P.P., Stekanov P.A., Berezhnaya G.A., Alekseev D.Yu. Physical modeling of production processes of hot-rolled plates with a unique set of properties	37
Materials Science and Heat Treatment of Metals.....	40
Bogdanova T.A., Dovzhenko N.N., Merkulova G.A., Gilmanshina T.R., Latypov F.R. Influence of heat treatment modes and application of a decorative protective coating on mechanical properties and the structure of automobile wheel disks of AK7pch alloy.....	40
Varnak O.V., Ilyin S.I., Pyshmintsev I.Yu., Smirnov M.A., Teterkin S.N. Strain aging of pipe steel with the ferrite-bainite structure	43

Моделирование металлургических процессов.....	48	Simulation of Metallurgical Processes.....	48
Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В. Исследование двухстадийного способа переработки пылей и шламов с помощью математических моделей.....	48	Bigeev V. A., Chernyaev A.A., Panteleev A.V. Mathematical modelling of the two-stage method for sludge and dust recycling	48
Надежность и долговечность металлургического оборудования	53	Reliability and Useful Life of Metallurgical Equipment.....	53
Султанов Н. Л., Жиркин Ю. В., Шленкина М. А. Исследование надежности подшипников качения стана-танDEM 2000 холодной прокатки ОАО «ММК»	53	Sultanov N.L., Girkin Yu.V., Shlenkina M.A. Research of reliability of rolling bearings on tandem cold rolling mill 2000 at OJSC MMK	53
Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы.....	57	Power Engineering in Metallurgy, Energy Saving and Electrical Complexes.....	57
Трофимова В.Ш., Липатников А.В. Разработка методики планирования почасового потребления электрической энергии крупным металлургическим предприятием (на примере ОАО «ММК»)	57	Trofimova V.S., Lipatnikov A.V. Development of planning techniques for hourly electricity consumption by a large-scale metallurgical plant (by the example of MMK)	57
Экология металлургической отрасли. Охрана окружающей среды.....	63	Ecology of the Metallurgical Industry. Environmental Protection.....	63
Черчинцев В.Д., Волкова Е.А., Серова А.А., Романова Е.Ю. Оценка экологического состояния магнитогорского водохранилища и динамика изменения основных показателей его загрязнения	63	Cherchintsev V.D., Volkova E.A., Serova A.A., Romanova E.Yu. Assessment of the ecological state of the magnitogorsk dam pond and time history of its main pollution indicators.....	63
Экономика, управление и рынок продукции.....	66	Economics, Management and Product Market.....	66
Колокольцева Е.В. Особенности реализации инновационной стратегии в черной металлургии	66	Kolokoltseva E.V. Implementation features of an innovation strategy in ferrous metallurgy	66
Управление персоналом	73	HR Management.....	73
Сулейманов М.Г., Абдуллина Л.Ш. Оценка надежности персонала при профессиональном отборе кадров в металлургии	73	Suleimanov M.G., Abdullina L.S. Evaluation of personnel reliability for professional personnel selection in metallurgy	73
Логунова О.С., Леднов А.В., Королева В.В. Результаты анализа публикационной активности профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»	78	Logunova O.S., Lednov A.V., Koroleva V.V. Analysis of the publication activity of the teaching staff at FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University	78
Сведения об авторах.....	88	Information about authors.....	88

РАЗРАБОТКА И ПЕРЕРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.272.06/271.06

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ТАРЫННАХСКОГО И ГОРКИТСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В.

Института горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. На основании анализа горно-геологических и горнотехнических условий определена эффективность подземной разработки запасов Тарыннахского и Горкитского месторождений, остающихся вне контуров карьеров. Экономико-математическим моделированием установлено, что наибольшая эффективность обеспечивается стратегией, основанной на параллельном строительстве шахт и одновременном вводе в эксплуатацию обоих шахтных полей как на Тарыннахском, так и на Горкитском рудниках. В свою очередь, достаточно высокая рентабельность подземной добычи руды обеспечивается применением прогрессивной малозатратной ресурсосберегающей технологией с массовым обрушением руды и комплексов высокопроизводительного самоходного оборудования на всех процессах добычи руды. Разработаны схемы вскрытия и технология добычи. Определены оптимальные показатели извлечения руды. Рассчитаны технико-экономические показатели по рудникам.

Ключевые слова: схема вскрытия, система подземной разработки, этажное обрушение, ресурсосберегающая технология, экономико-математическое моделирование, потери и засорение руды, технико-экономические показатели.

Введение

Успешное комплексное освоение Тарыннахского и Горкитского железорудных месторождений комбинированным способом в мало освоенном районе и суровых климатических условиях Якутии определяется в значительной степени эффективностью отработки запасов, оставшихся вне контуров карьеров и предназначенных для подземной разработки (далее – подземные запасы). Особенно важным является правильный выбор геотехнологической стратегии их освоения, формирующейся на основе рационального сочетания способа и схем вскрытия, технологии добычи руды, комплексов геотехники, которые определяют уровень капитальных и эксплуатационных затрат [1].

Материалы и методы исследования

Рассматриваемые месторождения, расположенные на юге Республики Саха (Якутия), простираются с севера на юг соответственно на 22 и 19,5 км. Горно-геологические условия подземной отработки запасов достаточно благоприятные.

Мощные рудные тела (10–60 м) крутого падения (75–90°) расположены в пределах мощной рудной зоны (до 450 м) и распространяются на глубину до 1000 м. Руды и породы устойчивы. Средняя объемная масса руд – 3,3–3,45 т/м³, вмещающих пород – 2,65 т/м³. Коэффициент крепости руд по М.М. Протодяконову $f=7-20$, вмещающих пород $f=6-15$. Горнотехнические условия осложняются расчлененным рельефом, высокой сейсмичностью района. Гидрогеологические условия Тарыннахского месторождения относительно простые – обводнение будет происходить за счет подземных вод и атмосферных осадков, Горкитского – более сложные, для перехвата вод необходимо применение водопонижающих скважин законтурного дренажа.

При изыскании подземной геотехнологии руководствовались следующими исходными положениями:

- комбинированная разработка обоих месторождений осуществляется по последовательной схеме – открытые горные работы (ОГР) ведутся несколькими (5–7) карьерами до глубины 220–400 м с последующим переходом на подземные (ПГР);

– балансовые запасы Тарыннахского месторождения, подлежащие подземной разработке, составляют 1550 млн т, Горкитского – 1335 млн т, значительный объем этих запасов (около 30%) расположен выше предельной глубины карьеров;

– в связи с большой протяженностью и значительными запасами месторождений целесообразно каждое из них разделить в плане на два шахтных поля, отрабатываемых отдельными шахтами, и по высоте – на три яруса, состоящих из нескольких эксплуатационных этажей и концентрационного горизонта [2];

– годовая производственная мощность каждой шахты, установленная по горным возможностям, при отработке первого яруса составляет 6 млн т в год, суммарная годовая производительность Тарыннахского и Горкитского рудников – 24 млн т руды. Вследствие увеличения эксплуатационных рудных площадей во втором ярусе мощность шахт может быть увеличена до 8 млн т руды в год.

Способ и схема вскрытия Тарыннахского месторождения вертикальными стволами, расположенными в лежащем боку месторождения за зоной сдвижения, штольнями и вспомогательными наклонными съездами из карьера определены исходя из большой величины, глубины и протяженности подземных запасов и их пространственного расположения относительно карьеров (рис. 1, а). Шахтные поля длиной 11000 м делятся на два крыла длиной по 5500 м. По вертикали месторождение разбивается на ярусы высотой 300 м. В свою очередь, ярус делится на 3 этажа высотой 100 м.

Каждое шахтное поле вскрывается центральной группой стволов (Главным скиповым и Вспомогательным), фланговыми и центральным (общим для обеих шахт рудника) Вентиляционными

стволами. Для ускорения строительства, спуска в шахту самоходного оборудования (СО), выдачи части загрязненного воздуха предусматривается проходка наклонных съездов под углом 7–12°.

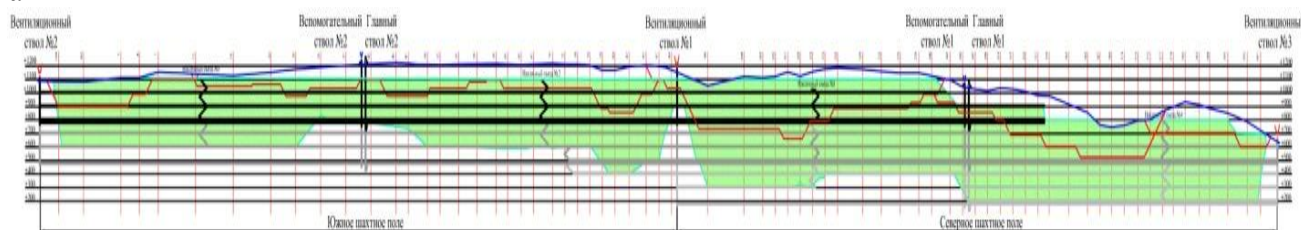
Вскрытие отдельных участков, расположенных выше дна карьера, осуществляется штольнями. Предусмотрен нагнетательный способ проветривания рудника по фланговой схеме с подачей воздуха по Вентиляционным стволам и выдачей по Вспомогательным.

Горно-капитальные работы (ГКР) в ярусе включают строительство концентрационного (откаточного) и эксплуатационных (доставочных) горизонтов. Концентрационные горизонты строятся через 300 м по вертикали – один на 3 эксплуатационных этажа. На горизонте оборудуется дробильно-дозаторный комплекс (ДДК) для подземного дробления руды и погрузки ее в скипы, водоотливный комплекс, подземный склад ВМ и другие служебные камеры, проходятся квершлагги, откаточные штреки висячего и лежащего боков и соединяющие их откаточные орты. Ближайший к концентрационному эксплуатационный горизонт располагается на 15 м выше, остальные – через 100 м по высоте.

ГКР на эксплуатационных горизонтах включают проходку квершлаггов, полевых доставочных штреков висячего и лежащего боков, доставочных ортов через 160 м. Между эксплуатационными и концентрационным горизонтами проходятся рудоспуски, вентиляционные восстающие и лифтовые подъемники.

Горкитское месторождение разделяется на два шахтных поля длиной по 9000 м, каждое из которых также делится на два крыла. Схема вскрытия и подготовки месторождения в целом такая же, что и Тарыннахского (рис. 1, б).

а



б

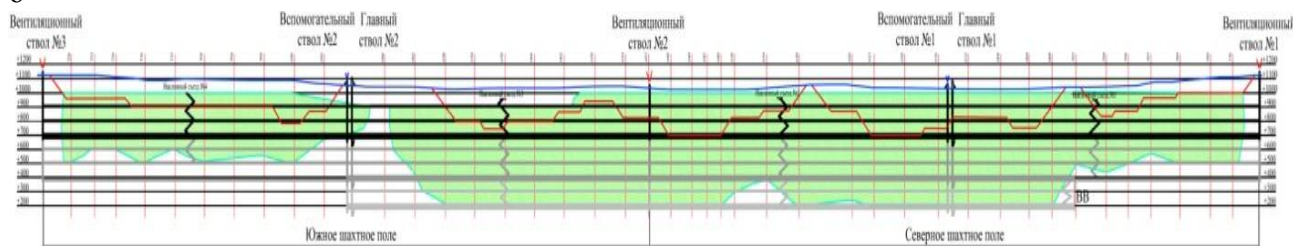


Рис. 1. Схема вскрытия Тарыннахского (а) и Горкитского (б) месторождений

Порядок разработки подземных запасов Тарыннахского и Горкитского месторождений – последовательный нисходящий тремя ярусами. Этажи в ярусах также отрабатываются сверху вниз.

В связи с большим сроком освоения месторождений (более 160 лет) проработка технологических схем и расчеты технико-экономических показателей (ТЭП) выполнены для первого яруса. Объем ГКР первого яруса Тарыннахского рудника составляет 4906 тыс. м³, длина горно-капитальных выработок – 365600 м. Объем ГКР Горкитского рудника 3087 тыс. м³, длина выработок 211000 м.

Исходя из годовой производительности шахт, характеристик руды и средней длины откатки 4,5 км, принят электровозный транспорт локомотив-составами (электровоз К14 и 10-ти вагонеток ВГ-10). Схема откатки кольцевая. Погрузка руды в вагонетки из панельных рудоспусков осуществляется виброустановками типа ВДПУ-4ТМ, разгрузка – на околоствольном дворе в круговом опрокидывателе. После ДДК руда выдается в скипах на поверхность.

В рассмотренных горно-геологических и горнотехнических условиях разработки Тарыннахского и Горкитского месторождений, учитывая их значительные запасы, невысокую ценность руды, большую мощность залежей, крутой угол падения, оптимальным является применение систем с массовым обрушением руды [3–5].

Как показывает опыт применения систем разработки с обрушением, наиболее распространенными являются варианты с отбойкой руды на компенсационные камеры, позволяющие обеспечить необходимое разрыхление руды при отбойке и за счет этого упростить режим выпуска. В результате выбора принят вариант с отбойкой руды параллельно-сближенными глубокими скважинами на узкую компенсационную камеру (камера-щель) и зажатую среду [6, 7], и площадным выпуском руды самоходными ПДМ. Конструкция и параметры принятого варианта системы разработки этажного принудительного обрушения показаны на рис. 2.

Шахтное поле в этаже разбивается на панели длиной по простиранию 160 м и высотой 100 м. Панели отрабатываются от флангов к центру шахтного поля. В пределах панели рудное тело делится на четыре добычных блока шириной 40 м и длиной, равной мощности рудного тела. Добычные блоки вынимаются сплошным порядком по простиранию рудного тела. Подготовка блока к очистной выемке включает проведение доставочных ортов на границе смежных блоков; траншейных ортов по оси блока, расположенных на уровне кровли погрузочных заездов, пройденных через 20 м из доставочных ортов с двух сторон к траншейному штреку.

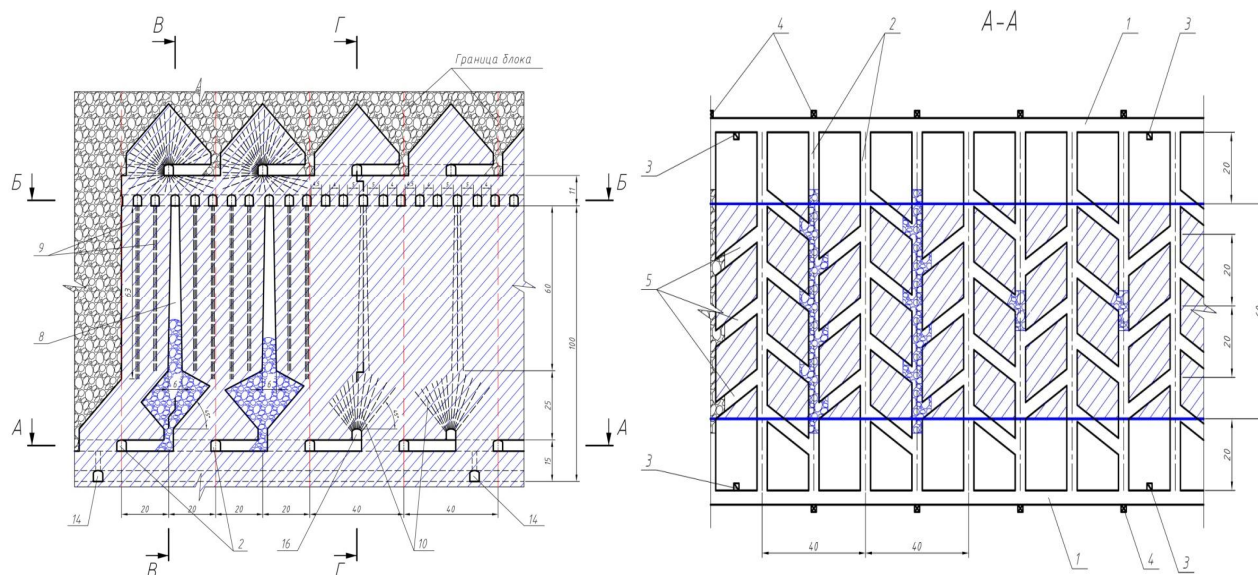


Рис. 2. Система этажного принудительного обрушения для отработки основных запасов:

- 1 – панельный доставочный штрек; 2 – блоковый доставочный орт; 3 – блоковый рудоспуск;
- 4 – вентиляционный восстающий; 5 – погрузочный заезд; 6 – буровой орт; 7 – отрезной восстающий;
- 8 – камера компенсации; 9 – пучки скважин; 10 – веер скважин; 11 – буровой штрек; 12 – откаточный штрек лежачего бока; 13 – откаточный штрек висячего бока; 14 – откаточный орт; 15 – заезд; 16 – траншея

На подэтажном (буровом) горизонте в лежащем и висячем боку проходятся подэтажные штреки, буровые штреки (на контакте рудного тела), буровые орты, отрезные орты и восстающие. Проходка горизонтальных и наклонных выработок осуществляется комплексами, состоящими из буровых кареток типа *Sandvik DD 320-40* и ПДМ *Sandvik LH 307* грузоподъемностью 6,7 т, проходка восстающих – комплексом типа *Robbins 73RHC* или *Rhino 1000*.

Отработка блока производится в две стадии: на первой стадии осуществляется оформление траншейной подсечки блока высотой 25 м и последующего образования над ней по оси блока камеры-щели шириной 5–6 м; на второй стадии – массовая отбойка и выемка основных запасов блока высотой 60 м и запасов потолочины.

Отбойка руды на подсечке осуществляется веерами скважин диаметром 89 мм из траншейного штрека. Руда в компенсационной камере-щели отбивается нисходящими рядами скважин диаметром 102 мм. Потолочина блока, включающая в себя и днище вышележащего блока, обрушивается веерами скважин диаметром 102 мм из доставочных выработок верхнего этажа.

Основные запасы блока разбуриваются нисходящими пучками параллельно-сближенных скважин диаметром 115 мм. Массовый взрыв основных запасов блока и потолочины производится после выемки запасов камеры-щели и подсечки. Массовый взрыв следующего блока должен производиться после выпуска не менее 25% запасов предыдущего блока. Для бурения скважин диаметром 89 и 102 мм предусматривается буровая установка *Sandvik DL420-10* с гидроперфоратором, параллельно-сближенных скважин диаметром 115 мм и глубиной 65 м – буровой станок *Sandvik Aries* с погружным пневмударником. Во всех случаях зарядание скважин производится гранулированными или эмульгированными ВВ с использованием зарядной установки *Charmec-6605*.

Выпуск отбитой руды из блока осуществляется под обрушенными породами из траншейного днища с двусторонним расположением погрузочных заездов на доставочном горизонте. Для плавного опускания границы обрушенных налегающих пород площадной выпуск осуществляется равномерно-последовательно. Выпуск и доставка руды из забоя до 4-х блоковых рудоспусков производится ПДМ типа *Sandvik LH 514E* с электроприводом грузоподъемностью 14 т. При средней длине доставки 140 м производительность блока обеспечива-

ет одновременная работа 4-х ПДМ.

Разработанный вариант технологии имеет следующие преимущества:

- основные выработки располагаются вкрест простирания рудного тела, что повышает устойчивость выработок и безопасность ведения очистных работ;

- конструкция днища блока обеспечивает устойчивость выработок выпуска на весь период его существования и высокопроизводительную работу мощных ПДМ;

- минимальные размеры камер компенсации позволяют уменьшить потенциальную опасность их обрушения, что достаточно актуально при высокой сейсмической активности района месторождений;

- удельный объем ПНР в блоке в 1,5–2 раза меньше, чем на действующих подземных рудниках;

- непрерывный выпуск больших объемов руды и независимое ведение буровзрывных работ и работ по выпуску и доставке создают благоприятные условия для высокой интенсивности добычи руды и эффективного использования самоходного оборудования;

- отбойка руды пучками скважин позволяет отказаться от проведения промежуточного бурового горизонта и упростить схему подготовки добычных блоков;

- применение ПДМ с электроприводом позволяет улучшить санитарные условия и уменьшить количество необходимого воздуха для проветривания горизонта выпуска.

Крутой угол падения рудных тел и большая высота этажа обеспечивают благоприятные условия для выпуска руды. Для определения оптимальной величины потерь и засорения руды использован критерий полученной прибыли на 1 т погашенных балансовых запасов [8, 9]. Результаты расчета приведены на **рис. 3**. Оптимальная величина потерь и засорения на шахтах Тарынахского ГОКа равна 10 и 15% соответственно.

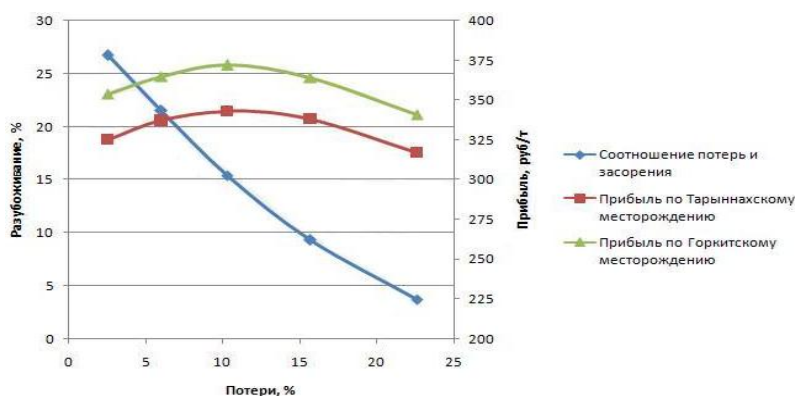


Рис. 3. Зависимость прибыли от возможного соотношения потерь и засорения

Оценка варианта системы разработки, выполненная на основе экономико-математического моделирования, показала, что технико-экономические показатели (ТЭП) соответствуют лучшим мировым аналогам (табл. 1).

Таблица 1

ТЭП варианта системы разработки этажного принудительного обрушения

№	Показатель	Ед. изм.	Значение
1	Балансовые запасы добычного блока	тыс. т	816
2	Потери	%	10
3	Разубоживание	%	15
4	Эксплуатационные запасы блока	тыс. т	864
5	Удельный объем ПНР на 1000 т руды	м/м ³	1,4/16,3
6	Производительность блока	тыс. т/мес.	56,2
7	Производительность труда на процессах:		
7.1	– проходка	м ³ / чел.-см.	6,0
7.2	– отбойка,	т/чел.-см.	570
7.3	– выпуск и доставка,	т/чел.-см.	737
7.4	– на очистной выемке,	т/чел.-см.	332
8	Производительность труда забойного рабочего по системе разработки	т/ чел.-см.	143

Эффективность разработки подземных запасов Тарыннахского и Горкитского месторождений оценивается по критерию чистого дисконтированного дохода (ЧДД) как разница между доходом от реализации продукции – железного концентрата и суммой капитальных и эксплуатационных затрат на добычу и обогащение руды за срок 50 лет при норме дисконта 10% [10]. В связи с ориентировочным характером оценки капитальные затраты определялись, как затраты на ГКР, умноженные на коэффициент 1,5 (табл. 2).

Таблица 2

Капитальные затраты на строительство рудников Тарыннахского ГОКа

№	Наименование выработок	Объем ГКР, тыс. м ³	Удельные затраты, тыс. руб./м ³	Капзатраты на ГКР, млн руб.	k	Суммарные капзатраты, млн руб.
Тарыннахский рудник						
1	Вертикальные стволы	144,11	30,0	4323,3		
2	Наклонные съезды	176,12	7,0	1232,8		
3	Горизонтальные	4021,28	6,0	24127,7		
4	Камерные выработки	216,64	7,0	1516,5		
	Всего, млн руб.			31200,3	1,5	46800,5
Горкитский рудник						
1	Вертикальные стволы	213,43	30,0	6403,0		
2	Наклонные съезды	97,36	7,0	681,5		
3	Горизонтальные	3806,6	6,0	22839,2		
4	Камерные	230,66	7,0	1614,6		
	Всего, млн руб.			31538,3	1,5	47307,5

В процессе экономико-математического моделирования (ЭММ) рассмотрены два варианта освоения подземных запасов Тарыннахского и Горкитского месторождений, характеризующиеся разновременностью капитальных затрат: ва-

риант 1 – последовательное строительство шахт и ввод в эксплуатацию шахтных полей и вариант 2 – параллельное строительство шахт и ввод в эксплуатацию шахтных полей. Исходные данные и расчетные ТЭП приведены в табл. 3, график изменения ЧДД – на рис. 4.

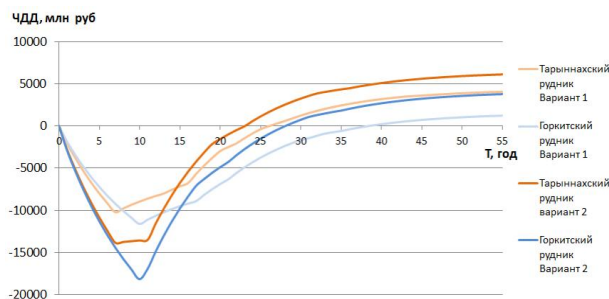


Рис.4. ЧДД при освоении Тарыннахского и Горкитского месторождений

Таблица 3

ТЭП отработки подземных запасов рудников Тарыннахского ГОКа

№	Показатели	Ед. изм.	Тарыннахский рудник	Горкитский рудник
1	Балансовые запасы для подземной добычи	млн т	1550	1335
2	Содержание Fe _{общ} в балансовых запасах	%	28,62	29,31
3	Балансовые запасы первого яруса	млн т	488	435
4	Потери	%	10	10
5	Засорение	%	15	15
6	Эксплуатационные запасы первого яруса	млн т	515	461
7	Производственная мощность рудника	млн т/год	12	12
8	Срок ввода рудника в эксплуатацию, вариант 1 / вариант 2	лет	8/8	11/11
9	Срок достижения производственной мощности рудника, вариант 1 / вариант 2	лет	18/14	18/13
10	Срок отработки запасов первого яруса, вариант 1 / вариант 2	лет	66/61	61/55
Технологические показатели обогащения				
11	Объем переработанной руды по руднику	тыс. т/год	12000	12000
12	Содержание Fe _{общ} в добытой руде	%	26,28	26,86
13	Выход концентрата из 1 т руды	%	26,21	28,34
14	Количество концентрата	тыс. т/год	3145	3401
15	Содержание Fe _{общ} в концентрате	%	69,3	67
16	Извлечение железа в концентрат	%	69,1	70,7
Экономические показатели				
17	Цена концентрата	руб./т	4276	4134
18	Доход от реализации продукции	млн руб.	578722	540096
19	Суммарные капитальные вложения	млн руб.	46800,5	47307,5
20	Эксплуатационные затраты добычи 1 т руды (без амортизации)	руб./т	403	411
21	Эксплуатационные затраты обогащения 1 т руды (без амортизации)	руб./т	132	133
22	Суммарные эксплуатационные затраты	млн руб.	275525	250784
23	Чистый дисконтированный доход	млн руб.	4238/6240	1354/3767
24	Срок окупаемости капитальных вложений	лет	26/23	38/28
25	Индекс доходности	коэф-т	1,25/1,32	1,08/1,18

Выводы

Анализ результатов ЭММ показал, что наибольшая эффективность подземной разработки обеспечивается стратегией, основанной на параллельном строительстве шахт и одновременном вводе в эксплуатацию обоих шахтных полей как на Тарыннахском, так и на Горкитском рудниках, позволяющей в наиболее короткие сроки обеспечить достижение их максимальной производственной мощности. В свою очередь, применение прогрессивной малозатратной ресурсосберегающей технологии с массовым обрушением руды и комплексов высокопроизводительного самоходного оборудования на всех процессах добычи руды обеспечивает достаточно высокую рентабельность подземной добычи руды.

Учитывая, что в период ведения ОГР будет создана производственная и социальная инфраструктура Тарыннахского ГОКа, можно утверждать, что подземная разработка запасов Тарыннахского и Горкитского месторождений является перспективной и обеспечивает достаточно надежную сырьевую базу развития как отечественной металлургической промышленности, так и экспорт железорудного сырья более чем на 100 лет. При этом переход на подземную добычу руды не приведет к заметному снижению производственной мощности Тарыннахского ГОКа. Таким образом, можно сделать вывод, что подземная разработка запасов Тарыннахского и Горкитского месторождений при современном уровне цен является рентабельной.

Работа выполнена при поддержке программы ОНЗ РАН № 3 «Фундаментальные проблемы

и перспективы использования потенциала комплексного освоения недр на основе развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих технологий» (12-Т-5-1021).

Список литературы

1. Яковлев В.Л., Волков Ю.В., Славиковский О.В. О стратегии освоения меднорудных месторождений Урала // Горный журнал. 2003. № 9. С. 3–7.
2. Волков Ю.В., Камаев В.Д. Ярусная отработка рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. №8. С. 341–343.
3. Оработка подкарьерных запасов трубки «Удачная» в сложных климатических, горно- и гидрогеологических условиях / Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Кульминский А.С. // Горный журнал. 2011. №1. С.63–66.
4. Обоснование подземной геотехнологии при комбинированной разработке Сарбайского железорудного месторождения / Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Широков М.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 58–65.
5. Перспективы технического перевооружения подземных рудников Западно-Сибирского металлургического комплекса / Фрейдин А.М., Филиппов П.А., Гайдин С.П., Кореньков Э.Н., Неверов С.А. // ФТПРПИ. 2004. № 3. С. 71–80.
6. Еременко А.А., Еременко В.А., Гайдин А.П. Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов. Новосибирск: Наука, 2008. 312 с.
7. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 335 с.
8. Типовые методические указания по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче: сб. руководящих материалов по охране недр / Госгортехнадзор СССР. М.: Недра, 1973. 154 с.
9. Типовые методические указания по оценке экономических последствий потерь полезных ископаемых при разработке месторождений: сб. руководящих материалов по охране недр. М.: Недра, 1973. 47 с.
10. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2000. 424 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EFFICIENCY OF UNDERGROUND MINING OF THE TARINNAKHSKY AND THE GORKITSKY IRON ORE DEPOSITS

Sokolov Igor Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Head of the Laboratory of Underground Geotechnology, the Institute of Mining, UB RAS, Ekaterinburg, Russia. Phone: +7(343)350 71 28. E-mail: geotech@igdur.ru

Smirnov Alexey Alexeevich – Ph.D. (Eng.), Senior Research Worker of the Laboratory of Underground Geotechnology, the Institute of Mining, UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Antipin Yuriy Georgievich – Ph.D. (Eng.), Senior Research Worker of the Laboratory of Underground Geotechnology, the Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Nikitin Igor Vladimirovich – Research Worker of the Laboratory of Underground Geotechnology, the Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: geotech910@yandex.ru

Baranovsky Kirill Vasilievich – Research Worker of the Laboratory of Underground Geotechnology, the Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kartingist@list.ru

Abstract. The efficiency of underground mining of the reserves of the Tarinnakhsky and the Gorkitsky deposits being left out of an open pit contour is defined in terms of the analysis of mining-geological and mine technical conditions. An economic-mathematical model shows that the greatest efficiency is provided by the strat-

egy based on parallel construction of mines and simultaneous putting into operation of the mine fields both in the Tarinnakhsky and the Gorkitsky mines. Sufficiently high profitability of underground ore mining is in its turn provided by application of the advanced low-cost and resource-saving technology with a mass ore caving and

complexes of high-performance self-propelled equipment in all ore mining processes. The schemes of development and ore mining are worked out. Optimal ore extraction parameters are determined. Technical and economic performance of each mine is calculated.

Keywords: scheme of development, the system of underground mining, block caving, resource-saving technology, economic-mathematical modeling, ore losses and contamination, technical and economic performance.

References

1. Yakovlev V.L., Volkov Yu.V., Slavikovsky O.V. On a strategy of development of copper ore deposits of the Urals. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2003, no. 9, pp. 3-7.
2. Volkov Yu.V., Kamaev V.D. Stage development of ore deposits. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'* [Mining research and information bulletin], 2007, no. 8, pp. 341-343.
3. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Kulminsky A.S. Development of pit reserves of Udachnaya pipe in harsh climatic, mining and hydrogeological conditions. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2011, no. 1, pp. 63-66.
4. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Shirokov M.A. Rationale for underground geotechnology of the Sarbaisky iron ore deposit during combined mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'* [research and information bulletin], 2013, no. 4, pp. 58-65.
5. Freidin A.M., Filippov P.A., Gaidin S.P., Korenkov E.N., Neverov S.A. Prospects of technical re-equipment in underground mines of the metallurgy complex in West Siberia. *Zhurnal gornykh nauk* [Journal of Mining Science], 2004, no. 3, pp. 71-80.
6. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Gaidin A.P. *Sovershenstvovanie geotekhnologii osvoeniya zhelezorudnykh udaropasnykh mestorozhdenij v usloviyakh dejstviya prirodnykh i tekhnogennykh faktorov* [Improvement of geotechnology of iron ore rock-bump hazardous deposit development in conditions of natural and anthropogenic factors]. Novosibirsk: Nauka, 2008, 312 p.
7. Zubkov A.V. *Geomekhanika i geotekhnologiya* [Geomechanics and geotechnology]. Ekaterinburg: UB RAS, 2001, 335 p.
8. Standard methodological instructive regulations on the setting of norms for extraction losses of solid commercial minerals: instructive materials on protection of mineral resources. Gosgortekhnadzor USSR. Moscow: Nedra, 1973, 154 p.
9. Standard methodological instructive regulations on the assessment of the economic consequences of losses of commercial minerals occurring upon the development of deposits: instructive materials on protection of mineral resources. Moscow: Nedra, 1973, 47 p.
10. Methodological recommendations on the evaluation of investment projects (second revision). Moscow: Economics, 2000, 424 p.

УДК 622.833.5

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ НА СОСТОЯНИЕ КРЕПИ СТЕВЛОВ

Зубков А.В., Сентябов С.В., Бирючев И.В.

Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследований на подземном руднике Гайского ГОКа и расчетов, выполненных в Институте горного дела Уральского отделения РАН. Выявленное явление расширения и сжатия Земли, происходящее синхронно с легко отслеживаемым изменением размера Солнца, требует дальнейшего исследования и уточнения корреляционных зависимостей. Приведены расчеты и замеры напряжений в крепи ствлов, которые зависят не только от физико-механических свойств пород массива, но и от времени проходки ствола и остановок при возведении крепи на время, за которое бетон набрал свою полную прочность. Возникает опасность нарушения целостности крепи ствлов.

Ключевые слова: условно постоянные тектонические напряжения; напряженно-деформированное состояние крепи ствлов; астрофизические напряжения; бетонная крепь; массив горных пород.

Введение

Напряженное состояние и геодинамическая активность верхней части Земной коры как среды обитания и техногенной деятельности человека будут всегда в центре внимания. Периодически изменяющаяся интенсивность геодинамических явлений в виде землетрясений и горных ударов красноречиво свидетельствует об изменяющемся во времени уровне напряжений в недрах [3].

Лаборатория геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований со второй половины 1998 года по настоящее время ведёт экспериментальные работы по изуче-

нию изменения во времени напряжённо-деформированного состояния (НДС) массива горных пород. Для этого были оборудованы наблюдательные станции на различных рудниках Урала вне зоны влияния горных работ в районе городов Краснотурьинск, Нижний Тагил, Березовский и Гай на глубинах от 420 до 1070 м.

В ходе анализа результатов работы было установлено явление периодического изменения НДС массива горных пород вследствие расширения и сжатия земной коры (Земли) с временным интервалом, в среднем, 11 лет [1].

Изменение НДС массива горных пород вызвано действием переменной во времени величиной напряжений, обусловленной действием

Таблица 2

Измеренные величины первоначальных напряжений в массиве пород месторождения

Год проведения измерений	Глубина Н, м	Субмеридиональные σ_1 , МПа	Субширотные σ_2 , МПа	Вертикальные σ_z , МПа	Тектонически пульсирующие $\sigma_{\text{АФ}}$, МПа
1998	830	-19	-40	-22	-7
2004	910	-20	-42	-25	-4
2008	1070	-32	-49	-33	-9

Таблица 1

Гипотезы формирования природных напряжений в массиве горных пород

А.Гейм, 1878 г.	$\sigma_x^{\text{П}} = \sigma_y^{\text{П}} = \sigma_z^{\text{П}} = -\gamma H$
А.Н.Динник, 1951 г.	$\sigma_z^{\text{П}} = -\gamma H$ $\sigma_x^{\text{П}} = \sigma_y^{\text{П}} = -\lambda \gamma H$
N.Hast, 1960 г.	$\sigma_z^{\text{П}} = -\gamma H$ $\sigma_x^{\text{П}} = -\lambda \gamma H + T_1$ $\sigma_y^{\text{П}} = -\lambda \gamma H + T_2$
А.В.Зубков и К ^о , 2000 г.	$\sigma_z^{\text{П}} = -\gamma H + \sigma_{\text{zm}} + \sigma_{\text{АФ}}$ $\sigma_x^{\text{П}} = -\lambda \gamma H + \sigma_{\text{xm}} + \sigma_{\text{АФ}}$ $\sigma_y^{\text{П}} = -\lambda \gamma H + \sigma_{\text{ym}} + \sigma_{\text{АФ}}$ где $\sigma_{\text{xm}} + \sigma_{\text{АФ}} = T_1$ $\sigma_{\text{ym}} + \sigma_{\text{АФ}} = T_2$

В таблице: $\sigma_x^{\text{П}}, \sigma_y^{\text{П}}, \sigma_z^{\text{П}}$ – составляющие главных напряжений, МПа; γ – удельный вес пород, Н/м³; H – мощность налегающих горных пород, м; λ – коэффициент бокового распора; $\lambda = \mu / (1 - \mu)$, μ – коэффициент Пуассона; T_1, T_2 – главные составляющие тектонических сил, МПа; $\sigma_{\text{zm}}, \sigma_{\text{xm}}, \sigma_{\text{ym}}$ – главные составляющие условно постоянных тектонических сил, не изменяющихся в период работы горной конструкции или сооружения, МПа; $\sigma_{\text{АФ}}$ – временной ход астрофизических напряжений, МПа.

Экспериментальная часть и методы исследования

На Гайском подземном руднике (г. Гай) астрофизические напряжения стали измерять сразу же после измерения гравитационно-тектонических напряжений. Поэтому прогноз изменения напряжений во времени здесь можно делать уверенно.

При расчете использованы инструментально определенные параметры напряжений, представленные в табл. 2.

Для того чтобы рассчитать напряжения в крепи в интересующий нас момент времени необходимо знать величину первоначальных напряжений σ_i^n . Для этого из результатов измерений (табл. 3) надо вычесть $\sigma_{\text{АФ}}$ того момента времени, когда были сделаны замеры, и прибавить $\sigma_{\text{АФ}}$ в интересующий момент времени (рис. 1).

Величины первоначальных гравитационно-тектонических напряжений, без учета астрофизических напряжений, представлены в табл. 3.

Следовательно:

– если крепление ствола проводилось в период минимума СА и $\sigma_{\text{АФ}} = \text{max}$, то уменьшение $\sigma_{\text{АФ}}$ в последующем приведёт к уменьшению сжимающих или даже появлению растягивающих напряжений;

– если крепление ствола проводилось в период максимума СА и $\sigma_{\text{АФ}} = \text{min}$, то увеличение $\sigma_{\text{АФ}}$ в последующем приведёт к увеличению сжатия крепи в дополнение к сжатию в период её возведения.

В практике подобные комбинации могут быть самые разнообразные, если учесть, что крепь возводится в промежутках между максимумом и минимумом $\sigma_{\text{АФ}}$.

С целью оценки устойчивости крепи стволов на руднике были сделаны предварительные расчеты напряжений, действующих в крепи на горизонтах 830, 910 и 1070 м, для условий, когда действуют гравитационные γH и тектонические σ_t напряжения. Бетонная крепь возведена у забоя и набрала полную прочность и упругость из-за остановки проходки. Схема расчета (рис. 2) и методика представлены ниже.

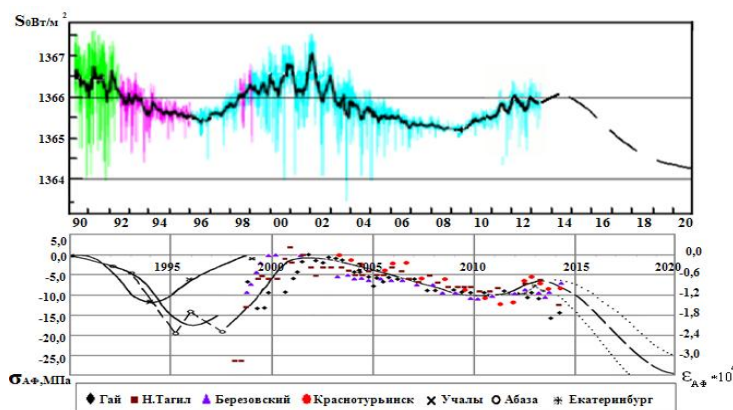


Рис. 1. Астрофизические напряжения и относительная деформация массива на рудниках в городах Урала и Алтая на фоне изменения излучения Солнца

Таблица 3

Величины первоначальных гравитационно-тектонических напряжений, без учета астрофизических напряжений

Год проведения измерений	Глубина Н, м	Субмеридиональные σ_1 , МПа	Субширотные σ_2 , МПа	Вертикальные σ_z , МПа
1998	830	-12+ $\sigma_{АФ}$	-33+ $\sigma_{АФ}$	-22
2004	910	-16+ $\sigma_{АФ}$	-38+ $\sigma_{АФ}$	-25
2008	1070	-23+ $\sigma_{АФ}$	-40+ $\sigma_{АФ}$	-33

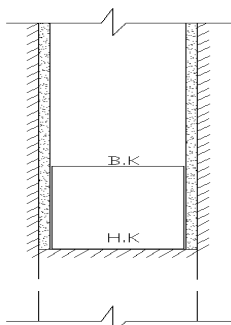


Рис. 2. Схема к расчету напряжений в крепи

$$\sigma_{\theta(x)} = \frac{(1 - \mu_B^2) E_B}{E_{II}} \left[\sigma_x^II (K_{x(x)}^o - K_{x(x)}^I) + \sigma_y^II (K_{x(y)}^o - K_{x(y)}^I) + \sigma_z (K_{x(z)}^o - K_{x(z)}^I) \right]; \quad (1)$$

$$\sigma_{\theta(y)} = \frac{(1 - \mu_B^2) E_B}{E_{II}} \left[\sigma_y^II (K_{y(y)}^o - K_{y(y)}^I) + \sigma_x^II (K_{y(x)}^o - K_{y(x)}^I) + \sigma_z (K_{y(z)}^o - K_{y(z)}^I) \right]; \quad (2)$$

где $\sigma_{\theta(x)}$, $\sigma_{\theta(y)}$ – главные горизонтальные напря-

жения, МПа; E_B – модуль упругости бетона; E_{II} – модуль упругости породы; $K_{x(x)}$, $K_{y(x)}$... – условные коэффициенты концентрации напряжений $\sigma_{(x)}$, $\sigma_{(y)}$, $\sigma_{(z)}$, по осям X и Y.

Результаты расчета напряжений, действующих в бетонной крепи, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Расчетные напряжения в бетонной крепи

Горизонт, м	Верх кольца, МПа		Низ кольца, МПа	
	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1
-830	-8,5	-0,77	-15,3	-0,6
-910	-8,7	-0,9	-15,8	-0,8
-1070	-8,8	-1,2	-16,6	-1,8

На основании полученных результатов установлено, что на участках, где проходку приостанавливали на время, когда бетон набирал свою полную прочность, в крепи ствола могли возникнуть максимальные напряжения. Величины рассчитанных напряжений на горизонте 830 м и ниже имеют незначительный запас прочности и практически близки к нормативной прочности бетона, равной для Б25 М300 18 МПа. На этих участках есть опасность нарушения крепи стволов.

В процессе исследований на месторождении натурные определения напряжений, действующих в крепи стволов, проводились при помощи модифицированного метода щелевой разгрузки. Измерения были проведены на глубине 830, 910, 990, 1070 и 1390 м Гайского подземного рудника.

Суть метода заключается в измерении деформации индикатором часового типа между реперами до разгрузки и после нее [6]. Нами при выполнении замеров метод был значительно модернизирован за счет использования в качестве режущего инструмента бензорезов последнего поколения. При этом данное оборудование полностью автономно, не требует подключения к магистралям со сжатым воздухом, привязки к электрическим сетям и водопроводу, что существенно увеличивает область его использования.

Вместе с этим репера также претерпели изменения. Вместо съемных цанговых реперов использовались постоянные оловянные, установленные по обе стороны от щели на осевой линии. Это позволило снизить себестоимость их производства, а также появилась прекрасная возможность производить измерения изменения напряженного состояния во времени.

Результаты и обсуждение

По результатам измерений с помощью нового метода были получены деформации и пересчитаны в напряжения, действующие на контуре выработки, которые представлены в табл. 5.

Таблица 5
Величины замеренных деформаций в стволе «Клетевой»

Номер станции	До разгрузки, мм	После разгрузки, мм	σ , МПа
1 (горизонт 830 м)	0,89	0,93	-4,6
2 (горизонт 910 м)	0,61	0,65	-4,6
3 (горизонт 990 м)	1,63	1,64	-2,3
4 (горизонт 1070 м)	1,10	1,12	-1,1
5 (горизонт 1390 м)	Верх кольца 0,88	Верх кольца 0,89	-2,3

Путем решения плоской задачи теории упругости пересчет полученных величин относительных деформаций в напряжения по формуле

$$\sigma = \frac{E_B \cdot U_{AB}}{24 \cdot L(1 - K_1 + \mu K_2)}, \quad (3)$$

где U_{AB} – величина смещения реперов на базе АВ, м; E_B – модуль упругости бетона, МПа; L – расстояние между реперами, м; K – интегральные коэффициенты концентрации напряжений, действующие на участках между основными реперами и разгрузочной щелью. Коэффициент определился по зависимости, опубликованной в монографии [6]; μ – коэффициент Пуассона деформируемого материала крепи. При замерах в бетонной крепи ствола повсеместно принимали $\mu=0,3$.

Полученные величины напряжений в крепи, возведенной при непрерывной проходке, отличаются от теоретических за счет того, что бетон не набрал полную прочность и деформировался пластично.

В 2013 году на Гайском подземном руднике были зафиксированы $\sigma_{AF} = -10$ МПа, по прогнозам к 2020 году (см. рис. 1) σ_{AF} могут достигнуть -25 МПа, при этом напряжения на контуре выработки значительно увеличатся.

$$\Delta\sigma_{AF} = \sigma_{AF2020г} - \sigma_{AF2013г} = -25 - (-10) = -15 \text{ МПа}; \quad (4)$$

$$\sigma_{\theta(k)} = \frac{2 \cdot \sigma_{p(k)} r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2)} = \frac{2 \cdot (-0,79) \cdot 3,05^2}{(3,05^2 - 2,75^2)} = -8,44; \quad (5)$$

$$\sigma_{p(k)} = \frac{A}{B} = \frac{-39 \cdot 10^{-5}}{49,319 \cdot 10^{-5}} = -0,79, \quad (6)$$

$$\text{где } A = \frac{2\Delta\sigma_{AF}(1 - \mu_{II}^2)}{E_n} = \frac{2 \cdot (-15) \cdot (1 - 0,3^2)}{0,7 \cdot 10^5} = -39 \cdot 10^{-5}; \quad (7)$$

$$B = \frac{1 + \mu_n}{E_n} + \frac{C}{E_B} = \frac{1 + 0,3}{0,7 \cdot 10^5} + \frac{9,49}{0,2 \cdot 10^5} = 49,319 \cdot 10^{-5}; \quad (8)$$

$$C = \frac{(1 - \mu_B)r_2^2 + (1 + \mu_B)r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2)} = \frac{(1 - 0,2)3,05^2 + (1 + 0,2)2,75^2}{(3,05^2 - 2,75^2)} = 9,492, \quad (9)$$

где μ_{II} , μ_B – коэффициент Пуассона породы, бетона; E_n , E_B – модуль упругости породы, бетона.

Таблица 6
Прогнозные результаты расчета напряжений на контуре выработки, МПа

1-я станция (горизонт 830 м)	2-я станция (горизонт 910 м)	3-я станция (горизонт 990 м)	4-я станция (горизонт 1070 м)	5-я станция (горизонт 1390 м)	6-я станция (горизонт 1390 м)
-13,04	-13,04	-9,54	-10,74	-9,54	-10,74

По результатам расчетных напряжений в бетонной крепи прогнозируемые напряжения на участках, где были установлены измерительные станции. В крепи ствола могут возникнуть максимальные напряжения. Величины расчетных напряжений при условии, что действуют $\sigma_{AF} = -25$ МПа, ниже нормативной прочности бетона, крепь ствола находится в устойчивом состоянии.

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований президиума РАН №12-П-5-1022.

Список литературы

1. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния земной коры Урала во времени / Зубков А.В., Зотеев О.В. и др. // Литосфера. 2010. №1. С. 84–93.
2. Яковлев Д.В., Тарасов Б.Г. О взаимосвязи геодинамических событий в шахтах и рудниках с циклами солнечной активности // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. междунар. конф. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2001. С. 56–65.
3. Милановский Е.Е. Развитие и современное состояние проблем расширения и пульсации земли // Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984. С. 8–24.
4. Зубков А. В. Периодическое расширение и сжатие земли как вероятный механизм природных катаклизмов // Литосфера. 2013. №2. С. 145–155.

5. Зубков А. В. Горнотехнические условия отработки колчеданных месторождений // Уральский горнопромышленный форум: V: Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд: материалы Всерос. науч. конф. Чтения памяти С. Н. Иванова / УрО РАН, Институт геологии и геохимии УрО РАН и др. Екатеринбург, 2013. С. 60–62.
6. Зубков А. В. Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. 333 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE EFFECT OF CHANGES OF HORIZONTAL STRESSES IN ROCK MASS ON SHAFT SUPPORTS

Zubkov A.V. – D.Sc. (Eng), Chief Researcher, FGBUN Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Phone: +7 (343) 350 94 24. Yekaterinburg, Russia. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Sentyabov S.V. – Junior Researcher, FGBUN Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Yekaterinburg, Russia. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Biryuchev I.V. – Junior Researcher, FGBUN Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Yekaterinburg, Russia. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Abstract. This article presents results of the research and calculations performed by the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in the underground mine of Gaisky Ore Dressing Plant. The observed phenomenon of expansion and contraction of the Earth occurring in sync with easily tracked changes of the Sun's size requires further examination and precise definition of correlation dependences. The article shows calculations and measurements of stresses in shaft supports which depend not only on the physical and mechanical properties of solid rock, but also on the time of shaft sinking and stops in the construction of the support for a period while concrete gained its full strength. There is a risk of destroying the integrity of shaft supports.

Keywords: conditionally permanent tectonic stresses, stress-strain state of the shaft supports, astrophysical stresses, concrete support, rock mass.

References

1. Zubkov A.V., Zoteev O.V. and others. Regularities of formation of the stress-strain state of the Earth's crust in the Urals in time. *Litosfera* [Lithosphere]. 2010, no. 1, pp. 84-93
2. Yakovlev D.V., Tarasov B.G. About the interrelation between geodynamic events in mines and pits and the cycles of solar activity. *Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie nedr Zemli. Tr. mezhdunar. konf.* [Geodynamics and stress state subsoil of the Earth. Third International conference]. Novosibirsk: Institute of Mining SB RAS, 2001, pp. 56-65.
3. Milanovsky E.E. Development and current state of issues on expansion and pulse of the Earth. *Problemy rasshireniya i pulsatsii Zemli* [Problems of expansion and pulse of the Earth]. Moscow: Nauka, 1984, pp. 8-24.
4. Zubkov A. V. Periodical expansion and contraction of the earth as a probable mechanism of natural disasters. *Litosfera* [Lithosphere]. 2013, no. 2, pp. 145-155.
5. Zubkov A. V. Mining conditions of sulfide deposit development. *Ural'skij gornopromyshlennyj forum: V: Kolchedannye mestorozhdeniya – geologiya, poiski, dobycha i pererabotka rud: materialy Vse-ros. nauch. konf. Chteniya pamyati S. N. Ivanova. UrO RAN, Institut geologii i geokhimii UrO RAN i dr.* [Ural mining forum: V: Massive sulfide deposits - geology, exploration, mining and ore processing: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference. Ivanov's readings / UB RAS, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS and others]. Yekaterinburg, 2013, pp. 60-62.
6. Zubkov A.V. *Geomekhanika i geotekhnologiya* [Geomechanics and Geotechnology]. Yekaterinburg: Ural Branch of RAS, 2001, 333 p.

УДК 669.337

СУЛЬФАТИЗИРУЮЩИЙ ОБЖИГ ЧЕРНОВОГО МЕДНОСУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА ДЛЯ СЕРНО-КИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Каримова Л.М.

ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан

Аннотация. Для оценки сохранности и разрушаемости при загрузке, транспортировке и хранении гранул из чернового медного концентрата проведен расчет допустимой высоты бункеров от гранулятора до шахтной печи.

Исследовано влияние различных факторов на процесс обжига чернового медного флотоконцентрата в лабораторной шахтной печи. Выявлен экстремальный ход зависимости извлечения меди от температуры. В зависимости от действующих факторов получены частные и обобщенные функции извлечения меди в раствор и переход серы в газ.

Ключевые слова: гранулы, медный концентрат, высота слоя, обжиг, факторы, обобщенное уравнение.

Введение

С целью обеспечения наиболее благоприятных условий для эффективного выщелачивания меди из сульфидного концентрата применяют сульфатирующий обжиг, который происходит при относительно низких температурах [1–4]. Кроме того, при низкотемпературном обжиге есть возможность предотвратить образование труднорастворимых ферритов и силикатов, а также спекание зерен. При этом в качестве дополнительного окислителя может быть использован трехвалентный сульфат железа, получаемый в процессе обжига путем окисления пирита.

Материалы и результаты исследований

Ранее [5–7] проведена оптимизация процесса обжига чернового медно-сульфидного концентрата в условиях автогенного режима окисления. Была изучена зависимость максимальной температуры автогенного обжига от содержания серы в концентрате при различных скоростях подачи воздуха.

Нами в качестве исследуемого материала во избежание оплавления гранул использовался черновой флотоконцентрат с содержанием серы не более 6%. Химический состав чернового концентрата приведен в табл. 1, 2.

Таблица 1

Содержание основных компонентов в черновом концентрате, %

Cu	S	Fe	Ca	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Zn	Ag г/т	Ti	Mg	K
3,91	3,05	4,67	3,55	41,05	2,28	0,357	83,2	0,301	0,786	1,48

Таблица 2

Результаты фазового анализа чернового концентрата на содержание форм меди

Найдено в % по меди	абс.	отн.
Сульфаты	<0,2(<0,01)	
Карбонаты	<0,2(0,09)	2,3
Оксиды, силикаты	<0,2	
Вторичные сульфиды*	3,16	81,0
Халькопирит	0,65	16,7
Всего	3,90	100,0

* Ковеллин, халькозин, борнит.

CuFeS ₂ халькопирит	Cu ₅ FeS ₄ борнит	Cu ₂ S халькозин
1,87	1,58	2,70

Концентрат подвергался окатыванию на лабораторном грануляторе с диаметром чаши 0,6 м, высотой борта 15 см при скорости вращения 20 об/мин и подаче связующего (воды) разбрызгиванием. Максимальная относительная убыль массы гранул (W_{105}) диаметром 10 мм в процессе их сушки при 105 °С, которую проводили до прекращения изменения массы гранул, составляет 10,03%.

Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах (класс +2–4 мм ($d_{cp}=3$ мм)). Насыпная масса гранул составила 1,338 г/см³.

Необходимым условием подготовки медного сырья к обжигу является гранулирование исходного материала. При этом большое значение имеет получение гранул, прочностные характеристики которых позволяют выдерживать нагрузки, возникающие при транспортировке и перегрузках, а также при переработке в обжиговой печи. Для решения этой задачи требуется изучить прочностные свойства гранул класса +2–4 мм и определить условия получения наиболее прочных окатышей.

Для определения выхода целых гранул в каждом независимом опыте путем фиксирования нагрузки отбирали по 25 окатышей. Полученные результаты статической и динамической (ударной) прочности гранул приведены в табл. 3.

Статическая прочность, она же выход целых гранул (в долях единицы), рассчитывалась по вероятностной формуле энергостохастической прочности [8]

$$P_c = 0,5 \left(\frac{2m_c g}{\pi d \rho_c} \right)^6; \quad (1)$$

$$P_y = 0,5 \left(\frac{2mgh}{\pi d^2 \rho_y} \right)^6, \quad (2)$$

где P_c – выход целых гранул при статической нагрузке (доли единицы); m_c – прилагаемая сила нагрузки, Н; g – ускорение силы тяжести, м/с²; d – размер (диаметр) гранулы, м; ρ_c – эффективное поверхностное натяжение при статической нагрузке, Н/м=Дж/м²; P_y – выход целых гранул при падении (ударная прочность), д.е.; h – высота падения гранулы, м; ρ_y – энергия поверхности разрушения гранулы при ударной нагрузке, Дж/м².

Эта формула основана на вероятностном характере разрушения под действием любых нагрузок (статических, ударных, термических), в результате чего вероятность разрушения связывается с долей разрушенного материала, а вероятность сохранности – с долей оставшегося целым. Физическая сущность энергостохастической прочности непосредственно связывается с энергией вновь образованной поверхности разрушенного материала в размерности Дж/м², либо в тождественно равной ей силе поверхностного натяжения в размерности Н/м. Этой энергии противопоставляется соответствующая энергия нагрузки, и их соотношением определяется увеличение или уменьшение выхода разрушенных или целых кусков.

Для определения поверхностного натяжения при воздействии статической нагрузки использовали формулу, обратную (1)

$$\rho_c = \frac{2m_c g}{\pi d} \left(\frac{\ln 0,5}{\ln P_c} \right)^{1/6}. \quad (3)$$

Следует отметить, что гранула противодействует разрушению от статической нагрузки сильнее, чем от ударной, которая оказывается более разрушительной, поэтому эти характеристики определяются в раздельных экспериментах. С этой целью используются формула (2) в обращенной относительно ρ_y форме

$$\rho_y = \frac{2d\gamma gh}{\pi} \left(\frac{\ln 0,5}{\ln P_y} \right)^{1/6}. \quad (4)$$

Полученные результаты представлены в табл. 3.

В качестве силовой нагрузки использовали грузы массой 0,1–0,2 кг, ввиду чего его силовое воздействие определяется величиной $G=m_g g$, Н

Таблица 3

Результаты опытов по определению характеристик эффективного поверхностного натяжения ρ_c , Н/м, или энергии поверхности разрушения, Дж/м², статической и динамической прочности гранул P_c , P_y (д.е.)

m_g , кг	Статическая прочность			h , м	Ударная прочность		
	P_c	ρ_c	P_y		P_y	ρ_y	P_y
0,1	0,88	276,3468	0,97	3,0	0,96	113,8	0,96
0,12	0,84	314,8989	0,90	3,5	0,92	117,8	0,90
0,15	0,8	377,7654	0,66	4,0	0,64	101,8	0,80
0,17	0,52	357,895	0,42	5,0	0,52	119,4	0,42
0,2	0,3	380,3254	0,10	6,0	0,12	117,8	0,08

Полученные результаты статической и ударной прочности гранул проверяли на адекватность экспериментальных и расчетных значений по коэффициенту нелинейной множественной корреляции R [9] и его значимости t_R [10], которые составили $R = 0,75$, $t_R = 3,0 > 2$ и $R = 0,95$, $t_R = 15 > 2$ соответственно.

Как видно из табл. 3, среднее значение эффективного поверхностного натяжения для статической прочности составило 340,8 Дж/м², а для ударной ρ_y – 114,1 Дж/м², т.е. статическая, как обычно, значительно выше, чем ударная (динамическая), в данном случае в $\rho_c/\rho_y = 3,0$ раза. Достаточно высоко значимые коэффициенты корреляции дают право использования полученных энергостохастических моделей прочности гранул для расчета допустимой высоты бункеров при загрузке и хранении гранул различной крупности из черновых медных концентратов.

Проанализируем сохранность гранул различного размера, образующихся в промышленных

грануляторах, включая $d = 10$ мм, при загрузке и хранении в бункерах высотой до 6 м и конвейерных перегрузках на малых высотах.

В табл. 4 приведены результаты расчетов по сохранности гранул от статической нагрузки по формуле [8]

$$P_c = 0,5 \left(\frac{2d\gamma gh_c}{\pi \rho_c} \right)^6 = 0,5 \left(\frac{2d \cdot 1263,9 \cdot 807 h_c}{\pi 340,8} \right)^6 = 0,5^{(23,14 d h_c)^6}. \quad (5)$$

Таблица 4

Зависимость сохранности гранул от их диаметра и высоты слоя с переводом в %

d , м	P_c (%) при h_c , м					
	1	2	3	4	5	6
0,002	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	99,97
0,003	100,00	100,00	99,99	99,97	99,88	99,64
0,004	100,00	100,00	99,97	99,82	99,32	97,99
0,005	100,00	99,99	99,88	99,32	97,44	92,54
0,006	100,00	99,97	99,64	97,99	92,54	79,32
0,007	100,00	99,92	99,09	95,00	82,23	55,7
0,008	100,00	99,82	97,99	89,20	64,67	27,21
0,009	99,99	99,64	95,96	79,32	41,33	7,15
0,010	99,99	99,32	92,54	64,67	18,96	0,70

По этим данным видно, что оптимальный класс, +2–4 мм, выдерживает высоту слоя вплоть до 6 м, разрушаясь всего на 2% за счет гранул размером 4 мм. Что касается более крупных гранул, то они заметно разрушаются, начиная уже с высоты слоя 3 м, а при 6 м самые крупные практически не сохраняются. Возможно, это следует рассматривать как положительный фактор, поскольку при раздавливании образуются осколки, соизмеримые с оптимальной фракцией гранул, и специальных измельчающих устройств для крупных окатышей не потребуется.

Обжиг полученных гранул вели в вертикально установленной трубчатой электропечи, имеющей реактор из кварцевой трубки диаметром 40 мм, высотой 400 мм. Вначале печь нагревалась до определенной температуры, которая поддерживалась с помощью реле, соединенным с термпарой вторичным прибором и регулятором напряжения в цепи нагревательных элементов печи. Затем навеску гранул в корзине, изготовленной из нихромовой проволоки, помещали вовнутрь печи, предварительно нагретой до заданной температуры. Снизу в печь вдували воздух, расход которого контролировали с помощью ротаметра.

При последовательном изучении влияния различных факторов методом Зейделя-Гаусса-Малышева [11] исследовано влияние температуры обжига (t , от 400 до 650°C), продолжительно-

сти (τ , от 20 до 120 мин), расхода воздуха, вдуваемого в зону реагирования (V , от 0 до 100 см³/с) (табл. 5). Точечные графики и аппроксимация частных зависимостей извлечения меди в раствор из огарка и перехода серы в газ представлены на рис. 1, 2.

Выщелачивание огарка проводили при Ж:Т=4:1, температуре 80°C и продолжительности опыта 120 мин с перемешиванием мешалкой в термостатированной ячейке в растворе серной кислоты с концентрацией 100 г/л.

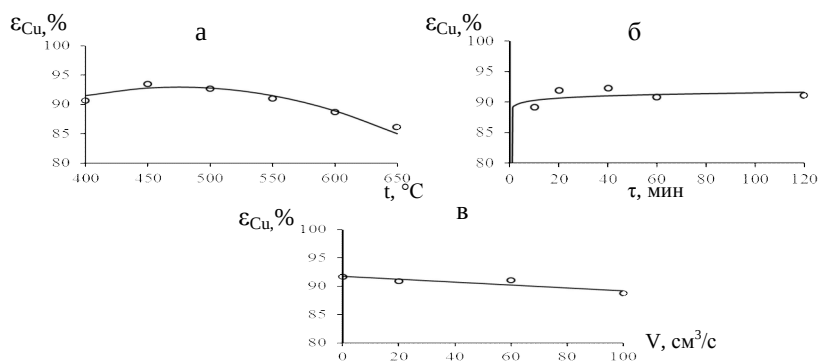


Рис. 1. Зависимость извлечения меди в раствор из огарка ϵ_{Cu} , % от заданных факторов: а – температура обжига t , °C;

б – продолжительность τ , мин;

в – расход вдуваемого воздуха V , см³/с;

точки – экспериментальные данные; линии – по уравнениям (табл. 6)

Таблица 5

Зависимость экспериментальных (ϵ_{Cu} , ϵ_s , %) и расчетных по обобщенному уравнению (р) значений извлечения меди в раствор и серы в газ (ϵ_{Cu} , ϵ_s , %) от температуры обжига, t , °C, продолжительности τ , мин, расхода вдуваемого воздуха, V , см³/с

Исследуемый фактор	β_{Cu} , в огарке, %	β_{Cu} , в кеке, %	ϵ_{Cu} , э, %	ϵ_{Cu} , р (б)	β_s , в огарке, %	ϵ_s , э, %
t , °C						
400	3,46	0,41	90,63	91,00	2,98	1,81
450	3,70	0,30	93,51	92,29	2,96	1,98
500	3,70	0,34	92,65	92,29	2,81	7,64
550	3,46	0,39	91,02	91,00	2,78	8,62
600	3,70	0,51	88,70	88,42	2,62	14,09
650	3,67	0,62	86,15	84,54	2,6	15,61
τ , мин						
10	3,76	0,47	89,12	90,06	2,84	6,88
20	3,74	0,38	91,66	90,42	2,79	8,20
40	3,76	0,37	92,23	90,79	2,82	7,17
60	3,46	0,39	91,02	91,00	2,78	8,62
120	3,75	0,43	91,03	91,37	2,77	9,04
V , см ³ /с						
0	3,72	0,39	91,67	92,55	2,74	9,85
20	3,76	0,43	90,90	92,03	2,75	9,52
60	3,46	0,39	91,02	91,00	2,78	8,62
100	3,72	0,52	88,76	89,97	2,74	10,16

Как видно из рис. 1, а, экстремальный ход зависимости извлечения меди от температуры объясняется замедлением скорости сульфатообразования после 450°C ввиду появления легкоплавких эвтектик, затрудняющих подвод кислорода к сульфидам, и образованием ферритов меди. Причем эти процессы сдвигаются в область более низких температур вследствие более развитой общей поверхности реагирования, за счет которой все физико-химические превращения ускоряются с высокой степенью сульфатизации меди порядка 90–92%.

О повышенной скорости процесса свидетельствует зависимость извлечения меди от продолжительности обжига с достижением насыщения этой зависимости уже к 20 мин в отличие от крупных гранул (где этот же показатель достигается за 60 мин).

Убывающая зависимость извлечения меди от расхода воздуха в данном случае объясняется большим его избытком против стехиометрически необходимого (10 см³/с), вследствие чего гранулы не столько окисляются, сколько охлаждаются подаваемым воздухом. При этом без принудительной подачи воздуха сульфатизация прошла за счет конвекции воздуха через верхнюю открытую часть в печи, что оказалось достаточным для практического завершения процесса.

В результате получены математические выражения, которые можно использовать для вывода математической модели процесса обжига (табл. 6).

Таблица 6

Частные функции извлечения меди в раствор с определением коэффициента корреляции R и его значимость t_R

Функция извлечения меди в раствор, %	R	Условие $t_R > 2$	Значимость
$\epsilon_{Cu} = 93 + \frac{89 - 93}{(600 - 475)^2} (t - 475)^2$	0,9432	17,08 > 2	Значима
$\epsilon_{Cu} = 89,121\tau^{0,0058}$	0,1874	1,61 < 2	Малозначима
$\epsilon_{Cu} = -0,0261V + 91,706$	0,7598	3,1130 > 2	Значима

Полученные уравнения для извлечения меди в раствор (см. табл. 6) с учетом значимых функций для описания совокупности действующих факторов обобщаются согласно [11] в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению в степени (n-1), где n – число частных функций. По центральному (ц) для всех функций условию: $t = 550^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин, $d = 3$ мм, $V = 60$ см³/с значение $\epsilon_{Cu, ц} = 91,0024\%$. Обобщенное уравнение для извлечения меди в рас-

твор выразится как

$$\varepsilon_{\text{Cu,p}} = 1,208 \cdot 10^{-4} (93 - 2,56 \cdot 10^{-4} (t - 475)^2) \times (89,121 \tau^{0,0058}) (91,706 - 0,0261V). \quad (6)$$

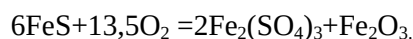
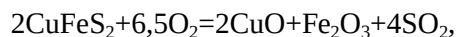
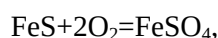
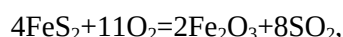
При сопоставлении результатов эксперимента и расчета нашли значения коэффициента нелинейной множественной корреляции для извлечения меди в раствор $R = 0,8453$, $t_R = 10,68 > 2$, что подтверждает адекватность описания данных эксперимента настоящим уравнением.

Сера при обжиге удаляется, в том числе за счет термической диссоциации и окисления минералов. Фактором, обеспечивающим низкое содержание серы в огарке, является высокая температура обжига, однако она ограничена спеканием материала и летучестью сульфида. Поэтому важно иметь представление о перераспределении серы в газовую фазу и огарок как с точки зрения получения зависимости извлечения целевых компонентов в товарные соединения, так и их потери с отходами в данном процессе.

В результате обжига пирита происходит реакция [12]



а также реакции с окислением серы, в частности пирита и халькопирита:



Как показывают экспериментальные данные, представленные в табл. 1 и на рис. 2, а, температура существенно влияет на ход процесса. Переход серы в газ находится в явной прямо пропорциональной зависимости от температуры обжига – с 1,8 до 14% при температуре от 400 до 650°C. Это обусловлено влиянием двух факторов – повышением упругости диссоциации образующихся сульфатов и проведением процесса в неравновесных

условиях с большим избытком воздуха и его скорости фильтрации через слой гранул. Возможно также, что этому способствует заметное содержание пиритных минералов, в которых второй атом серы, как известно, является нульвалентным и окисляется в первую очередь без образования сульфатов.

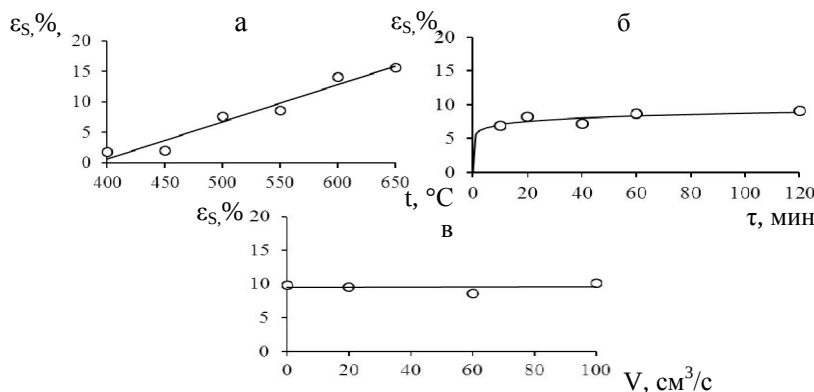


Рис. 2. Зависимость перехода серы в газ ε_s , % от заданных факторов: а – температура обжига t , °C; б – продолжительность τ , мин; в – расход вдуваемого воздуха V , cm^3/c ; точки – экспериментальные данные; линии – по уравнениям (табл. 7)

Зависимость извлечения серы в газ от продолжительности обжига (рис. 2, б) возрастает в интервале 0–40 мин и далее практически не меняется, что также связано с полнотой диссоциации пирита.

Скорость воздуха в выбранных интервалах ее варьирования не влияет на ход процесса (рис. 2, в), так как окисление протекает даже при малой концентрации кислорода в газовой фазе.

Судя по графическим зависимостям, в газовую фазу в оптимальных условиях переходит не более 20% серы пирита.

Полученные математические выражения также использовали для вывода математической модели процесса обжига (табл. 7).

Таблица 7

Частные зависимости для извлечения серы в газ с оценкой их адекватности

Функция извлечения серы в газ, %	R	Условие $t_R > 2$	Значимость
$\varepsilon_s = 0,0608t - 23,61$	0,96	$12,3 > 2$	Значима
$\varepsilon_s = 5,6589\tau^{0,0948}$	0,6978	$2,356 > 2$	Значима
$\varepsilon_s = 0,0012V + 9,4851$	0,0065	$0 < 2$	Незначима

Полученные уравнения для перехода серы в газ (см. табл. 7) с учетом значимых функций для описания совокупности действующих факторов

обобщаются аналогично описанному выше по центральному расчетному значению $\varepsilon_{S,ц} = 9,0863\%$:

$$\varepsilon_{S,p} = 0,1108(0,0608t - 23,61)(5,6589t^{0,0948}). \quad (7)$$

При сопоставлении результатов эксперимента и расчета нашли значения $R=0,9507$ и $t_R=29,65>2$, которые указывают на высокую адекватность математической модели после корреляции описания данных эксперимента настоящим уравнением.

Выводы

1. Проведен расчет допустимой высоты бункеров при загрузке и хранении гранул из черновых медных концентратов. Установлено, что оптимальный класс, +2–4 мм, выдерживает высоту слоя вплоть до 6 м, разрушаясь всего на 2% за счет гранул размером 4 мм. Что касается более крупных гранул, то они заметно разрушаются, начиная уже с высоты слоя 3 м, а при 6 м самые крупные практически не сохраняются.

2. Исследовано влияние различных факторов на процесс обжига малосернистого чернового медного флотоконцентрата в лабораторной шахтной печи. Установлено, что извлечение меди в условиях сульфатизирующего обжига можно достичь выше 95% при условиях: $t = 450\text{--}500^\circ\text{C}$, $\tau = 40\text{--}60$ мин. Выход кека при этих условиях составляет 75%.

3. Выявлен экстремальный ход зависимости извлечения меди от температуры, на основании чего проведение обжига при температуре выше 550°C нецелесообразно из-за диффузионных затруднений.

4. Извлечение меди от ее содержания носит убывающий характер ввиду существенного увеличения глинистой части породообразующих минералов, закрывающих доступ окислителя к сульфидам. Тем не менее извлечение меди выше 95% может быть достигнуто за счет увеличения

продолжительности процесса.

5. Контроль за переходом серы в газовую фазу позволил получить многофакторную модель этого процесса.

Список литературы

1. Металлургия меди, никеля и кобальта / Худяков И.Ф., Тихонов А.И., Деев В.И., Набойченко С.С. М.: Металлургия, 1977. Т.1.
2. Атбашян Е.М., Лейзерович Г.Я., Лонский И.С., Метелицына И.А. // Цветная металлургия. 1962. №8. С. 25.
3. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М. Обжиг сульфидно-цинкового концентрата с получением преимущественно сульфатного огарка для эффективного выщелачивания // Цветные металлы. 2006. №7. С. 16.
4. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М. Активированный сульфатизирующий обжиг халькопиритового концентрата для сернокислотного выщелачивания // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2010. №5. С. 11–13.
5. Изучение влияния сульфатизации серной кислотой чернового сульфидного концентрата для автогенности обжига / Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайрапапов Е.Т., Имангалиева А.Т. // Материалы Международной научно-практической конференции «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии». Абишевские чтения. 2011. С. 157–160.
6. Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайрапапов Е.Т. Изучение автогенности обжига некондиционного чернового медного концентрата воздухом, обогащенным кислородом // Материалы XI Междунар. науч.-практич. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности». СПб., 2011. Т.1. С. 170–172.
7. Оптимизация процесса обжига некондиционных медных сульфидных концентратов / Каримова Л.М., Жумашев К.Ж., Малышев В.П., Кайрапапов Е.Т. // КИМС. 2011. №2(275). С. 56–67.
8. Малышев В.П., Телешев К.Д., Нурмагамбетова А.М. Разрушаемость и сохранность конгломератов. Алматы: НИЦ «Фылым», 2003. 336 с.
9. Дукарский О.М., Закурдаев А.Г. Статистический анализ и обработка данных на ЭВМ «Минск-22». М.: Статистика, 1971. 179 с.
10. Сиськов В.И. Корреляционный анализ в экономических исследованиях. М.: Статистика, 1975. 168 с.
11. Малышев В.П. Математическое описание результатов многофакторного эксперимента, проведенного по методу Зейделя-Гаусса // Вестник АН Каз ССР. 1978. №4. С. 31–38.
12. Смирнов В.И., Тихонов А.И. Обжиг медных руд и концентратов. Свердловск: Металлургиздат, 1958. 280 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SULPHATIZING ROASTING OF A ROUGH COPPER SULFIDE CONCENTRATE FOR SULFURIC ACID LEACHING

Karimova Lyutsiya Monirovna – Ph.D. (Chemistry), Lead Researcher LLP Innovatsiya, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Abstract. To assess the integrity and impact resistance when loading, transporting and storing pellets of a rough copper concentrate, we calculated the allowable height of bins from the pelletizer to the shaft furnace.

Influence of various factors on roasting of the rough copper flotation concentrate was studied in the laboratory of the shaft furnace. We revealed extreme dependence between the temperature and copper extraction. Depending on the existing factors we obtained partial and generalized

functions of copper recovery into the solution and the transition of sulfur in gas.

Keywords: pellets, copper concentrate, bed height, roasting, factors, generalized equation.

References

1. Khudyakov I.F., Tikhonov A.I., Deev V.I., Naboychenko S.S. *Metallurgiya medi, nikelya i koba'ta* [Metallurgy of copper, nickel

- and cobalt]. Moscow: Metallurgy, 1977, vol.1.
2. Atbashyan E.M., Leizerovich G.Ya., Lonsky I.S., Metelitsyna I.A. *Tsvetnaya metallurgiya* [Non-ferrous metallurgy]. 1962, no. 8, pp. 25.
 3. Sargsyan L.E., Oganessian A.M. Roasting of a zinc sulfide concentrate producing mainly roasted sulfate products for efficient leaching. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2006, no. 7, pp. 16.
 4. Sargsyan L.E., Oganessian A.M. Activated sulphatizing roasting of a chalcopirite concentrate for sulfuric acid leaching. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [News of higher educational institutions. Non-ferrous metallurgy]. 2010, no. 5, pp. 11–13.
 5. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kairalapov E.T., Imangalieva A.T. Influence of sulphatization of a rough sulfide concentrate with sulphuric acid for autogenous roasting. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Geterogennye protsessy v obogashchenii i metallurgii» Abishevskie chteniya* [Proceedings of the International theoretical and practical conference on heterogeneous processes in dressing and metallurgy. Abishev's readings]. 2011, pp. 157–160.
 6. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kairalapov E.T. Autogenous roasting of an off-grade rough copper concentrate with oxygen-enriched air. 11th International theoretical and practical conference on fundamental and applied research, development and application of high technologies in the industry, city of Saint Petersburg, 2011, vol.1, pp. 170–172.
 7. Karimova L.M., Zhumashev K.Zh., Malyshev V.P., Kairalapov E.T. Optimization of roasting of off-grade copper sulfide concentrates. *KIMS*, 2011, no. 2(275), pp. 56–67.
 8. Malyshev V.P., Teleshev K.D., Nurmagambetova A.M. *Razrushaemost' i sokhrannost' konglomeratov* [Impact resistance and integrity of conglomerates]. Almaty: R&D center Gylm, 2003, 336 p.
 9. Dukarsky O.M., Zakurdaev A.G. *Statisticheskij analiz i obrabotka dannykh na EHM «Minsk-22»* [Statistical analysis and data processing on the Minsk-22 computer]. Moscow: Statistics, 1971, 179 p.
 10. Siskov V.I. *Korrelatsionnyj analiz v ehkonomicheskikh issledovaniyakh* [Correlation analysis in economic research]. Moscow: Statistics, 1975, 168 p.
 11. Malyshev V.P. A mathematical description of results of the multi-factor experiment by the Gauss-Seidel method. *Byulleten' Akademii nauk Kazakhskoj SSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh Soviet Socialist Republic]. 1978, no. 4, pp. 31–38.
 12. Smirnov V.I., Tikhonov A.I. *Obzhig mednykh rud i kontsentratov* [Roasting of copper ore and concentrates. Metallurgizdat]. Sverdlovsk, 1958, 280 p.

УДК 621. 926. 22

УЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКЕ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ФЕРРОМАТЕРИАЛОВ

Кузбаков Ж. И.

Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, г. Актюбе, Казахстан.

Аннотация. Причинами недостаточно эффективной работы щековых дробилок при измельчении высокопрочных материалов является недостаточный учет переходных процессов. Исследование переходных процессов производственных машин имеет большое практическое значение. В щековой дробилке переходные процессы зависят от скорости исполнительного механизма и времени его работы и угла поворота эксцентрикового вала.

В статье рассмотрено воздействие на систему электропривода дробильной машины нагрузок, изменяющихся во времени.

На основе решения системы дифференциальных уравнений движения полученные расчетные формулы позволяют провести исследования переходных процессов в системе электропривода, изменяющихся во времени. Исследования показали, что характер изменения нагрузок мало влияет на динамику переходных процессов. Расчеты показали, что на динамику переходных процессов значительное влияние оказывает интенсивность нарастания нагрузок.

Для снижения интенсивности нарастания нагрузок предложено изменить параметры дробильной камеры дробильной машины. На новую конструкцию дробильной машины получены патенты республик Казахстан и Украины.

Ключевые слова: интенсивность нарастания нагрузки, динамичность, переходной процесс, перепад скорости, момент двигателя, дробильная камера.

Введение

Исследование переходных режимов производственных машин имеет большое практическое значение [1].

Переходные процессы, в зависимости от динамических свойств системы, ее параметров, характера нагрузки, управляющих воздействий могут отличаться длительностью, максимальными нагрузками, потреблением и потерями энергии [2, 8].

Формирование оптимальных переходных процессов с показателями, удовлетворяющим требованиям технологического процесса, является одной из важнейших задач при разработке системы электропривода щековой дробилки. При дроблении высокопрочных материалов критериями оптимального переходного процесса в щековой дробилке могут быть минимальные энергетические потери, минимальные колебательные механические нагрузки [2, 3], минимальные динамические нагрузки, обеспечивающие долговременную надежную работу машины [5–9].

Теория и методы исследования

Одной из причин недостаточно эффективной работы щековых дробилок при использовании их для тяжелых режимов работы, например при дроблении ферроматериалов, является недостаточная изученность и учет переходных процессов [9, 10].

Характер переходных процессов и способы, снижающие их влияние, приведены в работе [4]. В щековой дробилке переходные процессы зависят от скорости, времени и угла поворота эксцентрикового вала. В настоящей работе рассмотрено воздействие на систему электропривода нагрузок, изменяющихся во времени, т. е.

$$M_c(t) = M_c^0 \left(1 - e^{-\frac{t}{A}} \right). \quad (1)$$

В этом случае движение электропривода описывается системой дифференциальных уравнений [2].

$$T_s \dot{M}_d + M_d + \beta \omega = M_0; \quad (2)$$

$$J_0 \dot{\omega} - M_d = -M_c(t). \quad (3)$$

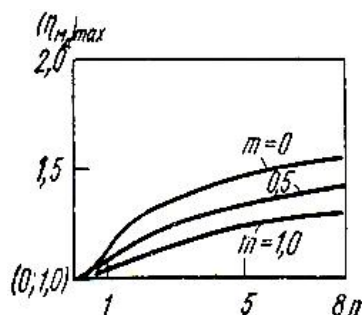


Рис. 1. Динамический перепад скорости ротора двигателя при нарастании нагрузки

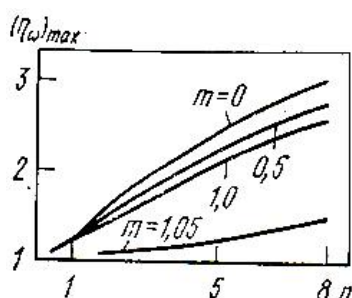


Рис. 2. Динамичность момента двигателя в переходном процессе при нарастании нагрузки

Тогда для случая (1) получаем следующие решения:

$$\omega(t) = \frac{1}{\beta} \left[\Delta M + \frac{M_c^0 (1-\delta) \exp(1-t/A)}{m\delta - m + 1} + \exp\left(-\frac{t}{2T_s}\right) \times \left[\omega(0) - \frac{\Delta M}{\beta} - \frac{M_c^0 (1-\delta)}{\beta(m\delta - m + 1)} \right] \cos \lambda_1 t + \frac{1}{\sqrt{4n-1}} \times \left[2T_s \dot{\omega}(0) + \omega(0) - \frac{\Delta M}{\beta} + \frac{M_c^0 (2-\delta)(1-\delta)}{\beta(m\delta - m + 1)} \right] \sin \lambda_1 t \right]; \quad (4)$$

$$M_d(t) = M_c^0 \left(1 + \frac{\exp(-t/A)}{m\delta - m + 1} \right) + \exp\left(-\frac{t}{2T_s}\right) \times \left[M_d(0) - M_c^0 \frac{m\delta - m - 2}{m\delta - m + 1} \right] \cos \lambda_1 t + \frac{1}{\sqrt{4n-1}} \times \left[2T_s \dot{M}_d(0) + M_d(0) - \frac{M_c^0 (1-\delta)(2-m)}{m\delta - m + 1} \right] \sin \lambda_1 t; \quad (5)$$

где

$$\Delta M = M_0 - M_c^0; \quad \lambda_1 = \frac{1}{2T_s} \sqrt{4n-1}; \quad T_s / A = \delta; \quad T_M / A = m;$$

$$T_s / T_M = n.$$

Начальные условия $\omega(0)$, $\dot{M}_d(0)$ соответствуют состоянию электропривода в момент времени $t = 0$, а $\dot{\omega}(0)$, $\dot{M}_d(0)$ находятся на основе заданных начальных условий $\dot{\omega}(0)$, $\dot{M}_d(0)$ и системы уравнений (2) и (3), описывающих динамику электропривода.

Для случая (4) решение, соответствующее интервалу $0 < t \leq T$, будет таим:

$$M_d(t) = M_c^0 \left(\frac{t}{T} - \tau_1 \right) + \exp\left(-\frac{t}{2T_s}\right) \times \left[M_d(0) + M_c^0 \tau_1 \right] \cos \lambda_1 t + \left[2T_s \dot{M}_d(0) + M_d(0) + M_c^0 (\tau_1 - 2\tau_2) \right] \times \left(\sqrt{4n-1} \right)^{-1} \sin \lambda_1 t; \quad (6)$$

$$\omega(t) = \frac{M_0 - \tau_2 M_c^0}{\beta} - \frac{M_c^0}{\beta} \left(\frac{1}{T} - \tau_1 \right) + \exp\left(-\frac{t}{2T_s}\right) \times \left[\omega(0) - \frac{M_0 - \tau_2 M_c^0}{\beta} - \frac{M_c^0}{\beta} \tau_1 \right] \cos \lambda_1 t + \left[2T_s \dot{\omega}(0) + \omega(0) - \frac{M_0 - \tau_2 M_c^0}{\beta} - \frac{M_c^0}{\beta} (1-2n) \tau_1 \right] \times \sqrt{(4n-1)^{-1}} \sin \lambda_1 t; \quad (7)$$

где $\tau_1 = T_M / T$, $\tau_2 = T_s / T$, $n = T_s / T_M$.

Для построения решения на интервале $t > T$ при помощи выражения (7) определяем численные значения для M_d , $\dot{M}_d$, ω в момент времени $t = T$, которые в дальнейшем обозначим $M_d(T)$, $\dot{M}_d(T)$, $\omega(T)$, $\dot{\omega}(T)$.

Значения для $\dot{M}_d(T)$, $\dot{\omega}(T)$ можно определить из следующих выражений:

$$\dot{M}_d(T) = \frac{M_c^0}{T} - \exp\left(-\frac{T}{2T_g}\right) \left\{ \frac{M_c^0}{2T_g} \left[\frac{\tau_1 - 2\tau_2}{(\sqrt{4n-1})\tau_1} + (\sqrt{4n-1})\tau_1 \right] \times \right. \\ \left. \times \sin \lambda_1 T + \frac{M_c^0 \tau_2}{T_g} \cos \lambda_1 T \right\}; \quad (8)$$

$$\dot{\omega}(T) = -\frac{M_c^0}{T_g} - \exp\left(-\frac{T}{2T_g}\right) \left\{ \frac{M_c^0 n (2\tau_2 - \tau_1)}{\beta T_g \sqrt{4n-1}} \sin \lambda_1 T - \frac{M_c^0}{\beta T_g} \cos \lambda_1 T \right\}. \quad (9)$$

После этого для $\omega(t)$ и $M_d(t)$ на интервале $t > T$ получаем

$$M_d(t) = \frac{1}{\lambda_1} \exp\left(\frac{T-t}{2T_g}\right) \times \\ \times \left\{ \left[(M_d(T)) - M_c^0 \right] \lambda_1 \cos \lambda_1 T - \frac{1}{2T_g} \sin \lambda_1 t \right) - \\ - \dot{M}_d(T) \sin \lambda_1 T \cos \lambda_1 t + \\ + \left[\dot{M}_d(T) \cos \lambda_1 T + (M_d(T)) - M_c^0 \right] \times \\ \times \left(\frac{1}{2T_g} \cos \lambda_1 T + \lambda_1 \sin \lambda_1 T \right) \right\} + M_c^0; \quad (10)$$

$$\omega(t) = \frac{1}{\lambda_1} \exp\left(\frac{T-t}{2T_g}\right) \left\{ \left[\left(\omega(T) - \frac{\Delta M}{\beta} \right) \times \right. \right. \\ \times \left(\lambda_1 \cos \lambda_1 T - \frac{1}{2T_g} \sin \lambda_1 T \right) - \\ - \dot{\omega}(T) \sin \lambda_1 T \left. \right] \cos \lambda_1 t + \\ + \left[\dot{\omega}(T) \cos \lambda_1 T + \left(\omega(T) - \frac{\Delta M}{\beta} \right) \times \right. \\ \times \left. \left(\frac{1}{2T_g} \cos \lambda_1 T + \lambda_1 \sin \lambda_1 T \right) \right] \sin \lambda_1 t \left. \right\} + \frac{\Delta M}{\beta}. \quad (11)$$

Приведенные выше расчетные формулы позволяют провести исследование переходных процессов в электродвигателе при действии на систему нагрузок, изменяющихся во времени.

Предположим, что на систему привода будет воздействовать нагрузка вида (1). Параметры,

характеризующие интенсивность нарастания технологической нагрузки: $A=0,01$ с, $T=0,05$ с, $b=400$ с⁻², $\omega_0=10\pi$ с⁻¹.

При заданных параметрах характер нарастания нагрузок определяется зависимостью, представленной на рис. 3. Параметры интенсивности A , T , b , ω_0 таковы, что при $t = 0,05$ с достигается устано-

вившееся значение $M_c^0 = 0,3$ МН·м.

Воспользуемся приведенными выше решениями и определим характер изменения момента двигателя (M_d) и скорости (ω) в переходном процессе. Приложение технологической нагрузки происходит в установившемся режиме холостого хода и начальные условия для системы уравнений (2) заданы так:

$$M_d(0) = 0, \quad \omega(0) = \omega_0 = 1,56 \text{ с}^{-1}.$$

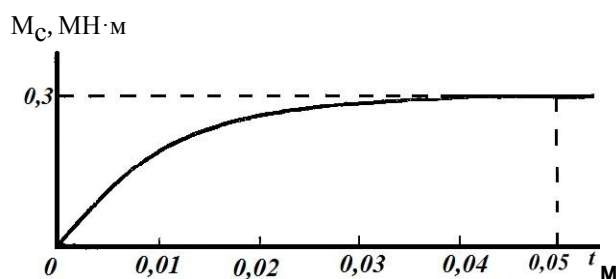


Рис. 3. Характер изменения технологической нагрузки

На рис. 4 и 5 приведен характер изменения M_d и ω в переходном процессе при нарастании нагрузки, из которого следует, что характер изменения ее во времени существенно не влияет на динамику переходных процессов. Расчеты показывают, что более существенное влияние на динамичность переходных процессов будет оказывать интенсивность нарастания нагрузок, определяемая значениями параметров A , T , b , ω , и безразмерный параметр n , характеризующий отношение электромагнитной постоянной времени двигателя к электромеханической постоянной времени привода.

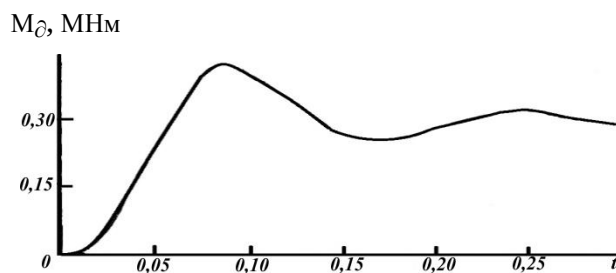


Рис. 4. Влияние характера нарастания нагрузки на изменение момента двигателя

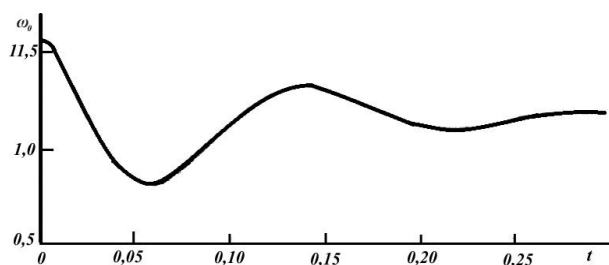


Рис. 5. Изменение скорости при нарастании нагрузки

На практике это означает, что интенсивность нарастания нагрузок в переходном процессе, зависящих от времени, проявляется по мере опускания материала из верхней зоны в нижнюю зону дробильной камеры, так как общая масса материала в нижней зоне гораздо больше, чем в верхней. Кроме того, в нижнюю часть дробильной камеры попадают более прочные куски материала. Все это значительно повышает нагрузку на нижнюю часть дробильной камеры, т. е. по всей высоте рабочего пространства дробилки нагрузка распределена неравномерно. Снизить нагрузку на нижнюю часть дробильной камеры и более равномерно распределить ее можно, изменив параметры самой дробильной камеры, т. е. конструкцию дробящих плит. Процесс дробления необходимо регулировать, это особенно важно при дроблении высокопрочных ферроматериалов.

На конструкцию щековой дробилки, учитывая, в том числе и вышеуказанный фактор, получены патенты Республики Казахстан и Украины [11, 12].

Список литературы

1. Иванченко Ф.К., Красношапка В.А. Динамика металлургических машин. М.: Металлургия, 1983. 295 с.
2. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов. М.: Металлургия, 1990. 352 с.
3. Голубенцев А.Н. Системы с наименьшим коэффициентом динамичности в переходном процессе // Динамика машин. М.: Машиностроение, 1966.
4. Кузбаков Ж.И. Выбор электродвигателя щековой дробилки с учетом переходных процессов при измельчении высокопрочных материалов // Материалы Междунар. науч.-практ. конференции «Научно-технический прогресс: техника, технологии и образование» (Актобе, 25–26 июня 2010). Актобе, 2010. С. 11–117.
5. Кузбаков Ж.И. Динамические нагрузки и колебания привода щековой дробилки при переходных процессах // Материалы Междунар. науч.-практ. конференции (Актобе, 22–23 апреля 2009 г.). Актобе, 2009. С. 211–217.
6. Косарев А.И., Овчаренко Н.В. Энергетические потери в щековых дробилках // Тр. ВНИИстройдормаша. 1977. № 77. С. 21–25.
7. Кузбаков Ж.И. Определение нагрузки в распорной плите щековой дробилки с учетом переходных процессов // Технология производства металлов и вторичных материалов. 2009. С. 251–258.
8. Кузбаков Ж.И. Анализ пуска электропривода щековой дробилки с учетом переходных процессов // Материалы XIV Междунар. науч. конференции. «Современные проблемы электрометаллургии стали». Челябинск, 2010. С. 234–240.
9. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе / Соколов М.М., Петров Л.П., Масандилов Л.Б., Ладензон В.А. М.: Энергия, 1967. 240 с.
10. Динамика крупных машин / Соколовский В.И., Казак С.А., Кирпичников Б.М., Составов М.И. М.: Машиностроение, 1969. 512 с.
11. Патент на полезную модель № 2010/071.2 Щековая дробилка / Кузбаков Ж.И., Франчук В.П., Федоскин В.А. Решение от 08.12. 2010. №12–3/4373.
12. Пат. 11 201002619 Украина. Щековая дробилка / Франчук В.П., Кузбаков Ж.И., Федоскин В.А. Решение от 14. 06. 2011. № 150096/3А/11.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FACTORING INTO TRANSIENT PROCESSES IN A JAW CRUSHER WHEN CRUSHING FERROMATERIALS

Kuzbakov Zhanabergen Imankulovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan. E-mail: agu_metallurgy@mail.ru

Abstract. When crushing high-strength materials, a low efficient operation of jaw crushers is attributed to failure to factor into transient processes to an adequate extent.

Research of transient processes of industrial machines is of a great practical value.

The transient processes in the jaw crusher depend on the speed of an actuating mechanism and its operation period and a turning angle of a supplementary shaft.

This article presents how time-varying loads influence the electric drive system of the jaw crusher.

By solving a system of differential equations of motion, we get design equations allowing a research of time-varying transient processes in the electric drive system.

The research showed that the behavior of loads slightly influenced the dynamics of transient processes. In addition, calculations showed that the dynamics of transient processes was considerably influenced by the speed of loading.

To decrease the speed of loading, it was suggested to change the parameters of a crushing chamber of the crushing machine. A new design of the crushing machine was patented in the republic of Kazakhstan and Ukraine.

Keywords: speed of loading, dynamics, transient process, velocity step, motor torque, crushing chamber.

References

1. Ivanchenko F.K., Krasnoschapka V.A. *Dinamika metallurgicheskikh mashin* [Dynamics of metallurgical machines]. Moscow: Metallurgy, 1983, 295 p.

2. Fotiev M.M. *Ehlektrivod i ehlektroobordovanie metallurgicheskikh tsekhov* [Electric drives and electrical equipment of metallurgical shops]. Moscow: Metallurgy, 1990, 352 p.
3. Golubentsev A.N. Systems with the smallest dynamic factor in the transition process. *Dinamika mashin* [Dynamics of machines]. Moscow: Mechanical engineering, 1966.
4. Kuzbakov Zh.I. Selection of a jaw crusher electric motor subject to transient processes when crushing high-strength materials. *Materialy Mezhdunarodnoj Nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchno-tehnicheskij progress: tekhnika, tekhnologii i obrazovanie»* [Proceedings of the International Research and Practice Conference "Scientific-technical progress: technical equipment, technologies and education"]. Aktoke, June 25-26, 2010, pp. 11-17.
5. Kuzbakov Zh.I. Dynamical loads and oscillation of a jaw crusher actuator during transient processes. Proceedings of the International Research and Practice Conference. Aktoke, April 22-23, 2009, pp. 211-217.
6. Kosarev A.I., Ovcharenko N.V. Energy loss in jaw crushers. *VNIIsroidormash*. 1977, no. 77, pp. 21-25.
7. Kuzbakov Zh.I. Determination of loads in a jaw crusher spacing plate subject to transient processes. *Tekhnologiya proizvodstva metallov i vtorichnykh materialov* [Production technology of metals and secondary materials]. Temirtau, 2009, pp. 251-258.
8. Kuzbakov Zh.I. Analysis of the start of a jaw crusher electric drive subject to transient processes. *Materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. Sovremennye problemy ehlektrometallurgii stali* [Proceedings of the 14th International Scientific Conference. Current problems of electric arc steelmaking]. Chelyabinsk, September 2010, pp. 234-240.
9. Sokolov M.M., Petrov L.P., Masandilov L.B., Ladenzon V.A. *Ehlektromagnitnye perekhodnye protsessy v asinkhronnom ehlektroprivode* [Electromagnetic transient processes in an asynchronous drive]. Moscow: Energiya, 1967, 240 p.
10. Sokolovskiy V.I., Kazak S.A., Kirpichnikov B.M., Sostavov M.I. *Dinamika krupnykh mashin* [Dynamics of large-scale machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1969, 512 p.
11. Kuzbakov Zh.I., Franchuk V.P., Fedoskin V.A. *Shhekovaya drobilka* [The jaw crusher]. Decision no. 12-3/4373 (08.12.2010) on issue of useful model patent no. 2010/071.2.
12. Franchuk V.P., Kuzbakov Zh.I., Fedoskin V.A. *Shhekovaya drobilka* [The jaw crusher]. Patent of Ukraine no. 11 201002619. Decision no. 150096/3A/11 (14.06.2011).

УДК 622.676-82

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С БЕЗРЕДУКТОРНЫМ ГИДРОПРИВОДОМ

Вагин В.С., Филатов А.М., Курочкин А.И.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье представлен способ искусственного демпфирования динамической системы передвижной проходческой подъемной установки, заключающийся в снижении динамических нагрузок в упругих элементах подъемной установки с безредукторным высокомоментным гидроприводом, основанный на введении пропорционального напорного клапана в гидросистему, обеспечивающего перетечку рабочей жидкости из напорной линии в сливную, в переходных процессах разгона и торможения, ограничивающий амплитуду перепада давления на гидромоторе за счет принудительной организации задаваемого давления в напорной гидролинии, реализующего гибкую обратную связь по динамическому давлению.

Ключевые слова: подъемная установка, безредукторный гидропривод, отрицательная гибкая обратная связь, пропорциональный напорный клапан, динамические нагрузки.

Введение

Увеличение энерговооруженности современных подъемных установок и интенсификации их работы приводит к возрастанию динамических нагрузок.

Современные передвижные проходческие подъемные установки (ПППУ) с безредукторным гидравлическим приводом работают в тяжелых режимах нагружения [1–2,11]. Вследствие большой концевой нагрузки на тяговый орган и малого момента инерции органа навивки и безредукторного высокомоментного привода в переходных режимах

разгона возникают в упругих элементах большие динамические нагрузки [3–4]. При разработке такого силового привода ПППУ особо остро встает проблема снижения динамических нагрузок не только в системе привода, но и в упругих элементах механической системы проходческого подъема [5].

Для улучшения динамических свойств приводов с большой инерционной нагрузкой необходимо увеличить демпфирующую способность следящего силового гидравлического привода, что конструктивными мерами не всегда удастся выполнить [6–7]. Наиболее эффективно это достигается с помощью корректирующих устройств, ко-

торые можно ввести в привод в виде электрогидравлических и гидромеханических обратных связей [8]. Используя демпфирующие свойства обратной связи, можно значительно снизить амплитуды динамических нагрузок в упругих элементах проходческого подъема [9]. Поэтому вопросы коррекции с помощью следящих гидравлических приводов имеют большое практическое значение.

В настоящее время интенсивное сращивание гидроприводов с электронными системами управления и оптимизация схемных решений открывает широкие перспективы решения проблемы снижения динамических нагрузок в подъемных установках, оснащенных гидравлическим приводом.

Основная часть

В следящих гидравлических приводах применяется целый ряд гидравлических корректирующих устройств. Это корректирующие обратные связи по скорости гидродвигателя, по расходу и производной от расхода, с помощью межполостных перетечек, по динамическому давлению в гидродвигателе и ряд других. Некоторые из способов описаны в технической литературе [9]. Однако не все из известных способов являются эффективными для безредукторного привода подъема с большой массой концевого груза, так как высокая колебательность груженого подъемного сосуда в переходных режимах разгона и торможения накладывает особые требования на выбор корректирующего устройства.

Одним из способов снижения динамических нагрузок в подъемной установке с безредукторным гидроприводом без существенного уменьшения статической точности является искусственное демпфирование привода путем создания небольших утечек между полостями гидродвигателя через управляемый дроссель [8].

Если принять линейную закономерность истечения в дросселе, расход утечек между полостями гидродвигателя определится по следующей зависимости:

$$Q = C(p_1 - p_2),$$

где C – коэффициент пропорциональности, определяемый размерами дросселирующего отверстия; $p_1 - p_2 = \Delta p$ – перепад давления на гидродвигателе.

В гидравлических следящих приводах, как и электрических следящих приводах, реализация обратных связей по ускорению затруднительна, так как во многих случаях трудно выделить сигнал ускорения объекта управления на фоне сигнала ускорения мобильного элемента машины. В таких случаях применяют косвенные методы получения информации по ускорению в виде пере-

пада давления в полостях гидравлических исполнительных устройств [8].

После начала движения перепад давлений на высокомоментном безредукторном гидроприводе передвижной проходческой подъемной установки определяется суммарной внешней нагрузкой. Его значение для подъемного гидромотора определится из уравнения

$$\Delta p = \frac{1}{k_M} \left(J \frac{d\varphi^2}{dt^2} + h_\varphi \frac{d\varphi}{dt} + c_{Bn}\varphi + M_H + M_{Tp} \right),$$

где k_M – коэффициент момента гидромотора; φ – угол поворота выходного вала гидромотора; J – полный приведенный к валу гидромотора момент инерции вращающихся и поступательно движущихся подвижных частей проходческой подъемной установки [10]; h_φ – коэффициент вязкого трения нагрузки к валу гидродвигателя; c_{Bn} – жесткость внешней нагрузки приведенной к валу гидродвигателя; M_H – момент концевой нагрузки от поднимаемого груза, приведенной к валу гидродвигателя; M_{Tp} – момент трения, действующий на выходной вал гидромотора.

Для снижения динамических нагрузок на упругие элементы проходческих подъемных установок следует использовать гидравлическое корректирующее устройство по перепаду давления в полостях безредукторного гидропривода проходческого подъема, реализующее отрицательную гибкую обратную связь.

Принципиальная гидравлическая схема, реализующая гибкую обратную связь, показана на рис. 1.

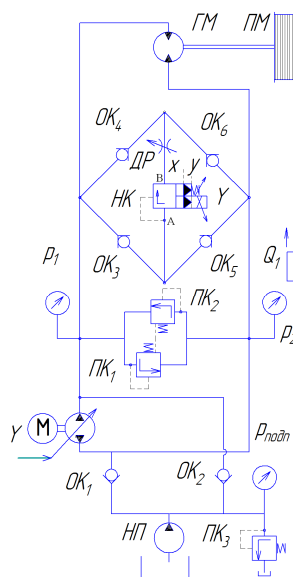


Рис. 1. Гидравлическая схема безредукторного гидропривода с пропорциональным напорным клапаном проходческой подъемной установки

Принцип работы представленной схемы следующий:

Пропорциональный напорный клапан НК (см. **рис. 1**) в данной гидравлической схеме обеспечивает управление давлением в напорной гидролинии безредукторного гидропривода подъемной установки с помощью электронного блока формирования входных сигналов 1 (**рис. 2**) и усилителя 2, обеспечивающих подачу необходимых величин токов на электромагнит 3 в режимах нормальной работы привода при значениях давления менее максимально допустимых. Блок формирования управляющих сигналов от датчика давления на **рис. 2** не показан.

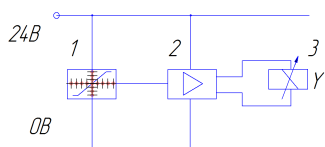


Рис. 2. Схема управления пропорциональным напорным клапаном

Одновременно этот же клапан работает в качестве предохранительного устройства от максимального давления и принимает на себя функцию по предохранению гидросистемы от перегрузки.

Для реализации функции среза высоких давлений в напорной гидролинии и осуществления гибкой обратной связи по динамическому давлению при работе гидродвигателя в динамических режимах задаются напряжения питания на электромагнит в форме уставок, соответствующих заданным значениям давления. Усилитель преобразует сигнал напряжения в сигнал по току, магнит Y открывает клапан таким образом, чтобы обеспечивалось заданное давление среза. При этом давление среза настраивается предварительным поджатием пружины пропорционального клапана НК.

Полное представление о характере существенных изменений динамических нагрузок на элементы подъемной установки и ее привода (см. **рис. 1**) при использовании гибкой обратной связи по динамическому давлению можно получить только на основании решения уравнений динамики, описывающих движение подъемной системы [3].

Результаты исследований

Характер изменения динамических нагрузок в процессе разгона передвижной проходческой подъемной установки для различных значений ограничения пиков перепада давления на гидромоторе показаны на **рис. 3–5**.

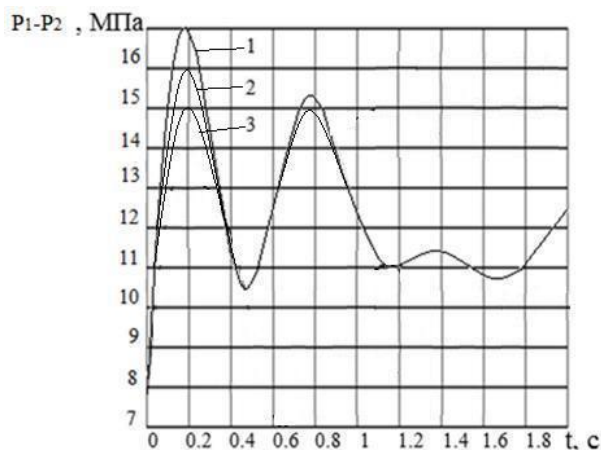


Рис. 3. Изменение перепада давления на гидромоторе для различных значений пиков давлений:
1 – 17 МПа; 2 – 16 МПа; 3 – 15 МПа

Анализ полученных зависимостей показывает, что уменьшение пиковых давлений в напорной гидролинии на 2 МПа приводит к снижению усилий в тяговом органе (канате) и момента нагрузки на гидромотор безредукторного гидропривода на 12,2%. Последнее означает, что если оставить динамичность подъемной системы неизменной, а пик динамического давления в гидросистеме снизить на 2 МПа с помощью пропорционального напорного клапана, то можно увеличить грузоподъемность проходческого подъема на 12,2%. Это позволит увеличить скорость проходки вертикальных стволов строящихся шахт и сократить сроки ввода в эксплуатацию новых шахт.

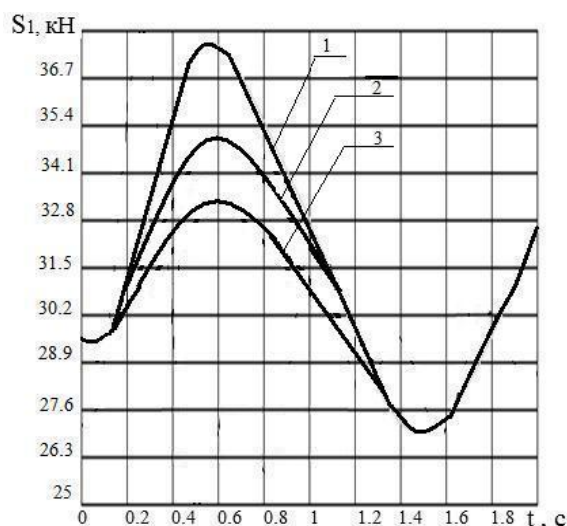


Рис. 4. Изменение натяжения тягового органа подъемной установки для различных значений пиков давлений: 1 – 17 МПа; 2 – 16 МПа; 3 – 15 МПа

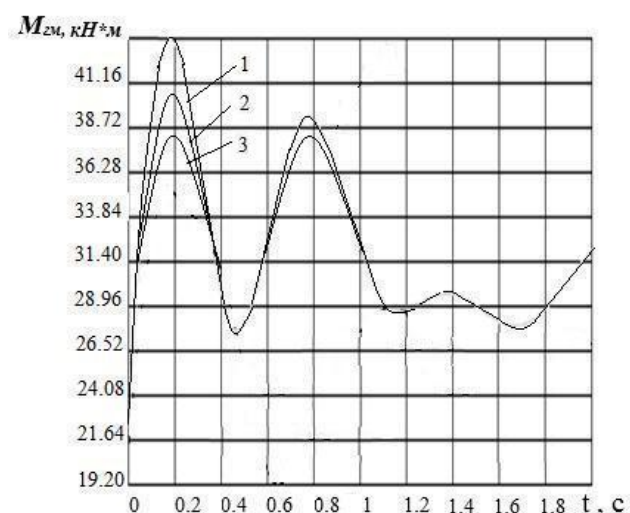


Рис. 5. Изменение момента гидромотора для различных значений пиков давлений: 1 – 17 МПа; 2 – 16 МПа; 3 – 15 МПа

Выводы

Применение гибких обратных связей по динамическому давлению в безредукторном гидроприводе проходческого подъема, основанный на введении пропорционального напорного клапана в гидросистему, обеспечивающего перетечку рабочей жидкости из напорной линии в сливную в переходных процессах разгона и торможения, ограничивающий амплитуду перепада давления на гидромоторе за счет принудительной организации задаваемого давления в напорной гидролинии, позволит снизить динамические нагрузки на упругие элементы подъемной установки, повысить их долговечность и надежность или же при неизменной динамичности подъемной системы увеличить в значительной степени ее производительность путем увеличения загрузки подъемных сосудов.

Список литературы

1. Кантович Л.И., Вагин В.С. Влияние системы привода на динамические нагрузки передвижных проходческих подъемных установок // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 6. С. 26–33.
2. Некоторые вопросы разработки шахтных подъемных машин нового поколения и проектирования на их основе комплексов подъемов / Попов Ю.В., Тимухин С.А., Сайпуллаев А.А., Касимов А.А., Некрасов Н.Ю. // Известия Уральского государственного горного университета. 2013. № 1 (29). С. 56–58.
3. Вагин В.С., Курочкин А.И. Динамика одноконцевого проходческого подъема // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 9. С. 232–238.
4. Вагин В.С. Сравнительный анализ динамики передвижных проходческих подъемных установок с асинхронным редукторным и безредукторным гидравлическим приводами // Перспективы развития горно-транспортного оборудования: П26 Сборник статей – 2012 г. Отдельный выпуск Горного информационного аналитического бюллетеня. С. 63–67.
5. Вагин В.С. Техничко-экономическая эффективность применения передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидравлическим приводом при проходке вертикальных стволов строящихся шахт // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 1. С. 10–12.
6. Вагин В.С. Безредукторный высокомоментный гидравлический привод передвижных проходческих подъемных установок: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 149 с.
7. Трифанов Г. Д. Повышение эффективности и безопасности эксплуатации шахтных подъемных установок // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 7. С. 49–51.
8. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. М.: Машиностроение. 1991. 384 с.
9. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. М.: Машиностроение, 1972. 373 с.
10. Борохович А.И., Вагин В.С. Уравнения динамики передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидроэлектромотором // Изв. вузов. Горный журнал. 1989. № 4. С. 92 – 96.
11. Ильин С. Р., Трифанов Г. Д., Воробель С. В. Комплексные экспериментальные исследования динамики скипов рудоподъемного ствола // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 5. С. 30–35.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

REDUCTION OF DYNAMIC LOADS IN MOBILE SINKING HOISTING PLANTS WITH A GEARLESS HYDRAULIC DRIVE

Vagin Vladimir Sergeyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 20.

Filatov Anatoly Mikhailovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 84 24. E-mail: filam50@mail.ru.

Kurochkin Anton Ivanovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 20. E-mail: antoshey@mail.ru.

Abstract. The article presents a method for artificial damping of the dynamic system of a mobile sinking hoisting plant, involving reduction of dynamic loads in elastic elements of the hoisting plant with a gearless, high-torque hydraulic drive, based on introduction of a proportional pressure valve in the hydraulic system, providing overflow of hydraulic fluid from the pressure line to the drain one in transient acceleration and deceleration limiting the amplitude of the differential pressure on the hydraulic motor by forced application of defined pressure in the pressure line, implementing a flexible dynamic pressure feedback.

Keywords: hoisting plant, gearless hydraulic drive, flexible negative feedback, proportional pressure valve, dynamic loads.

References

1. Kantovich L.I., Vagin V.S. Vliyaniye sistemy privoda na dinamicheskie nagruzki peredvizhnykh prokhodcheskikh pod'emnykh ustanovok. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika* [Mining Machinery and Electromechanics]. 2012, no. 6, pp. 26–33.
2. Popov Yu.V., Timukhin S.A., Saypullaev A.A., Kasimov A.A., Nekrasov N.Yu. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [Proceedings of the Ural State Mining University]. 2013, no. 1(29), pp. 56–58.
3. Vagin V.S., Kurochkin A.I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. 2012, no. 9, pp. 232–238.
4. Vagin V.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. 2012, fascicle, pp. 63–67.
5. Vagin V.S. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1, pp. 10–12.
6. Vagin V.S. *Bezreduktornyiy vyisokomomentnyiy gidravlicheskiy privod peredvizhnykh prokhodcheskikh pod'emnykh ustanovok* [High-torque direct drive hydraulic tunnel mobile lifting equipment]. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University, 2012, 149 p.
7. Trifanov G.D. Improving the efficiency and safety of operation of mine hoisting plants. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika* [Mining Machinery and Electromechanics]. 2009, no. 7, pp. 49–51.
8. Navrotsky K.L. *Teoriya i proektirovaniye gidro- i pnevmoprivodov* [Theory and design of hydraulic and pneumatic actuators]. Moscow: Engineering. 1991, 384 p.
9. Gamynin N.S. *Gidravlicheskiy privod sistem upravleniya* [Hydraulic drives for control systems]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1972, 373 p.
10. Borohovich A.I., Vagin V.S. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal]. 1989, no. 4, pp. 92–96.
11. Ilyin S.R., Trifanov G.D., Vorobel S.V. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika* [Mining Machinery and Electromechanics]. 2011, no. 5, pp. 30–35.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74

ПРОБЛЕМА СЕРЫ В ЛИТЕЙНЫХ СТАЛЯХ

Колокольников В.М.¹, Коток А.П.², Долбилов К.А.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² ЗАО «Механоремонтный комплекс» ОАО «ММК», Россия

Аннотация. Исследовано влияние серы на механические свойства литейных сталей, используемых для изготовления фасонных отливок. Показано, что содержание серы в сталях выше 0,023% приводит к резкому снижению их прочности, ударной вязкости, пластичности, что существенно уменьшает эксплуатационную стойкость отливок. Сделан вывод о необходимости внедрения новых технологий десульфурации сталей в литейном производстве.

Ключевые слова: литейная сталь, дуговая печь, сера, неметаллические включения, механические свойства.

Введение

Литейное производство в России является основной заготовительной базой машиностроительного комплекса, и его развитие зависит от темпов развития машиностроения в целом. В отличие от заготовок, полученных обработкой металлов давлением (проката, штамповки и поковок), в отливках все недостатки и особенности плавки и разлива наследуются и затем отражаются на свойствах готовых литых изделий.

Одной из главных проблем в литейных цехах остается использование старых нормативно-технических документов, в которых содержание вредных примесей в сталях не соответствует нынешним реалиям развития металлургии сталей. В современных ГОСТах большой металлургии максимальное содержание вредных примесей в сталях достигло тысячных долей процентов. Однако основная сложность заключается в том, что в литейных цехах выплавляются небольшие объемы сталей и кардинальное решение вопроса повышения качества за счет внедрения дорогостоящего оборудования, которые используются в большой металлургии (вакууматоры, агрегат печь-ковш и т.п.), практически невозможно. Использование таких агрегатов резко повышает стоимость получаемых отливок и приводит к длительным срокам окупаемости вложений.

Повышение эксплуатационных и механических свойств отливки возможно при условии успешного удаления из металла вредных примесей (кислорода, водорода, серы, фосфора, цветных металлов и т.п.). В значительной степени, качество литья определяется низким содержанием серы в готовом металле.

Согласно исследованиям [1, 2] сера неограниченно растворима в жидком железе и обладает очень малой растворимостью в твердом. Предельная растворимость серы в γ -железе при температуре 1365°C составляет от 0,04 до 0,05% и со снижением температуры уменьшается (при переходе $\delta \rightarrow \gamma$ – железо в интервале температур 1365–915°C). Переход $\gamma \rightarrow \alpha$ – железо приводит к скачкообразному образованию сульфидов, снижению концентрации серы в растворе железа до 0,01%, к дальнейшему снижению её при охлаждении. Избыточная сера в металле, свыше предела растворимости, приводит к такому явлению, как красноломкость (разрушение металла). Особенно сильно это наблюдается в литом состоянии (в виде рванин и трещин), так как включения сульфидов выделяются по границам первичных кристаллитов, что ведет к снижению прочности, пластичности, вязкости как самого металла, так и готовых изделий из него (отливок, слитков).

Материал и методика исследований

Исследования проводили на литейных сталях марки 35Л, 35ФЛ, 35ХМЛ, выплавленных в литейном цехе ЗАО «Механо-ремонтный комплекс» ОАО «ММК» в дуговой печи ДСП-6М с основной футеровкой по действующей технологии.

Свойства определяли в термически обработанном состоянии сталей по следующим режимам: Сталь 35ФЛ – нормализация (Н) 880–890°C, отпуск (О) 620–630°C; Сталь 35ХМЛ – Н. 860–880°C, О. 620–630°C; Сталь 35Л – Н. 860–880°C, О. 600–620°C.

В программе Excel был произведен статистический анализ плавок сталей на содержание серы

в металле по ходу плавки и в изложнице, а также анализ влияния серы на механические свойства стали.

Результаты исследований и их обсуждение

Из табл. 1 видно, что содержание серы как в период расплавления, так и после доводки стали и выпуска в изложницу незначительно для всех исследуемых сталей и ниже верхнего предела по ГОСТу [3].

Таблица 1

Результаты статистического анализа плавков стали в ДСП-6М

Марка стали	Количество плавков	Среднее содержание серы по расплавлению, %	Среднее содержание серы в готовой стали, %	Степень удаления серы, %	Среднее время доводки, мин	Скорость удаления серы во время доводки, %/мин *10 ⁻³
35Л	62	0,032	0,020	37,5	44,6	0,27
35ФЛ	54	0,030	0,020	33,3	43,2	0,23
35ХМЛ	42	0,029	0,021	27,5	45,3	0,18

На рис. 1 показано распределение исследованных марок сталей по содержанию серы в готовом металле.

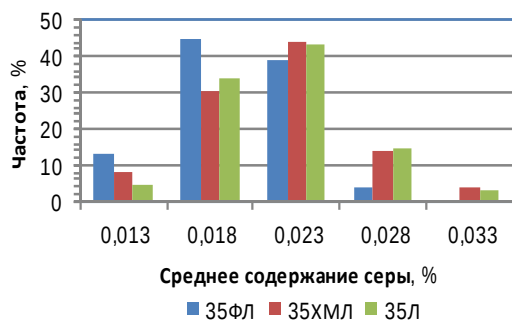


Рис. 1. Распределение плавков сталей по содержанию серы

При выплавке сталей 35Л, 35ХМЛ и 35Л в дуговой электропечи наиболее часто в период расплавления концентрация серы составляет от 0,021 до 0,030% по массе. Такие значения отмечены у более 60% всего количества плавков этих сталей. На долю близких к верхнему пределу ГОСТов содержаний серы 0,040–0,050% приходится около 6%, т.е. в 10 раз меньше, чем для вышеуказанных значений. Наибольший процент плавков (более 73,0%) имеет содержание серы в готовом металле в пределах 0,016–0,025% масс.

В табл. 2–3 приведены значения механических свойств вышеуказанных сталей при различном содержании в них серы.

Таблица 2

Ударная вязкость сталей при различном содержании серы*

Марка стали	КСУ, МДж/м ² , при содержании серы, %			
	0,013	0,023	0,033	0,043
35ФЛ	0,62	0,56	0,40	0,31
	0,38	0,31	0,21	0,12
35ХМЛ	0,59	0,48	0,31	0,28
	0,35	0,28	0,12	0,07
35Л	0,50	0,46	0,30	0,24
	0,22	0,17	0,08	0,02

* Числитель – при температуре испытания +20°C, знаменатель – при –60°C.

Таблица 3

Прочность и относительное удлинение сталей при различном содержании серы

Марка стали	σ_b , МПа, при содержании серы, %				δ , %, при содержании серы, %			
	0,013	0,023	0,033	0,043	0,013	0,023	0,033	0,043
35ФЛ	650	635	610	605	21	20	15	10
35ХМЛ	670	655	630	630	18	16	12	10
35Л	580	570	520	500	23	21	16	14

При этом было установлено, что резкое падение всех свойств сталей, особенно вязкости и пластичности, происходит при содержании серы более 0,023%. В частности, для большинства сталей при увеличении содержания серы с 0,013 до 0,043% ударная вязкость при нормальной температуре испытания падает почти в 2 раза, а при температуре –60°C – больше чем в 3 раза. Влияние серы на ударную вязкость при температуре +20°C показано на рис. 2.

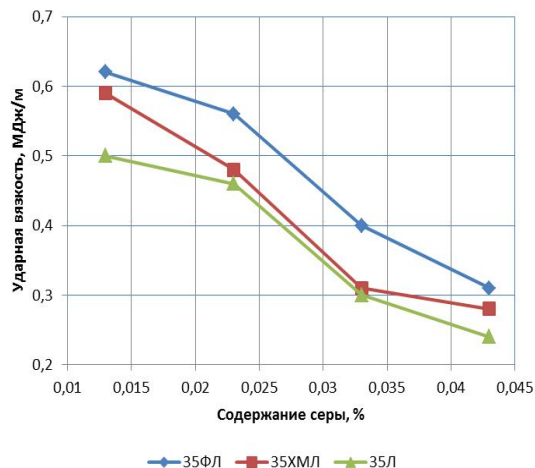


Рис. 2. Влияние содержания серы на ударную вязкость стали при температуре +20°C

Такое влияние обусловлено тем, что в металле по границам зерен первичных кристаллов образуются сульфидные и окисульфидные неметаллические включения, которые уменьшают их спайность и тем самым обеспечивают снижение

показателей пластичности и вязкости литого металла. Поэтому чем выше концентрация серы в металле, тем в большей степени он загрязнен неметаллическими включениями и тем ниже будут показатели ударной вязкости.

Заключение

Проведенный анализ указывает на необходимость и целесообразность разработки технологий модифицирования и рафинирования расплавов стали с целью получения стабильно низких концентраций серы для обеспечения высоких свойств отливок. Также необходимо внести изменения в стандарты на изготовление стальных отливок по

содержанию серы в сталях. Существующие стандарты допускают содержание серы до 0,05% при основном процессе плавки и до 0,06% – при кислом [2]. В то же время зарубежные стандарты, например ASTM, DIN и др., предусматривают содержание серы не более 0,03%.

Список литературы

1. Лунёв В.В., Аверин В.В. Сера и фосфор в стали. М.: Металлургия, 1988. 256 с.
2. Шульте Ю.А. Электрометаллургия стального литья. М.: Металлургия, 1970. 328 с.
3. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1989. 56 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PROBLEM WITH SULFUR IN CAST STEEL

Kolokoltsev Valery Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Rector of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Tel.: +7 (3519) 29 84 02. E-mail: kwm@magtu.ru.

Kotok Alexey Petrovich – Ph.D. (Eng.), Chief Engineer of CJSC Mechanical repair complex, OJSC MMK, Russia.

Dolbilov Kirill Alexandrovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Abstract. This article studies the effect of sulfur on the mechanical properties of cast steels used for shaped castings. It is shown that the sulfur content in steels above 0.023% leads to a sharp decrease in their strength, toughness, ductility, which significantly reduces the operational stability of castings. We made a conclusion about the need to introduce new steel desulfurization technologies in the steel foundry.

Keywords: cast steel, electric arc furnace, sulfur, nonmetallic inclusions, mechanical properties.

References

1. Lunev V.V., Averin V.V. *Sera i fosfor v stali* [Sulfur and phosphorus in steel]. Moscow: Metallurgy, 1988, 256 p.
2. Shulte Yu.A. *Ehlektrometallurgiya stal'nogo lit'ya* [Electrometallurgy of steel casting]. Moscow: Metallurgy, 1970, 328 p.
3. GOST 977-88. Steel castings. General specifications. Moscow: 1989, 56 p.

УДК 621.74.047

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УЗКИХ ГРАНЕЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛЯБА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫПУЧИВАНИЯ

Шевченко Е.А.¹, Столяров А.М.¹, Шаповалов А.Н.²

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Новотроицкого филиала НИТУ «МИСиС», Россия

Аннотация. Разработана методика определения рациональной длины поддерживающей системы из роликов, расположенной на раме кристаллизатора, узких граней непрерывнолитого сляба. В ней предлагается производить проверку соотношения между внутренним распирающим давлением жидкого металла и условным пределом текучести затвердевшего металла корочки заготовки.

Ключевые слова: непрерывнолитой сляб, узкие грани, выпучивание, методика, кристаллизатор, роликовая система, рациональная длина.

Введение

Известно [1–6], что искажение поперечного сечения слябовой непрерывнолитой заготовки, как правило, происходит вследствие образования выпуклости широких граней заготовки. Однако специалисты ОАО «Уральская Сталь» столкнулись с проблемой регулярного возникновения выпуклости узких граней слябов сечением 270×1200 мм, в то время как на заготовках с размерами поперечного сечения 190×1200 мм данный дефект отсутствовал.

Разливка стали производилась на одноручевой МНЛЗ фирмы «SMS Demag» криволинейного типа с вертикальным участком, имеющей базовый радиус 10,5 м и металлургическую длину 30,3 м. В начальный период эксплуатации сталь разливалась в кристаллизатор высотой 900 мм с поддерживающей системой на раме кристаллизатора из одного ряда роликов. При этом слябы толщиной 270 мм, вытягиваемые со скоростью 0,9 м/мин, имели выпуклость узких граней до 12 мм. Затем поддерживающая система узких граней сляба была увеличена до четырех роликов. Это позволило при той же скорости вытягивания слябов снизить выпуклость их узких граней примерно вдвое, но не устранило этот дефект профиля заготовки полностью. В ранее проведенных исследованиях [7–9] была установлена тесная взаимосвязь между выпуклостью узких граней слябов толщиной 270 мм и степенью развития как внутренних, так и поверхностных дефектов отлитой заготовки и произведенного из него толстого горячекатаного листа. Выпуклость узкой грани непрерывнолитого сляба образуется из-за недостаточной толщины корочки затвердевшего металла на выходе из поддерживающей системы кристаллизатора. Наиболее эффективным способом увеличения толщины корочки является снижение скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора. Однако применение такого способа на одноручевой МНЛЗ неизбежно ведет к снижению производительности как машины, так и всего цеха в целом и является неприемлемым решением проблемы. При условии сохранения существующей скорости вытягивания сляба из кристаллизатора для предотвращения образования выпуклости узких граней отливаемого сляба необходимо увеличить длину поддерживающей системы, расположенной на раме кристаллизатора [10–12]. С целью определения рациональной длины системы, поддерживающей узкие грани сляба, предложена следующая методика.

Материалы и методы исследования

Для предотвращения выпучивания затвердевшей корочки узкой грани непрерывнолитого сляба

под воздействием распирающего давления жидкого металла необходимо выполнение неравенства

$$P_{расп_i} < \sigma_{T_i}, \quad (1)$$

где $P_{расп_i}$ – распирающее давление жидкого металла на затвердевшую корочку в центре узкой грани сляба в i -й момент времени, МПа; σ_{T_i} – условный предел текучести металла затвердевшей корочки в i -й момент времени, МПа.

В зоне вторичного охлаждения под кристаллизатором затвердевшую корочку узкой грани сляба условно можно рассматривать как балку с жестко закрепленными концами, находящуюся под равномерно распределенной нагрузкой со стороны жидкого металла [6, 13]. В результате действия этой нагрузки в затвердевшей корочке возникают изгибающие моменты, которые стремятся участки корочки в середине узкой грани деформировать наружу, а угловые участки – внутрь, то есть привести к искажению профиля отливаемой заготовки. Тогда величину распирающего давления жидкого металла на затвердевшую корочку в центре узкой грани сляба можно определить из уравнения [14]

$$P_{расп_i} = \frac{6 M_{a_i}}{\xi_i^2 \cdot h_i}, \quad (2)$$

где M_{a_i} – изгибающий момент в центре узкой грани сляба в i -й момент времени, Н·м; ξ_i – толщина затвердевшей корочки сляба в i -й момент времени, м; h_i – высота столба жидкого металла в i -й момент времени, м.

Известно [14], что величина изгибающего момента для середины нагруженной балки рассчитывается по формуле

$$M_{a_i} = \frac{q_i \cdot a_i^2}{24}, \quad (3)$$

где q_i – удельная сила воздействия жидкого металла на корочку в i -й момент времени, Н/м; a_i – протяженность фронта кристаллизации в поперечном сечении по узкой грани сляба в i -й момент времени, м.

Величина удельной силы воздействия жидкого металла на затвердевшую корочку заготовки прямо пропорциональна ферростатическому давлению расплава согласно выражению

$$q_i = P_{\phi_i} \cdot h_i, \quad (4)$$

где P_{ϕ_i} – ферростатическое давление жидкого металла в i -й момент времени, H/M^2 .

Ферростатическое давление столба жидкого металла определяется по формуле

$$P_{\phi_i} = \frac{\rho_{ж} \cdot V_{ж_i} \cdot g}{S_i}, \quad (5)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкого металла, m/M^3 ; $V_{ж_i}$ – объем лунки жидкого металла в i -й момент времени, M^3 ; g – ускорение свободного падения, M/C^2 ; S_i – площадь поперечного сечения лунки жидкого металла в i -й момент времени, M^2 .

Схема воздействия распирающего давления жидкого металла на затвердевшую корочку узкой грани сляба под кристаллизатором показана на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что площадь поперечного сечения лунки жидкого металла в i -й момент времени может быть найдена из выражения

$$S_i = a_i \cdot b_i. \quad (6)$$

После подстановки формул (3)–(6) в уравнение (2) получается следующая зависимость:

$$P_{расп_i} = \frac{\rho_{ж} \cdot V_{ж_i} \cdot g \cdot a_i}{4b_i \cdot \xi_i^2}. \quad (7)$$

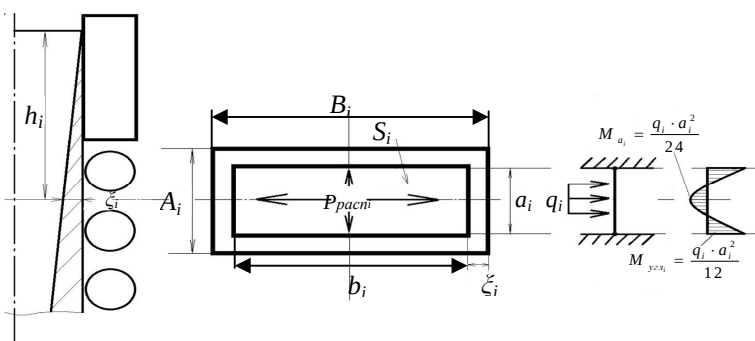


Рис. 1. Схема воздействия жидкого металла на затвердевшую корочку сляба

Верхняя часть лунки жидкого металла в слябе, отливаемом на МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком, может быть упрощенно представлена в виде перевернутой усеченной четырехгранной пирамиды (рис. 2).

Объем этой геометрической фигуры находится из уравнения [15]

$$V_{ж_i} = \frac{h_i}{6} [a_o \cdot b_o + (a_o + a_i) \times (b_o + b_i) + a_i \cdot b_i], \quad (8)$$

где a_o, b_o – размеры зеркала металла по узкой и широкой граням кристаллизатора соответственно, m ; a_i, b_i – размеры лунки жидкого металла в поперечном сечении в i -й момент времени, m .

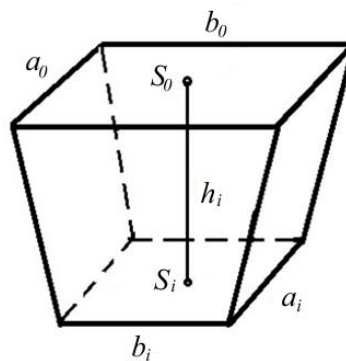


Рис. 2. Упрощенный вариант схемы верхней части лунки жидкого металла в слябе

Размеры зеркала металла в верхней части лунки жидкого металла необходимо определять с учетом величины недолива расплава и конусности стенок сборного кристаллизатора слябовой МНЛЗ.

Размеры лунки жидкого металла в ее поперечном сечении в требуемый момент времени следует рассчитывать по формулам:

$$a_i = A_i - 2\xi_i; \quad (9)$$

$$b_i = B_i - 2\xi_i, \quad (10)$$

где A_i, B_i – толщина и ширина отливаемого сляба в i -й момент времени с учетом термического конуса, m .

Толщина корочки затвердевшего металла в необходимый момент времени определяется из уравнения [16]

$$\xi_i = k_3 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{h_i}{w}}, \quad (11)$$

где k_3 – коэффициент затвердевания стали, $mm/min^{0,5}$; w – скорость вытягивания сляба из кристаллизатора, m/min .

Величина коэффициента затвердевания стали зависит от величины перегрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус.

По высоте лунки жидкого металла в слябовой заготовке величина перегрева различная. Можно

принять, что в слоях жидкого металла от зеркала в кристаллизаторе до выхода из него величина перегрева снижается линейно от максимальной величины, до нуля. В лунке жидкого металла ниже кристаллизатора перегрев металла отсутствует.

Для предотвращения выпучивания затвердевшей корочки узкой грани сляба согласно выражению (1) необходимо, чтобы величина распирающего давления жидкого металла не превышала прочности корочки. При учете возможности пластической деформации затвердевшей корочки (без образования трещин) в качестве критерия прочности следует использовать условный предел текучести разлитой стали. Величина этого параметра зависит как от химического состава металла, так и температуры затвердевшей корочки поверхностного слоя слябовой заготовки, которая должна определяться как средняя величина между температурой поверхности слябовой заготовки и температурой ликвидус разливаемой стали.

Поиск значений условного предела текучести металла различного химического состава может осуществляться по справочным данным из литературных источников. Однако эти данные редки и не всегда достоверны из-за трудностей с определением механических свойств металла в высокотемпературной области.

Результаты исследования и их обсуждение

Проверка условия выполнения неравенства (1), организованная в виде циклических вычислений через принятые равные промежутки времени с привязкой к длине отливаемого сляба, позволит определить расчетную точку на технологическом канале МНЛЗ, в которой прочность затвердевшей корочки узкой грани сляба начнет превышать распирающее давление жидкого металла. Это даст возможность найти протяженность участка от выхода из кристаллизатора до расчетной точки, на котором целесообразно осуществлять роликую поддержку узких граней заготовки для предотвращения их выпучивания.

Заключение

В работе предложена методика определения рациональной длины поддерживающей системы из роликов, расположенной на раме кристаллизатора, для предотвращения выпучивания узких граней непрерывнолитого сляба. Расчеты, проведенные по этой методике и выполненные в циклическом режиме через равные промежутки времени, позволят найти расстояние от выхода из кристаллизатора до той точки на технологическом канале МНЛЗ, в которой внутреннее распирающее давле-

ние жидкого металла окажется меньше прочности затвердевшей корочки, характеризуемой условным пределом текучести металла при высоких температурах. Ниже этой точки необходимость в поддержании узких граней сляба отсутствует.

Список литературы

1. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали. Донецк: ДонНТУ, 2011. 482 с.
2. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. 221 с.
3. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Буланов Л.В., Корзунин Л.Г., Парфенов Е.П., Юровский Н.А., Авдонин В.Ю. Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы «Марат», 2004. 320 с.
4. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Непрерывная разливка стали. Ч. I. Конструкция и оборудование МНЛЗ: учеб. пособие. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 154 с.
5. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Технология непрерывной разливки стали: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 78 с.
6. Столяров А.М., Юречко Д.В., Селиванов В.Н. Формирование переходного участка непрерывнолитого сляба из стали разных марок. Магнитогорск: МГТУ, 2006. 94 с.
7. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 27–30.
8. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение влияния выпуклости узких граней непрерывнолитых слябов на качество листового проката // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Вып. 12. С. 129–134.
9. Шевченко Е.А., Шаповалов А.Н. Проблемы получения качественной слябовой заготовки на МНЛЗ №2 ОАО «Уральская Сталь» // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2013. №1. С. 68–73.
10. Шаповалов А.Н., Шевченко Е.А., Столяров А.М. Рациональная длина поддерживающей системы узких граней непрерывнолитого сляба для условий ОАО «Уральская Сталь» // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С. 38–42.
11. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Искажение профиля непрерывнолитого сляба в условиях ОАО «Уральская Сталь» // Metallургические процессы и оборудование. 2014. №1(35). С. 13–18.
12. Изучение искажения поперечного сечения непрерывнолитого сляба / Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н., Баранчиков К.В. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. №1. С. 34–37.
13. Буланов Л.В., Константинов Г.В. Расчет напряженного состояния роликов МНЛЗ при пластических деформациях // Динамика и прочность металлургических машин: сб. науч. трудов. М.: ВНИИМЕТМАШ, 1984. С. 38–46.
14. Писаренко Г.С., Яковлев А.П. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наук. думка, 1988. 736 с.
15. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1981. 718 с.
16. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Технологические расчеты по непрерывной разливке стали: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. 67 с.

METHOD OF DETERMINING THE RATIONAL LENGTH OF SUPPORTING SYSTEMS FOR NARROW FACES OF CONTINUOUSLY CAST SLABS TO PREVENT BULGING

Shevchenko Evgeny Alexandrovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: nfmisis-nis@yandex.ru.

Stolyarov Alexander Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: sam52.52@mail.ru.

Shapovalov Aleksei Nikolaevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Novotroitsk branch of the National University of Science and Technology MISiS, Russia. E-mail: alshapo@yandex.ru.

Abstract. We developed the technique for determining the rational length of the supporting system of rollers located on the frame of the mold for narrow faces of continuously cast slabs. It is proposed to inspect the relation between the internal bursting pressure of the molten metal and the proof stress of a solidified workpiece shell.

Keywords: continuously cast slab, narrow face, bulging, technique, mold, roller system, rational length.

References

- Smirnov A.N., Kubersky S.V., Shtepan E.V. *Nepreryvnaya razlivka stali* [Continuous casting of steel]. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2011, 482 p.
- Parshin V.M., Bulanov L.V. *Nepreryvnaya razlivka stali* [Continuous casting of steel]. Lipetsk: OJSC NLMK, 2011, 221 p.
- Bulanov L.V., Korzunin L.G., Parfenov E.P., Yurovsky N.A., Avdonin V.Yu. *Mashiny nepreryvnogo litiya zagotovok. Teoriya i raschet* [Continuous casting machine. Theory and calculation]. Ekaterinburg: Ural Center for PR and Advertising Marat, 2004, 320 p.
- Stolyarov A.M., Selivanov V.N. *Stolyarov A.M., Selivanov V.N. Nepreryvnaya razlivka stali. Chast 1. Konstruktsiy i raschet MNLZ* [Continuous casting of steel. Part One. Construction and equipment of CCM, Textbook]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2007, 154 p.
- Stolyarov A.M., Selivanov V.N. *Tehnologiya nepreryvnoy razlivki* [Steel continuous casting process, Textbook]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009, 78 p.
- Stolyarov A.M., Yurechko D.V., Selivanov V.N. *Formirovanie perekhodnogo uchastka nepreryvnolitogo slyaba iz stali raznykh marok* [Formation of the transition region of continuously cast slabs of steel of different grades]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, 94 p.
- Shevchenko E.A., Stolyarov A.M., Shapovalov A.N. The study of the quality of the slab cast on the vertical curved caster. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, vol. 1(41), pp. 27-30.
- Shevchenko E.A., Stolyarov A.M., Shapovalov A.N. Study of the influence of crown narrow faces of continuously cast slabs on the quality of sheet metal. *Liteynyye protsessy: Mezhtsemyonnyy sbornik nauch. tr.* [Casting processes: interregional collected research papers]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013, no. 12, pp. 129-134.
- Shevchenko E.A., Shapovalov A.N. The problems of obtaining high-quality slabs on caster #2 of JSC Ural Steel. *Vestnik YuUrGU, Seriya: Metallurgiya* [Bulletin of the South Ural State University, Series: Metallurgy], 2013, no. 1, pp. 68-73.
- Shapovalov A.N., Shevchenko E.A., Stolyarov A.M. Rational length of the supporting system for narrow faces of continuously cast slabs for conditions of JSC Ural Steel. *Mashinostroyeniye: setevoy elektronnyy zhurnal* [Mechanical Engineering: Network electronic scientific journal]. 2013, no. 1, pp. 38-42.
- Shevchenko E.A., Stolyarov A.M., Shapovalov A.N. Distortion of the profile of continuously cast slabs at JSC Ural Steel. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2014, no. 1 (35), pp. 13-18.
- Shevchenko E.A., Stolyarov A.M., Shapovalov A.N., Baranchikov K.V. Study of the cross-sectional distortion of continuously cast slabs. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of the higher educational institutions. Ferrous metallurgy]. 2014, no. 1, pp. 34-37.
- Bulanov L.V., Konstantinov G.V. *Raschet napryazhennogo sostoyaniya rolikov MNLZ pri plasticheskikh deformatsiyakh* [Calculation of the stress state of caster rollers with plastic deformation]. *Dinamika i prochnost metallurgicheskikh mashin: sb. nauchnykh trudov* [Dynamics and strength of metallurgical machines: Collected scientific papers]. Moscow: VNIIMETMASH, 1984, pp. 38-46.
- Pisarenko G.S., Yakovlev A.P. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Reference book on structural resistance]. Kiev: Naukova dumka, 1988, 736 p.
- Bronshtein I.N., Semendyaev K.A. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vuzov* [Handbook of mathematics for engineers and university students]. Moscow: Nauka, 1981, 718 p.
- Stolyarov A.M., Selivanov V.N. *Tekhnologicheskie raschety po nepreryvnoy razlivke stali* [Concasting process calculations: Textbook]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, 67 p.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771.016.2: 001.891.57

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОГО ЛИСТА С УНИКАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ

Салганик В.М., Денисов С.В., Полецков П.П., Стеканов П.А., Бережная Г.А., Алексеев Д.Ю.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Рассмотрен процесс моделирования технологических процессов обработки металлов давлением на примере двух наиболее распространенных видов моделирования: математическое и физическое. Представлен инновационный лабораторный комплекс «Термодеформ-МГТУ», предназначенный для фрагментарного физического моделирования технологических процессов производства горячекатаного листа, позволяющий при минимальных затратах осуществлять исследования по проектированию и совершенствованию технологических режимов толстолистовой прокатки с целью получения листа с уникальным комплексом физико-механических свойств. Приведены характеристики основного оборудования данного комплекса, а также последовательность технологических операций.

Ключевые слова: горячая прокатка, толстый лист, моделирование, лабораторный комплекс, физическое моделирование, горячекатаный лист.

Введение

Моделирование в настоящее время стало неотъемлемой частью любой научно-исследовательской работы. Оно позволяет с относительно небольшими затратами труда и времени описать сложный процесс, оценить влияние внешних факторов и выявить среди них наиболее значимые. Особенно широко моделирование используют при изучении сложных многофакторных процессов, таких как обработка металлов давлением.

Основная часть

Модель – это некий новый объект, который отражает существенные особенности изучаемого объекта, явления или процесса.

Существует множество различных способов моделирования:

- математическое;
- цифровое;
- структурное;
- физическое;
- имитационное.

Более широкое распространение получили два способа моделирования – математическое и физическое. При построении модели какого-либо процесса главной задачей является обеспе-

чение ее адекватности, под которой понимается степень соответствия расчетных данных результатам натурных экспериментов, т.е. точность получаемой модели.

Математическое моделирование является наиболее распространенным видом исследования технологических процессов. Это связано с доступностью данного способа, так как компьютер, необходимый для него, в настоящее время есть практически у каждого человека.

Математическое моделирование – это набор всевозможных теоретических средств (формул, уравнений, таблиц, диаграмм и др.), которые описывают интересующий процесс целиком. Однако такой вид моделирования не дает полностью достоверных данных из-за невозможности учесть влияние всех внешних факторов, воздействующих на процесс. И поэтому обеспечить полную адекватность модели невозможно.

Другим способом, расширяющим наши возможности и позволяющим повысить адекватность получаемой модели, является физическое моделирование. Сущность его заключается в физическом воспроизведении исследуемого процесса фрагментарно или целиком, комплексно. Однако физическое моделирование требует создания специальных экспериментальных установок, требующих многомиллионных затрат. Не случайно в нашей стране отсутствуют достаточ-

но подробные физические модели прокатных станов, хотя в мире (Германия, Япония, США) таких моделей немало.

Одним из таких случаев фрагментарного физического моделирования является лабораторный комплекс «Термодеформ-МГТУ» (рис. 1).



Рис.1. Общая структура лаборатории «Термодеформ-МГТУ»

Основной его задачей является разработка и анализ новых технологических решений в области производства металлопродукции с уникальным сочетанием физико-механических свойств.

В составе оборудования данного комплекса имеются:

1. Сталеплавильная индукционная печь с двумя плавильными узлами (рис. 2).
2. Камерная печь с температурой нагрева до 1250°C (рис. 3).
3. Гидравлический пресс для предварительной обработки заготовок усилием 250 т (рис. 4).
4. Реверсивный стан 500 «ДУО», совмещенный с установкой контролируемого охлаждения (рис. 5).

Указанное оборудование позволяет моделировать основные технологические операции толстолистовой прокатки:

- выплавку стали заданного химического состава с последующим получением заготовки массой до 30 кг;
- нагрев полученной заготовки в камерной печи;
- осадку заготовки на определенную толщину на гидравлическом прессе (моделирование черновой стадии прокатки);
- прокатку на реверсивном стане до достижения конечной толщины (чистовая стадия прокатки);
- ускоренное охлаждение раската по заданному режиму (ламинарное охлаждение со скоростью до 80°C/с);
- изготовление образцов для последующих механических испытаний и анализа их результатов.



Рис. 2. Сталеплавильная индукционная печь



Рис. 3. Камерная нагревательная печь



Рис. 4. Гидравлический пресс



Рис. 5. Реверсивный прокатный стан, совмещенный с установкой контролируемого охлаждения

Данным комплексом была успешно выполнена научно-исследовательская работа по увеличению доли вязкой составляющей ИПГ проката

путем реализации двухстадийной контролируемой деформации. Проведена работа по определению оптимального химического состава стали марки типа S700, применяемой для изготовления деталей грузовых автомобилей.

Заключение

Лабораторный комплекс «Термодеформ-МГТУ» дает новые разнообразные возможности по исследованию, проектированию и совершенствованию технологических режимов толстолистовой прокатки, начиная от варьирования химического состава выплавляемой стали и заканчивая сложным комплексом механических свойств готовой продукции. Он позволяет быстрее искать, проверять и совершенствовать технологические режимы работы.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PHYSICAL MODELING OF PRODUCTION PROCESSES OF HOT-ROLLED PLATES WITH A UNIQUE SET OF PROPERTIES

Salganik Victor Matveevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Metal Forming Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 25. E-mail: chikishev_denis@mail.ru.

Denisov Sergey Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 25. E-mail: DenisovSerVl@yandex.ru.

Poletskov Pavel Petrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Stekanov Pavel Aleksandrovich – Graduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 25. E-mail: stekgroup@mail.ru.

Berezhnaya Galina Andreevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 25. E-mail: galina_1609@mail.ru.

Alekseev Daniil Yurievich – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: Danon369@gmail.com.

Abstract. This article describes the modeling of technological processes of metal forming by the example of two most widespread types of modeling: mathematical and physical. It presents an innovative laboratory complex "Termodeform-MGTU" intended for a fragmented physical modeling of hot-rolled plate production processes allowing us to carry out research (at

a minimum cost) on the design and improvement of technological modes of heavy plate rolling to obtain a plate with a unique set of physical and mechanical properties. Characteristics of the basic equipment of the complex, as well as the processing sequence, are given.

Keywords: hot rolling, heavy plate, modeling, laboratory complex, physical modeling, hot-rolled plate.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 669.715

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И НАНЕСЕНИЯ ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ДИСКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЕС ИЗ СПЛАВА АК7ПЧ

Богданова Т.А.¹, Довженко Н.Н.², Меркулова Г.А.², Гильманшина Т.Р.², Латыпов Ф.Р.³¹ ООО «КиК», г. Красноярск, Россия² Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия³ Уфимский государственный авиационный технический университет, Башкортостан

Аннотация. Изучено влияние режимов закалки, искусственного старения и нанесения декоративно-защитного покрытия на механические свойства и структуру дисков автомобильных колес из сплава АК7пч. Установлено, что формирование мелкодисперсной структуры при литье под низким давлением гарантирует более высокие механические свойства (временное сопротивление разрыву и относительное удлинение) колес после их термообработки.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, литье под низким давлением, термическая обработка, декоративно-защитное покрытие, механические свойства, микроструктура.

Введение

Автомобильные колеса при эксплуатации находятся в экстремальных условиях и подвергаются высоким механическим нагрузкам: при торможении возможен разогрев диска до 180°C; в зимнее время на колеса воздействуют реагенты для обработки дорожного покрытия. Для снижения влияния внешних факторов и получения привлекательного вида на автомобильные колеса наносят декоративно-защитные полимерные покрытия (покраску), которые должны обладать стойкостью к механическим воздействиям и агрессивной среде, повышенной адгезией, обеспечивать высокую антикоррозионную устойчивость. Использование покрытий позволяет продлить срок службы колес, улучшить их внешний вид, повысить объем продаж.

Известно, что эксплуатационные свойства изделий связаны с уровнем механических характеристик материала в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50511. Поэтому контроль чистоты расплава проводят на этапе его приготовления методом индекса плотности [1], а качества термической обработки – на готовых отливках. В случае отклонений устранение брака на данном технологическом этапе возможно без больших затрат.

Методы исследования

Целью данной работы, выполненной специа-

листами* предприятия ООО «КиК» совместно с ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, является исследование связи механических свойств колес из сплава АК7пч, относящегося к системе Al-Si-Mg и являющегося термоупрочняемым, с параметрами структуры, полученной после литья под низким давлением и термической обработки.

Для изучения взаимосвязи механических свойств и структурных факторов образцы отбирали из разных зон колеса: обода, спица и ступицы.

Исследование структуры показало отличие в значениях дендритного параметра, обусловленное условиями кристаллизации различных зон колеса, зависящими от скорости охлаждения зоны (рис. 1). В зоне обода зафиксирован дендритный параметр, равный 20±5 мкм; 40±5 мкм соответствует зоне спицы и 60±5 мкм – зоне ступицы. Полученные значения дендритного параметра можно объяснить следующим образом. Сечение обода является наиболее тонкой частью отливки (размер сечения до 10 мм), которая заполняется расплавом и кристаллизуется в первую очередь. Размер сечения зоны спицы составляет ~50 мм. Зона ступицы (размер сечения до 100 мм), в свою очередь, заполняется и кристаллизуется последней.

* Термическая обработка выполнена при участии инженера ООО «КиК» М.В. Кырмаковой.

Исследовали влияние режимов термообработки (Т6) на механические свойства различных зон колес (рис. 2, 3): время выдержки перед закалкой с 538°C составляло 6 и 8 ч; температура искусственного старения равна 150, 160 и 170°C, выдержка в течение 3- и 4-х ч. Установлено, что с

увеличением температуры старения повышаются прочностные свойства и наблюдается снижение пластичности. При этом «отзывчивость» на режимы термической обработки зоны обода выше, чем в зоне ступицы. Это связано с различной дисперсностью структуры каждой зоны колеса.

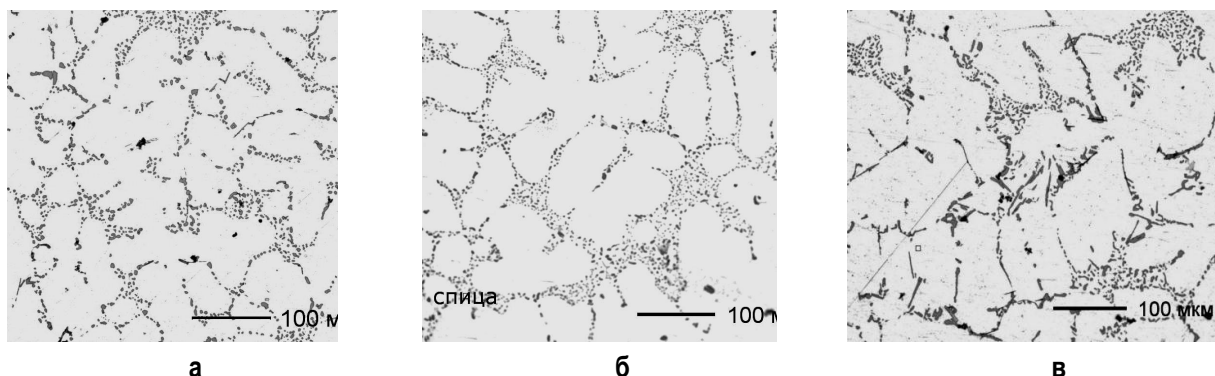


Рис. 1. Микроструктура диска автомобильного колеса из сплава АК7пч в зоне обода (а), спицы (б) и ступицы (в), $\times 500$

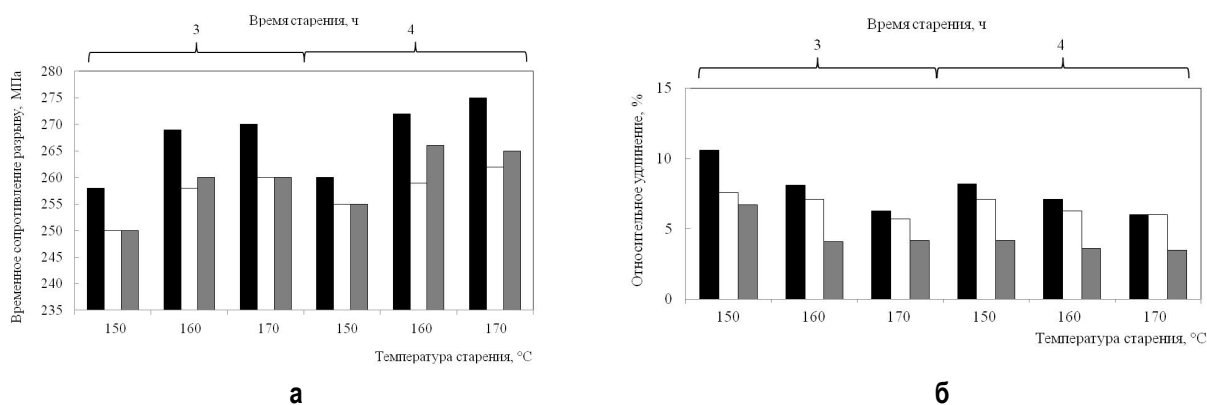


Рис. 2. Зависимость временного сопротивления разрыву (а) и относительного удлинения (б) образцов колес от режимов термообработки. Режим закалки: 538°C / 8 ч. Зоны колеса: ■ – обод; □ – спица; ▒ – ступица

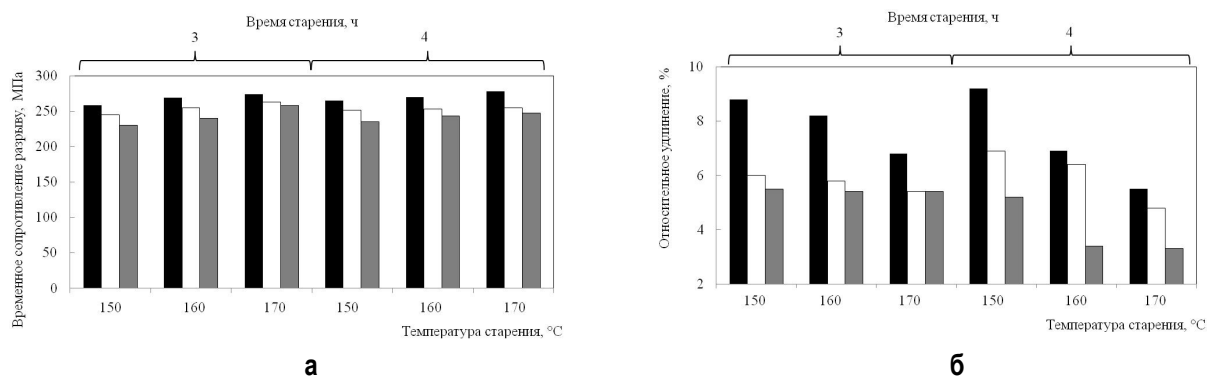


Рис. 3. Зависимость временного сопротивления разрыву (а) и относительного удлинения (б) образцов колес от режимов термообработки. Режим закалки: 538°C / 6 ч. Зоны колеса: ■ – обод; □ – спица; ▒ – ступица

Одной из наиболее ресурсозатратных операций производства литых колес является операция покраски. Контроль качества на этом этапе исключает возможность передела и значительно увеличивает затраты производства. Процесс покраски состоит из этапов последовательного нанесения и сушки грунта, краски и лака. Суммарное время нахождения колес на линии покраски составляет около 1 ч, максимальная температура в печи достигает 190°C, что можно считать второй ступенью искусственного старения для сплава АК7пч [2–4], в связи с чем при проектировании колес и технологии их изготовления необходимо учитывать возможные изменения свойств на этом технологическом переделе.

В ходе проведения испытаний было установлено, что термическое воздействие в процессе нанесения и сушки покрытия приводит к повышению прочности и снижению пластичности колес.

Учитывая объемы производства и 100% уровень контроля термообработки отливок колес, требовалось разработать практические рекомендации по изменению доли механических свойств после термического воздействия в процессе нанесения и сушки покрытия (см. таблицу).

Доля изменения механических свойств колес из сплава АК7пч (%) после термического воздействия при нанесении декоративно-защитного покрытия при 190°C

Режим термообработки							
Выдержка (ч) перед закалкой в воду с 538°C	Температура, °C	Старение					
		Время, ч					
		3			4		
		зона колеса					
		обод	спица	ступица	обод	спица	ступица
6	150	$\frac{3}{-23}$	$\frac{5}{-28}$	$\frac{10}{-31}$	$\frac{2}{-30}$	$\frac{3}{-25}$	$\frac{7}{-25}$
	160	$\frac{1}{-13}$	$\frac{4}{-22}$	$\frac{4}{-26}$	$\frac{1}{-15}$	$\frac{1}{-20}$	$\frac{3}{-18}$
	170	$\frac{0}{-6}$	$\frac{-3}{-20}$	$\frac{-3}{-21}$	$\frac{-1}{-12}$	$\frac{-2}{-17}$	$\frac{1}{-16}$
8	150	$\frac{4}{-36}$	$\frac{2}{-24}$	$\frac{2}{-30}$	$\frac{5}{-30}$	$\frac{2}{-18}$	$\frac{-3}{-25}$
	160	$\frac{-2}{-14}$	$\frac{-1}{-15}$	$\frac{-4}{-20}$	$\frac{-5}{-27}$	$\frac{-2}{-14}$	$\frac{-8}{-22}$
	170	$\frac{-2}{10}$	$\frac{-1}{-12}$	$\frac{0}{-15}$	$\frac{-1}{15}$	$\frac{-6}{-10}$	$\frac{-13}{-10}$

Примечание. «+» – изменение свойств в сторону увеличения, «-» – в сторону понижения. В числителе даны значения по изменению временного сопротивления разрыву (σ_b), в знаменателе – по изменению относительного удлинения (δ).

Анализируя данные, представленные в таблице, можно прогнозировать получение механических свойств после комплексной термообработки (закалка + старение + покраска). Установлено, что термическое воздействие при покраске оказывает

наиболее существенное влияние на пластичность. Доля изменения временного сопротивления разрыву составляет от 1 до 10%, а доля изменений относительного удлинения – от 10 до 30%.

Использование режима закалки 538°C/8 ч привело к повышению пластических характеристик колес, связанному с более эффективным процессом растворения кремния в эвтектике. Применение четырехчасовой выдержки при искусственном старении после закалки показало, что повышение температуры старения до 170 °C приводит к увеличению σ_b в зоне ступицы и спицы, а в зоне обода к понижению. Для мелкодисперсной структуры обода старение при 170°C + термическое воздействие при покраске привели к увеличению относительного удлинения на 10–15%, что характерно для процесса перестаривания сплава и режима термообработки Т7. Полученные результаты можно объяснить различием в скорости прохождения диффузионных процессов в различных зонах колеса. Можно предположить, что увеличение пластичности связано также с уменьшением концентрации дефектов кристаллической решетки. Это подтверждается ранее проведенными экспериментами [2]. Применение режима 538°C/8 ч + 170°C в результате комплексной термообработки (с термическим воздействием при нанесении покрытия) приводит к разупрочнению колеса в зоне обода и повышению анизотропии свойств (см. таблицу).

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что при разработке технологии изготовления колес необходимо учитывать влияние структуры на механические свойства. Установлено, что уровень механических свойств в значительной степени зависит от размера дендритного параметра. В зоне обода уровень прочностных свойств в среднем на 10%, а пластичность – на 20% выше, чем в зоне спицы и ступицы. «Отзывчивость» на термическую обработку в зоне спицы и ступицы повышается только с увеличением времени выдержки перед закалкой до 8 ч и требует увеличения затрат на более длительный режим термообработки. Для разработки энерго-сберегающих технологий термообработки следует особое внимание уделить режимам литья, обеспечивающим получение наиболее мелкодисперсной структуры во всех зонах колеса. Формирование такой структуры позволит снизить общее время термообработки и прямые производственные затраты. Влияние режимов термического воздействия при покраске на свойства готовых колес снижается при увеличении температуры искусственного старения до 170°C.

Список литературы

1. Перспективный метод экспресс-контроля Al-сплавов / Богданова Т.А., Мельников С.В., Довженко Н.Н., Падалка В.А., Орелкина Т.А., Гильманшина Т.Р. // *Металлургия машиностроения*. 2014. № 2. С. 12–15.
2. Аристов Н.А., Колобнев И.Ф. *Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов*. М.: Металлургия, 1977. 144 с.
3. Влияние температуры нагрева при покраске на структуру и свойства дисков автомобильных колес из сплава АК12 / Богданова Т.А., Меркулова Г.А., Дубинин П.С., Бурилова Т.В. // *Цветные металлы* 2013: сб. докладов пятого междунар. конгресса (Красноярск, 4–6 сент. 2013 г.). Красноярск, 2013. С. 535–539.
4. *Алюминий: свойства и физическое металловедение: справ. изд.: пер. с англ. / под ред. Хэтча Дж. Е. М.: Металлургия, 1989. 422 с.*

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT MODES AND APPLICATION OF A DECORATIVE PROTECTIVE COATING ON MECHANICAL PROPERTIES AND THE STRUCTURE OF AUTOMOBILE WHEEL DISKS OF AK7PCH ALLOY

Bogdanova Tatyana Alexandrovna – Head of the Metallurgical Department, LLC K&K, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: bat@kandk.ru.

Dovzhenko Nikolay Nikolayevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Oil and Gas Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: n.dovzhenko@bk.ru

Merkulova Galina Alexandrovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: gam1602@mail.ru.

Gilmanshina Tatyana Rinatovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: gtr1977@mail.ru

Latypov Farit Rafgatovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Ufa State Aviation Technical University, Bashkortostan. E-mail: vei10@yandex.ru.

References

- Abstract.** The influence of modes of hardening and artificial ageing, application of a decorative protective coating on mechanical properties and the structure of automobile wheel disks of AK7pch alloy is studied. It is established that formation of a finely dispersed structure during low-pressure casting guarantees higher mechanical properties (rupture strength and percentage elongation) of wheels after heat treatment.
- Keywords:** aluminum alloy, low-pressure casting, heat treatment, decorative protective coating, mechanical properties, microstructure.
1. Bogdanova T.A., Melnikov S.V., Dovzhenko N.N., Padalka V.A., Orelkina T.A., Gilmanshina T.R. Prospective method of Al-alloys express-control. *Perspektivnyj metod ehkspress-kontrolya Al-splavov* [Metallurgy of mechanical process engineering]. 2014, no. 2, pp. 12-15.
 2. Aristova N.A., Kolobnev I.F. *Termicheskaya obrabotka litejnykh alyuminievykh splavov* [Cast aluminium alloys heat treatment]. Moscow: Metallugiya, 1977, 144 p.
 3. Bogdanova T.A., Merkulova G.A., Dubinin P.S., Burylova T.V. The influence of heating temperature during coating process on properties and structure of wheel disks made of AK12 alloy. *Tsvetnye metally* 2013 [Non-ferrous metals 2013]. Krasnoyarsk, 2013, pp. 535-539.
 4. *Aluminium: properties and physical metallurgy. Handbook. Translated from English. Ed. by Hatch J.E.* Moscow: Metallugiya, 1989, 422 p.

УДК 669.017:620.186

ДЕФОРМАЦИОННОЕ СТАРЕНИЕ ТРУБНОЙ СТАЛИ С ФЕРРИТОБЕЙНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ

Варнак О.В.¹, Ильин С.И.², Пышминцев И.Ю.¹, Смирнов М.А.², Тетеркин С.Н.³

¹ ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск, Россия

² ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), г. Челябинск, Россия

³ ОАО «Челябинский металлургический комбинат», Россия

Аннотация. Установлено, что сталь 06Г2ФБ с ферритобейнитной структурой обладает заметной склонностью к деформационному старению. Развитие деформационного старения сопровождается значительным ростом прочности, заметным снижением равномерного относительного удлинения, скорости деформационного упрочнения и повышением температуры вязкохрупкого перехода.

Ключевые слова: низкоуглеродистая трубная сталь, деформационное старение, феррит, бейнит, механические свойства.

Введение

При изготовлении труб высокого класса прочности для магистральных трубопроводов (Х70, Х80), как правило, применяют низкоуглеродистые стали с ферритобейнитной структурой. При использовании в районах повышенной сейсмической активности и на периодически промерзающих грунтах к ним предъявляют повышенные требования. Они должны наряду с высокой прочностью обладать повышенной деформационной способностью, высокой вязкостью при пониженных температурах и высоким сопротивлением к деформационному старению. В настоящей работе проведена оценка склонности к деформационному старению трубной низкоуглеродистой стали 06Г2ФБ с ферритобейнитной структурой.

Методы исследования

Исследовали сталь следующего химического состава: 0,06%С, 1,65% Мп, 0,42%(Cr+Ni+Cu), 0,02%V, 0,016% Nb и 0,0044% N. Заготовки сечением 12,5x12,5 мм вырезали из трубы вдоль направления прокатки горячекатаного листа. Их нагревали до 1000°C, что обеспечивает получение аустенитного зерна со средним размером 30 мкм. Заготовки охлаждали со средней скоростью 35 град/с в интервале 800–300°C. Структуру стали изучали с использованием оптической и электронной сканирующей микроскопии. Испытание на статическое растяжение проводили на пятикратных образцах с диаметром рабочей части 6 мм. Ударную вязкость определяли на образцах размерами 10x10x55 мм с U-образным надрезом. Такой тип надреза считается наиболее оптимальным при изучении склонности стали к деформационному старению [1].

Склонность к деформационному старению оценивали после холодной пластической деформации, осуществляемой растяжением или прокаткой, и последующего одночасового нагрева на 250°C, рекомендованного ГОСТ 7268-82. Вырезанные из заготовок разрывные образцы подвергали растяжению на 3% со скоростью 10^{-3} с^{-1} . Прокатку осуществляли на лабораторном стане со скоростью 1 с^{-1} с обжатиями 5 и 10%. В

этом случае деформации подвергали непосредственно заготовки.

После охлаждения со скоростью 35 град/с в структуре стали 06Г2ФБ содержится 90% бейнитной составляющей и 10% феррита; образование перлита не обнаружено. При бейнитном превращении формируется в основном игольчатый бейнит, на границах реек которого присутствуют «островки» МА-составляющей, имеющие преимущественно вытянутую форму. При выбранном режиме охлаждения наряду с игольчатым бейнитом образуется небольшое количество реечного и глобулярного бейнита (до 17%). Реечный бейнит встречается в виде пакетов, состоящих из реек, более тонких, чем рейки игольчатого бейнита. На их границах наблюдаются дисперсные «выделения», которые могут быть как прослойками аустенита, так и карбидами [2, 3]. Глобулярный бейнит присутствует в виде небольших участков равноосной формы. Ферритная составляющая располагается в виде цепочек равноосных зерен (полигональный феррит) или прослоек (аллотриоморфный феррит).

Несмотря на то, что исследованная сталь не подвергалась контролируемой прокатке, тем не менее после выбранного режима обработки уровень ее пределов текучести и прочности соответствовал классу прочности Х80; при этом соотношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ было сравнительно небольшим (см. таблицу). На диаграммах растяжения зуб и площадка текучести отсутствовали. Для стали были характерны высокие относительное сужение и $KCU^{+20^\circ\text{C}}$. Весьма низкой была температура вязко-хрупкого перехода T_{50} , соответствующая наличию в изломе 50% вязкой составляющей. Общее и равномерное относительное удлинения имели невысокие значения.

Механические свойства стали 06Г2ФБ

Обработка	$\sigma_{0,2}$ (σ_T)	σ_B	δ	$\delta_{\text{равн}}$	ψ	$\sigma_{0,2}/\sigma_B$	KCU+20°C	KCU−60°C	C+20	C−60	T ₅₀
	МПа		%				Дж/см²		%		°C
Исходное состояние	568	765	18,8	7,2	82	0,74	333	349	–	–	−110
Растяжение 3%+250°C, 1 ч	(821)	835	16,5	5,0	79	0,98	–	–	–	–	–
Прокатка 5%+250°C, 1 ч	838	893	15,5	5,8	79	0,94	311	242	–	–	–
Прокатка 10%+250°C, 1 ч	992	1011	12,8	2,3	75	0,99	280	70	7	33	−30

Деформационное старение при обработке, включающей холодную пластическую деформацию и нагрев на 250°C, сопровождается ростом прочности и снижением пластичности. О склонности к деформационному старению, в случае использования при охрупчивающей обработке небольшой деформации растяжением (не более нескольких процентов), часто судят по разности $\Delta\sigma$ между пределом текучести после старения и напряжением, соответствующим предшествующей деформации [4, 5]. По мнению авторов работы [6], свойства после деформационного старения целесообразно сравнивать не только с деформированным состоянием, но и с исходным, так как в реальных конструкциях воздействия наклепа и старения совмещено.

Для стали 06Г2ФБ, деформированной перед нагревом на 250°C растяжением на 3%, величина $\Delta\sigma$ равнялась 72 МПа, причем после охрупчивающей обработки на диаграмме растяжения появилась площадка текучести длиной 2,8%. Значительно большее изменение прочности при деформационном старении наблюдается, если сравнивать свойства с исходным состоянием. В этом случае величина прироста предела текучести составляет 253 МПа. По сравнению с исходным состоянием после деформационного старения имеет место как рост предела прочности, так и соотношения $\sigma_{0,2}/\sigma_B$. Наблюдаемое упрочнение сопровождалось ощутимым снижением относительного удлинения, как общего, так и равномерного.

Существенное повышение прочности при деформационном старении наблюдается при деформации прокаткой, причем эффект упрочнения возрастает с увеличением степени обжатия. Прирост предела текучести при проведении перед нагревом на 250°C прокатки на 5% составил 271 МПа, а при прокатке на 10% – 424 МПа. Как и в случае растяжения, при использовании прокатки происходит значительный рост σ_B и соотношения $\sigma_{0,2}/\sigma_B$, а также снижается относительное удлинение.

Чувствительной характеристикой к деформационному старению является скорость деформационного упрочнения $dS/d\varepsilon$, имеющая размерность напряжения [7]. Ее определяют после перестройки диаграммы растяжения в координатах истинные напряжения S и деформация ε . Из полученных данных следует, что при деформационном старении стали 06Г2ФБ

величина $dS/d\varepsilon$ уменьшается и, особенно существенно, когда прокатка проводилась с обжатием 10% (рис. 1).

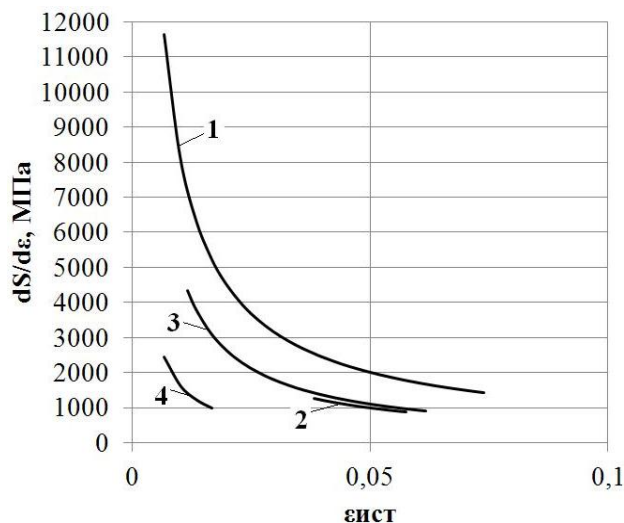


Рис. 1. Деформационное упрочнение стали с ферритобейнитной структурой:

- 1 – исходное состояние,
- 2 – растяжение 3% + 250°C, 1 ч;
- 3 – прокатка на 5% + 250°C, 1 ч;
- 4 – 10% + 250°C, 1 ч

Деформационное старение весьма незначительно снизило ударную вязкость при комнатной температуре испытания. Такому изменению $KCU^{+20^\circ C}$ соответствует небольшая величина показателя склонности к деформационному старению S , равного, согласно ГОСТ 7268-82, отношению величины изменения ударной вязкости при старении к исходной ударной вязкости, выраженной в процентах (см. таблицу). В большей мере деформационное старение оказывает влияние на ударную вязкость при отрицательных температурах (рис. 2). После охрупчивающей обработки, включающей прокатку на 10%, серийная кривая ударной вязкости и соответственно T_{50} ощутимо сместились к более высоким температурам. Поэтому показатель S при отрицательных температурах испытания после деформационного старения становится значительно больше, чем при 20°C. Деформационное старение принципиально не изменяет зависимость характера разрушения от температуры испытания. В температурном интервале вязкохрупкого перехода происходит постепенная замена транскристаллитного вязкого разрушения транскристаллитным хрупким сколом.

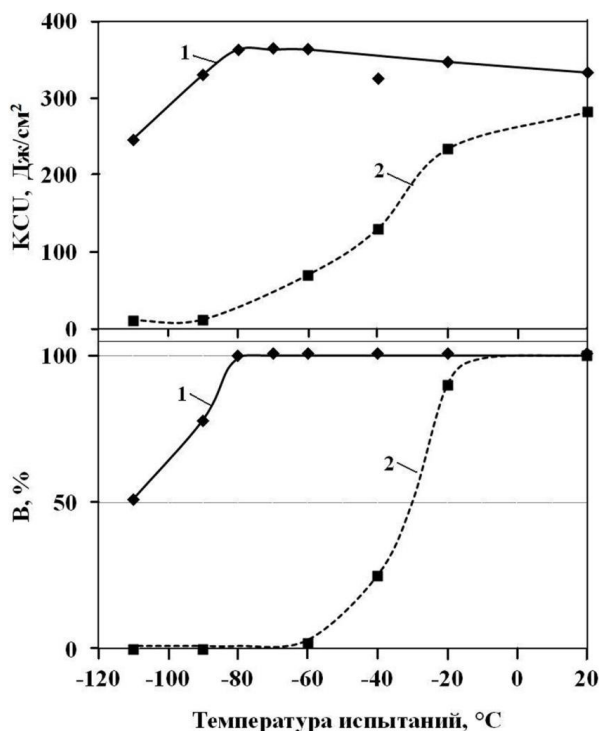


Рис. 2. Серийные кривые ударной вязкости и доля вязкой составляющей в изломе (B) стали 06Г2ФБ:
1 – исходная структура; 2 – деформация прокаткой на 10%+нагрев 250°C, 1 ч

Таким образом, совокупность экспериментальных данных свидетельствует о том, что при наличии ферритобейнитной структуры сталь 06Г2ФБ обладает заметной склонностью к деформационному старению. Подчеркнем, что такой эффект наблюдается, несмотря на относительно низкую температуру аустенизации, при которой часть углерода оказывается связанной в карбиды и не перешла в твердый раствор.

Деформационное старение обусловлено развитием процессов взаимодействия растворенных в твердом растворе атомов углерода и азота с дислокациями. На дислокациях могут возникать атмосферы или сегрегации атомов внедрения, либо выделяться дисперсные карбиды (карбонитриды). Подвижность дислокаций снижается, затрудняется развитие деформации, уменьшается возможность релаксации пиков напряжений. При этом растет прочность, снижается пластичность и сопротивление хрупким разрушениям.

Низкое содержание азота позволяет считать, что при рассмотрении деформационного старения стали 06Г2ФБ следует учитывать, в основном, поведение в твердом растворе углерода. Быстрое охлаждение из аустенитной области должно способствовать созданию повышенной

концентрации углерода в основной структурной составляющей – игольчатом бейните. В структуре стали присутствуют «островки» МА-составляющей, для которых характерно высокое содержание углерода. Но количество этой структурной составляющей невелико. В связи с этим можно предполагать, что в бейнитной α -фазе содержится достаточное количество свободных атомов углерода, которые способны блокировать движение дислокаций.

Бейнитная α -фаза характеризуется наличием высокой плотности дислокаций. Соответственно пути дрейфа атомов углерода к дефектам кристаллического строения могут быть достаточно короткими. Этот фактор также должен способствовать развитию деформационного старения.

Закключение

1. При наличии ферритобейнитной структуры, основной структурной составляющей которой является игольчатый бейнит, низкоуглеродистая сталь 06Г2ФБ обладает достаточно высокой склонностью к деформационному старению. Такая закономерность хорошо выявляется вне зависимости от того, осуществлялась ли перед охрупчивающим нагревом деформация растяжением или прокаткой.

2. При развитии деформационного старения имеет место значительный рост пределов текучести и прочности стали 06Г2ФБ, снижение ее равномерного относительного удлинения, скорости деформационного упрочнения и повышение температуры вязко-хрупкого перехода.

Список литературы

- Одесский П.Д. О деградации свойств сталей для металлических конструкций // Заводская лаборатория. 2003. Т. 6. №10. С. 41–49.
- Смирнов М.А., Пышминцев И.Ю., Борякова А.Н. К вопросу о классификации микроструктур низкоуглеродистых трубных сталей // Металлург. 2010. №7. С. 45–51.
- Особенности структуры бейнита в низкоуглеродистых свариваемых сталях после термомеханической обработки / В.М. Счастливцев, Т.И. Табатчикова, И.Л. Яковлева, А.А. Круглова, Е.И. Хлусова, В.В. Орлов // Вопросы материаловедения. 2009. №3. С. 26–38.
- Деформационное старение и свойства низколегированных трубных сталей / А.Р. Мишетьян, Г.А. Филиппов, Ю.Д. Морозов, О.Н. Чевская // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2011. №2. С. 12–19.
- Гуль Ю.П. Влияние углерода и азота на упрочнение и охрупчивание при старении малоуглеродистой стали // Металловедение и термическая обработка металлов. 1975. №7. С. 8–12.
- Бабищ В.К., Гуль Ю.П., Долженков И.Е. Деформационное старение стали. М.: Металлургия, 1972. 320 с.
- Голованенко С.А., Фонштейн Н.М. Двухфазные низколегируемые стали. М.: Металлургия, 1986. 207 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STRAIN AGING OF PIPE STEEL WITH THE FERRITE-BAINITE STRUCTURE

Varnak Olga Vasilievna – Lead Engineer, the Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries Open Joint Stock Company, Chelyabinsk, Russia. E-mail: mushina@rosniti.ru

Ilyin Sergey Ivanovich – Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia.

Pyshmintsev Igor Yurievich – D.Sc. (Eng), General Director, the Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries Open Joint Stock Company, Chelyabinsk, Russia.

Smirnov Mikhail Anatolievich – D.Sc. (Eng), Professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia.

Teterkin Sergey Nikolaevich – Shift Foreman, OJSC Mechel, Chelyabinsk, Russia.

Abstract. It is established that steel 06G2FB with the ferrite-bainite structure tends to strain aging to a noticeable extent. Development of strain aging is accompanied by a significant growth of the strength, a marked decrease in uniform relative elongation, speed of deformation hardening and increase in the temperature of the ductile-brittle transition.

Keywords: low-carbon pipe steel, strain aging, ferrite, bainite, mechanical properties.

References

1. Odessky P.D. About degradation of properties of steels for metal constructions. *Zavodskaya laboratoriya* [Factory laboratory]. 2003, vol. 6, no. 10, pp. 41–49.
2. Smirnov M.A., Pyshmintsev I.Yu., Boryakova A.N. Revisiting the classification of low-carbon pipe steel microstructures. *Metallurg* [Metallurgist]. 2010, no. 7, pp. 45–51.
3. Schastlivtsev V.M., Tabatchikova T.I., Yakovleva I.L., Kruglova A.A., Khlusova E.I., Orlov V.V. Features of the bainite structure in low-carbon welded pipe steels after thermomechanical treatment. *Voprosy materialovedeniya* [Issues of materials science]. 2009, no. 3, pp. 26–38.
4. Mishetyan A.R., Filippov G.A., Morozov Yu.D., Chevskaya O.N. Strain aging and properties of low-alloyed pipe steels. *Problemy chernoj metallurgii i materialovedeniya* [Problems of ferrous metallurgy and materials science]. 2011, no. 2, pp. 12–19.
5. Gul Yu.P. Influence of carbon and nitrogen on hardening and brittle behavior at aging of low-carbon steel. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metallurgy and heat treatment of metals]. 1975, no 7, pp. 8–12.
6. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.E. *Deformatsionnoe starenie stali* [The strain aging of steel]. Moscow: Metallurgy, 1972, 320 p.
7. Golovanenko S.A., Fonshtein N.M. *Dvukhfaznye nizkolegirovannye stali* [Dual-phase low-alloyed steels]. Moscow: Metallurgy, 1986, 207 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 669.181

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТАДИЙНОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ПЫЛЕЙ И ШЛАМОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Борьба с экологическим загрязнением и стремление к бережному использованию ресурсов определяют актуальность проблемы переработки железосодержащих шламов. Целью исследований, описанных в данной статье, являлась оценка перспективности использования комбинированной двухстадийной технологии переработки мелкодисперсных цинксодержащих металлургических отходов. На основе анализа основных существующих процессов переработки цинксодержащих пылей и шламов предложен новый комбинированный двухстадийный способ, преимущества которого доказываются результатами лабораторных экспериментов и расчетов, произведенных с помощью разработанных математических моделей. С помощью физического моделирования была доказана возможность применения процессов твердофазного восстановления для переработки цинксодержащих металлургических отходов. При этом удалось получить металлизированный продукт со степенью металлизации до 100% и цинковый концентрат, который может быть использован в качестве сырья для предприятий цветной металлургии. С помощью математических моделей было показано, что применение предварительной твердофазной металлизации позволяет существенно снизить расход угля на жидкофазное восстановление, которое происходит на второй стадии комбинированной технологии. В результате использования двухстадийной технологии получается чугун с более низким содержанием серы и фосфора. Кроме того, образуется меньшее количество газа, что снижает экологическую нагрузку.

Ключевые слова: шламы, пыль ЭСПЦ, моделирование, твердофазное восстановление, жидкофазное восстановление, металлизированный продукт, чугун.

Введение

Актуальность проблемы переработки доменных и сталеплавильных шламов и пылей обусловлена экологическими и экономическими причинами: под шламохранилища занимаются большие земельные площади, происходит выветривание почв и загрязнение грунтовых вод; не используются железо и цинк, содержащиеся в шламах; за размещение шламов в шламохранилища выплачиваются большие штрафы [1]. При этом мелкодисперсные отходы металлургического производства можно рассматривать, как заменители железной руды – содержание железа в некоторых видах шламов превышает 50%. А наличие в шламах цинка (в некоторых – более 20%) [4] делает возможным получать в процессе переработки цинковые концентраты, которые могут быть проданы в качестве сырья для предприятий цветной металлургии.

Существует несколько способов переработки цинксодержащих шламов и пылей, но все они имеют недостатки, затрудняющие их активное

внедрение на российских металлургических предприятиях. Так, к недостаткам гидрометаллургических способов [2, 3] можно отнести высокие эксплуатационные расходы, вызванные дефицитом кислот и щелочей, а также вредность и тяжелые условия труда. С помощью механического и гравитационного обесцинкования невозможно перерабатывать сталеплавильные шламы, кроме того, гравитационные методы уступают пирометаллургическим по технологическим показателям. Существенными недостатками процессов твердофазного восстановления являются: невозможность удаления фосфора, мышьяка, меди, ограниченные возможности по удалению серы, небольшая производительность, большие капитальные затраты, необходимость принятия дополнительных мер по предотвращению вторичного окисления губчатого железа [4 – 6]. При использовании жидкофазного восстановления возникает проблема улавливания цинка из-за большого объема отходящих газов, которые к тому же обладают высокой тепловой и химической энер-

гией, не использующейся в процессе [4 – 6].

Особый интерес могут представлять технологии переработки шламов, основанные на совместном использовании процессов твердофазного и жидкофазного восстановления, т.к. это позволяет сочетать в себе преимущества твердофазных и одностадийных жидкофазных методов [7 – 9]. На первой стадии происходит твердофазное восстановление железа с удалением и последующем улавливанием цинка. На следующей стадии разогретый и частично металлизированный продукт подвергается жидкофазному восстановлению, причем тепло образующихся газов может быть использовано на первой стадии (рис. 1).

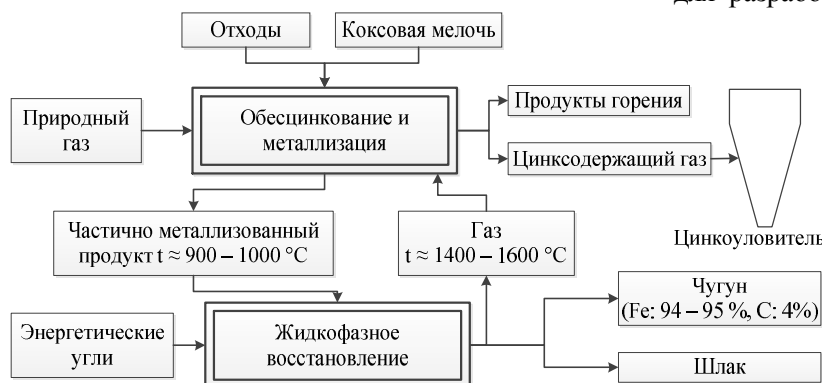


Рис. 1. Схема технологии переработки металлургических отходов

Главным недостатком такого способа переработки шламов является сложность и размеры подобных комплексов, а также более высокие капитальные затраты на их строительство.

Лабораторные эксперименты.

В лаборатории кафедры металлургии черных металлов МГТУ им Г.И. Носова были проведены эксперименты по низкотемпературному бескоксовому восстановлению пыли ЭСПЦ для исследования возможности применения двухстадийного процесса переработки шламов. Суть этих экспериментов сводилась к следующему: используя возможности печи Таммана, смоделировать процесс низкотемпературной металлизации шламов с параллельным удалением из сырья цинка. В графитовые тигли загружалось примерно 300 г шламов, затем тигли помещались в рабочее пространство печи, нагревались до температуры 800–1200 °C и выдерживались при заданной температуре от 1 до 3 ч. Химический состав исходных продуктов: FeO – 0,8–2,5%; Fe₂O₃ – 50–68%; SiO₂ – 3–5%; Al₂O₃ – 0,3–1,5%; CaO – 4–7%; MgO – 0,91–3%; P – 0,022%; MnO – 1,3–2,75%; S – 0,4–0,8%; TiO₂ – 0,27%; Zn – 9–25%; C – 1–2%; Cr – 0,07%.

В результате экспериментов были получены следующие результаты:

- степень металлизации составила 78–100%;
- зафиксировано снижение содержания цинка с 14,8% до 1,21% для шламов ДСП и с 0,9 до 0,25% для доменных шламов;
- получены цинковые концентраты с содержанием ZnO – 42,6–58%, что является приемлемым сырьем для цинковой промышленности;
- шламы перед металлизацией необходимо окусковать.

Математическое моделирование

Данные экспериментов были использованы для разработки математических моделей твердофазного и жидкофазного восстановления шламов [10, 11]. В качестве исходных данных для модели твердофазного восстановления выступают: химический состав и количество шламов, химический состав коксовой пыли, параметры процесса восстановления, параметры трубчатой печи и т.д. Эти данные используются для расчета химического состава и количества металлизированного продукта и образующихся газов; тепловых затрат, а также количества природного газа для их покрытия. В результате моделирования получают материальный и тепловой балансы. С помощью полученной модели было произведено несколько расчетов – в качестве исходных данных рассматривалось три вида окатышей, сделанных из пыли ЭСПЦ (варианты 1 и 2) и шламов конвертерного производства ОАО «ММК» (вариант 3). Химический состав шламовых окатышей указан в таблице 1.

Таблица 1

Варианты химического состава шламовых окатышей, %

Компонент	Содержание в окатышах		
	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
FeO	1,731	1,609	29,99
Fe ₂ O ₃	49,648	53,185	37,29
SiO ₂	3,797	3,53	5,7
Al ₂ O ₃	0,561	0,522	1,13
CaO	5,611	5,217	7,09
MgO	1,215	1,13	2,06
MnO	2,544	2,365	0,39
ZnO	14,468	13,452	1,04
C	14,964	13,913	11,012
S	0,678	0,63	0,18
P ₂ O ₅	0,106	0,099	0,088
H ₂ O	4,677	4,348	4,03
Итого	100	100	100

Результаты моделирования указаны на рис. 2 и 3.

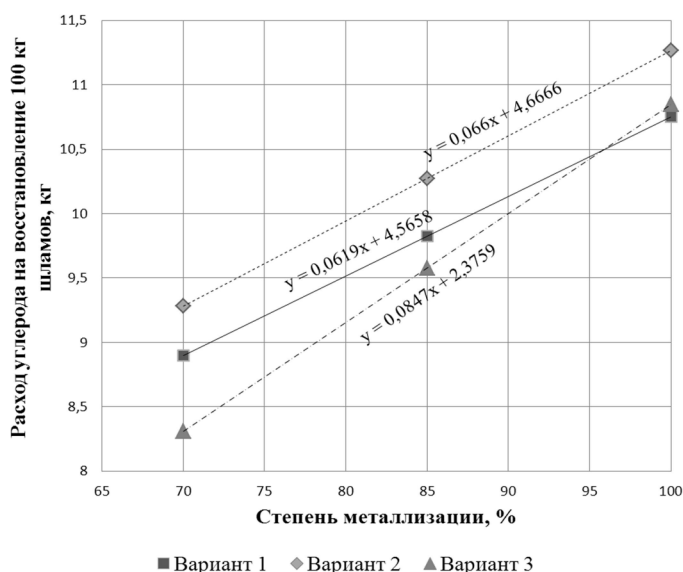


Рис. 2. Зависимость расхода углерода на восстановление шламов от требуемой степени металлизации

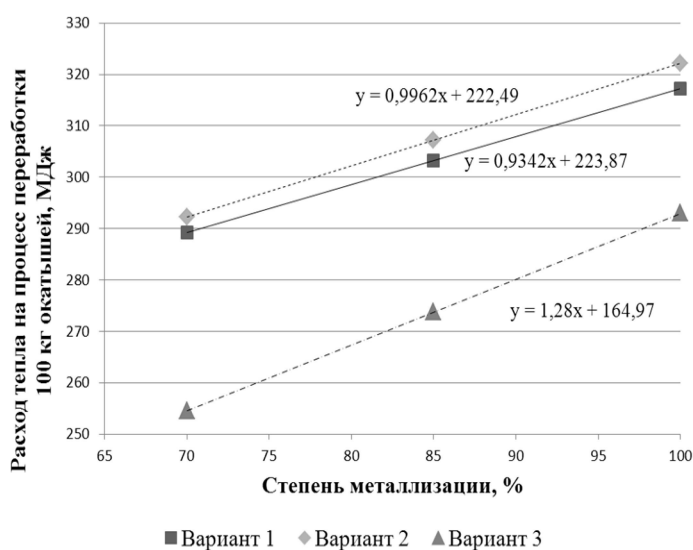


Рис. 3. Зависимость расхода тепла от требуемой степени металлизации

Для оценки технико-экономических параметров процесса жидкофазного восстановления была разработана новая математическая модель этого процесса. Блок-схема модели приведена на рис. 4.

Из приведенных зависимостей видно, что результаты моделирования сильно отличаются для шламовых окатышей различного химического состава. Это значит, невозможно вывести простую универсальную модель, которая бы позволила рас-

считать с необходимой точностью основные технико-экономические параметры процесса твердофазного восстановления шламов, состав которых варьируется в широких пределах.

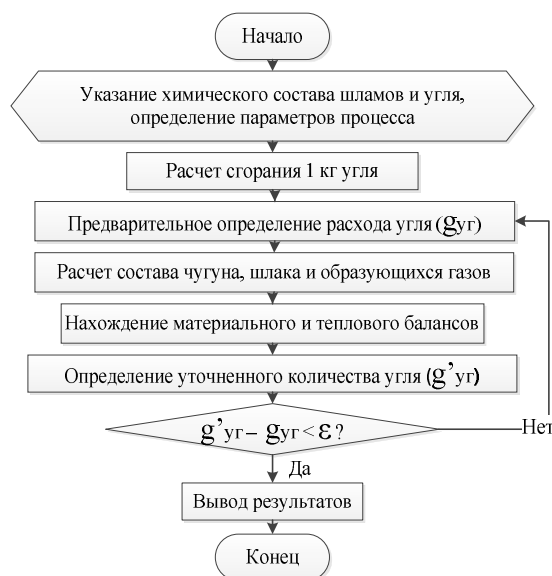


Рис. 4. Блок-схема модели процесса жидкофазного восстановления шламов

С помощью разработанной модели были произведены расчеты, целью которых была проверка влияния предварительной твердофазной металлизации на технико-экономические параметры процесса жидкофазного восстановления. В качестве исходных данных были взяты химический состав шламов ЭСПЦ ОАО «ММК». Всего было сделано 5 вариантов расчета, отличающихся степенью предварительно твердофазной металлизации (табл. 2). Расчеты велись на 100 кг исходного шлама.

Таблица 2

Степень предварительной металлизации для вариантов расчета, %

Номер варианта	Степень предварительной металлизации
1	0
2	50
3	60
4	70
5	80

На рис. 5 показано изменение содержания серы и фосфора в чугуне при различных вариантах расчета.

На рис. 6 показано изменение количества угля, выходов чугуна и шлака при различных вариантах расчета.

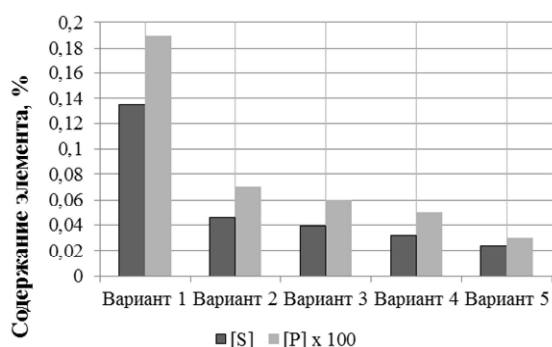


Рис. 5. Содержание серы и фосфора в чугунах

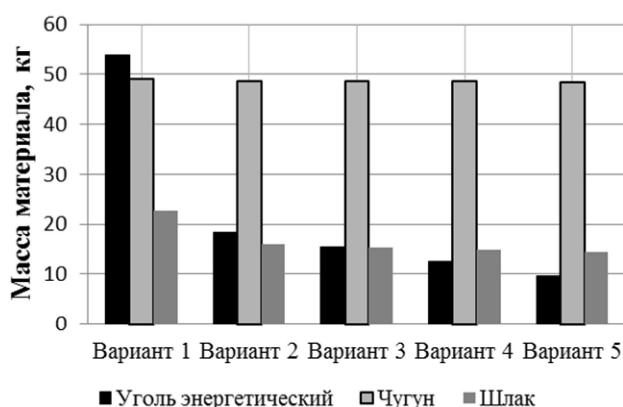


Рис. 6. Масса угля, чугуна и шлака

На рис. 7 показаны изменения объемов газа, образующегося на стадии жидкофазного восстановления.

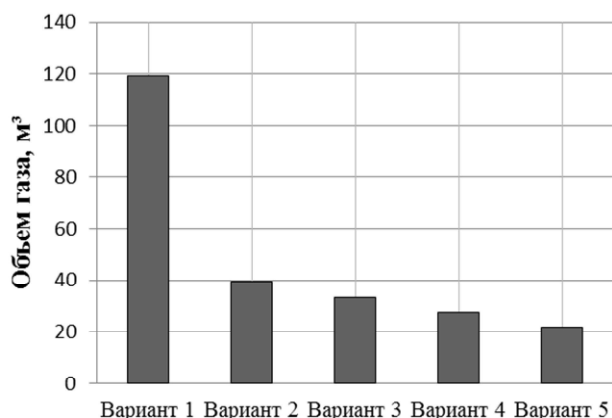


Рис. 7. Объем газа, образующегося при жидкофазном восстановлении

Из приведенных диаграмм видно, что применение двухстадийного процесса позволяет снизить на 80% потребление угля по сравнению с одностадийным жидкофазным (53,86 против 9,61 кг). А это не только экономическая выгода, но и меньшее

количество вредных примесей, а также меньшее количество шлака (22,64 против 14,29 кг).

При двухстадийном процессе чугун получается более чистым по сере и фосфору, главным образом это объясняется меньшим расходом энергетического угля.

При двухстадийном процессе суммарное количество образующихся газов до 60% меньше, чем при одностадийном жидкофазном, что позитивно отразится на возможности улавливания цинка, а также снизит объемы выбросов CO₂ в атмосферу.

Заключение

В итоге следует признать, что предлагаемый двухстадийный процесс может применяться для переработки железосодержащих пылей и шламов, при этом результаты расчетов свидетельствуют о наличии ряда преимуществ этого процесса относительно конкурентов.

Список литературы

1. Лисин В.С., Юсфин Ю.С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века в металлургии. М.: Высш. шк., 1998. 446 с.
2. Аммиачно-карбонатная технология извлечения цинка из доменных шламов / Михнев А.Д., Пашков Г.Л., Дроздов С.В. и др. // Цветные металлы. 2002. № 5. С. 34–38.
3. Блинова Е. В., Елисеев Е. И. Обесцинкование шламов доменных печей // Цветная металлургия. 2004. № 8. С. 2–6.
4. Курунов И.Ф., Савчук Н.А. Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа. М.: Черметинформация, 2002. 198 с.
5. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков Н.Ф. Новые процессы получения металла (металлургия железа): учебник для вузов. М.: Металлургия. 1994. 320 с.
6. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Металлургия железа: учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 464 с.
7. Перспективы вовлечения в переработку новых видов железосодержащего сырья / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Бигеев А.М. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2004. №2. С. 7–10.
8. Металлизация доменных шламов / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Сибатулин С.К. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №3. С. 23–25.
9. Расширение шихтовой базы плавки стали в дуговых электропечах / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Пантелеев А.В. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №1. С. 38–41.
10. Бигеев В.А., Пантелеев А.В., Черняев А.А. Математическое моделирование твердофазного восстановления пылей и шламов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Ч. II. С. 151–155.
11. Девятков Д.Х., Черняев А.А. Моделирование двухстадийного жидкофазного восстановления доменных шламов // Материалы 67-й научно-технической конференции: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Т.2. С. 121–123.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE TWO-STAGE METHOD FOR SLUDGE AND DUST RECYCLING

Bigeev Vakhit Abdrashitovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Materials Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Chernyaev Alexander Alexandrovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: alexch_study@mail.ru

Panteleev Anton Vladimirovich – Senior Lecturer, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: anpanteleev2010@mail.ru.

Abstract. Ecological and resource-saving problems determine the relevance of iron-bearing sludge recycling. The main goal of the researches was to estimate prospects for the two-stage combined recycling process for fine-grained zinc-bearing metallurgical wastes. This article provides a survey of main current recycling processes and a suggestion of a new combined two-stage zinc-bearing sludge and dust recycling method. The method's advantages are proved by the results of laboratory experiments and calculations that were made by means of developed mathematical models. By means of physical modeling we proved the possibility of using solid-phase reduction for zinc-bearing metallurgical wastes recycling. In the experiments we have managed to obtain metallized products with a metallization degree of up to 100 % and a zinc concentrate that may be used as a raw material for non-ferrous metallurgy. By means of mathematical models it was shown that preliminary solid-phase metallization led to a substantial decrease in coal consumption for liquid-phase reduction on the second stage of the combined technology. By using the two-stage technology it is possible to obtain iron with less sulphur and phosphorus content. Besides, it is possible to decrease gas emissions and reduce environmental impacts.

Keywords: sludge, electric arc furnace dust, modeling, solid-phase reduction, liquid-phase reduction, metallized product, iron.

References

1. Lisin V.S., Yusfin Yu.S. *Resurso-ekologicheskie problemy XXI veka v metallurgii* [Metallurgical resource and ecology problems of the 21st century]. Moscow: Vysshaya shkola, 1998. 446 p.
2. Mikhnev A.D., Pashkov G.L., Drozdov S.V. et al. The ammoniac-carbonate technology for zinc extraction from blast furnace sludge. *Tsvetnye Metally* [Non-ferrous metals]. 2002, no. 5, pp. 34–38.
3. Blinkova E. V., Eliseev E. I. Zinc extraction from blast furnace sludge. *Tsvetnaya metallurgiya* [Nonferrous metallurgy]. 2004, no. 8, pp. 2–6.
4. Kurunov I.F., Savchuk N.A. The current state and prospects for the direct ore-reduction process. Moscow: Chermetinformatsiya, 2002, 198 p.
5. Yusfin Yu.S., Gimmelfarb A.A., Pashkov N.F. *Novye protsessy polucheniya metalla (metallurgiya zheleza)* [New processes of metal production (ferrous metallurgy)]. Moscow: Metallurgiya, 1994, 320 p.
6. Yusfin Yu.S., Pashkov N.F. *Metallurgiya zheleza* [Ferrous metallurgy]. Moscow: Akademkniga, 2007, 464 p.
7. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Bigeev A.M. et al. Prospects for new kinds of iron-bearing charging feed. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2004, no. 2, pp. 7–10.
8. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Sibagatulin S.K. et al. Blast furnace sludge metallization. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 3, pp. 23–25.
9. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Panteleev A.V. et al. The expansion of charge feed base for electric steelmaking. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no. 1, pp. 38–41.
10. Bigeev V.A., Panteleev A.V., Chernyaev A.A. Mathematical modelling of solid-phase reduction of dust and sludge. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsial'noy sferakh* [Mathematical models and software for industry and social sphere systems]. Magnitogorsk: Publishing house of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, vol. II, pp. 151–155.
11. Devyatov D. Kh., Chernyaev A.A. Modelling of two-stage liquid-phase reduction of blast furnace sludge. *Materialy 67-j nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of the 67th scientific-technical conference]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009, vol. 2, pp. 121–123.

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.771.07 621.82.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ СТАНА-ТАНДЕМ 2000 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»

Султанов Н. Л., Жиркин Ю. В., Шленкина М. А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Россия

Аннотация. Опыт эксплуатации стана-тандем 2000 холодной прокатки с 2011 года выявил снижение работоспособности подшипников качения опор рабочих валков и опор тянущих роликов при работе со скоростью прокатки, превышающей 1000 об/мин. В этом случае основной причиной отказов подшипников качения является их перегрев. В работе рассматриваются результаты испытаний на надёжность подшипников качения. Найдены точечные оценки и нижние доверительные границы ресурсов как для подшипников качения опор рабочих валков, так и опор тянущих роликов. Нижняя доверительная граница среднего ресурса подшипников качения при доверительной вероятности $q = 0,9$ составляет 4181,7 ч при нормативе на замену 5400 ч, что не обеспечивает заданный уровень надёжности. При реализации мероприятий по предотвращению отказов по перегреву можно установить норматив на замену подшипников качения, равный 6260 ч при значительно более высоком уровне надёжности $P(t) = 0,95$.

Ключевые слова: подшипник качения, надёжность, ресурс, перегрев, износ.

Введение

Опыт эксплуатации стана 2000 холодной прокатки показал, что в условиях интенсивного нагружения и при скоростях прокатки свыше 1000 м/мин возрастает интенсивность отказов подшипников качения (ПК) рабочих валков клетей №4 и 5, а также тянущих роликов по причине их перегрева. Это ведет к внеплановым простоям и, как следствие, потерям производства.

Исследование надежности подшипников качения опор рабочих валков стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК»

Для установления показателей эксплуатационной надёжности ПК были проведены испытания на надёжность подшипниковых опор с момента пуска стана в 2011 году, заключающиеся в сборе информации ресурса подшипниковых опор по плану [NUN] [1].

Данные, приведенные в таблице показывают, что основными причинами выхода из строя ПК опор рабочих валков являются износ и перегрев.

По результатам обработки статистической информации установлено, что выборка по ресурсам ПК описывается распределением Вейбулла, для которого показатели долговечности ПК опор

рабочих валков определяются из следующих зависимостей [2–5].

Точечная оценка среднего ресурса [2]

$$\hat{T} = \hat{a} \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\hat{b}} \right), \quad (1)$$

где $\hat{a}$ – точечная оценка ресурсной характеристики; $\hat{b}$ – точечная оценка параметра формы.

Нижняя доверительная граница среднего ресурса при доверительной вероятности q [2]

$$\underline{T} = \hat{T} \exp \left(-\frac{V_q}{\hat{b}} \right), \quad (2)$$

$\hat{T}$ – точечная оценка среднего ресурса, ч; V_q – квантили распределения статистик.

Из уравнений (1) и (2) получено:

а) для всех отказавших ПК

$$\hat{T} = 5443,77 \text{ ч.}$$

При доверительной вероятности $q = 0,9$

$$\underline{T} = 4181,71 \text{ ч;}$$

б) для ПК отказавших только по износу

$$\hat{T} = 7942 \text{ ч.}$$

При доверительной вероятности $q = 0,9$

$$\underline{T} = 7564,45 \text{ ч.}$$

Гамма-процентная наработка при значении $\gamma = 0,95$ составляет

$$T_{0,95} = 6260 \text{ ч.}$$

Ресурс подшипников качения опор рабочих валков стана 2000 холодной прокатки (2011–2014 гг.)

Номер подушки	Маркировка подшипника	Дата установки	Наработка, ч	Причина выхода
1	MB-15	18.03.11	5438	Перегрев
1	NK-15	16.05.12	2486	Перегрев
1	NY-7	12.02.13	2386	Перегрев
2	KC-30	18.03.11	5450	Перегрев
2	NL-7	28.05.12	5692	Перегрев
5	KF-2	20.03.11	4960	Перегрев
6	NY-5	07.04.12	1347	Перегрев
11	VD-312E	29.12.11	3870	Перегрев
13	KF-14	31.03.11	4960	Перегрев
13	KF-3	14.05.12	2150	Перегрев
13	NY-9	09.01.13	104	Перегрев
17	KC-25	30.03.11	460	Перегрев
21	KG-9	03.04.11	4520	Перегрев
36	KC-4	16.02.12	7120	Износ
50	MB-11	26.11.11	7304	Износ
13	NY-16	11.06.11	7500	Износ
43	KC-12	24.11.11	7780	Износ
53	KG-6	10.11.12	7960	Износ
54	NK-18	30.12.12	8032	Износ
46	NL-2	05.10.12	8160	Износ
39	KC-18	06.12.11	9680	Износ

Полученные результаты показывают возможность существенного повышения показателей эксплуатационной надежности ПК опор рабочих валков в случае устранения отказов ПК по перегреву.

В настоящее время в цехе установлен норматив по плановой замене ПК, равный 5400 ч, что существенно выше значения среднего ресурса при доверительной вероятности $q = 0,9$, равно-го 4181,7 ч.

В случае устранения причин, приводящих к перегреву подшипников качения, возможно установление норматива на замену подшипников качения на уровне 6200 ч при значительно более высоком уровне надёжности с вероятностью безотказной работы $P(t) = 0,95$.

Исследование надежности подшипников качения опор тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК»

В блоках тянущих роликов установлены то-роидальные роликоподшипники CARB – это со-вершенно новый тип радиальных роликопод-шипников. Эти компактные, самоустанавлива-ющиеся роликоподшипники были разработаны SKF и представлены на рынок в 1995 году. Их уникальная конструкция объединяет в себе воз-можности сферического роликоподшипника са-моустанавливаться со способностью цилиндри-ческого роликоподшипника компенсировать осевые перемещения. Они также имеют неболь-шое поперечное сечение, которое обычно ассо-циируется с игольчатым роликоподшипником.

Подшипники CARB используются для вос-приятия радиальных нагрузок в широком диапа-зоне. Они предназначены исключительно для применения в плавающих опорах, в которых ис-пользуются идеальные сочетания их свойств – способность к самоустановке и восприятию осе-вых перемещений вала. За счёт принудительного смещения колец подшипника друг относительно друга имеется возможность точно устанавливать радиальный внутренний зазор подшипника [6].

Как было уже сказано, при скорости прокатки свыше 1000 м/мин возникает перегрев подшип-никовых опор тянущих роликов и, соответствен-но, связанные с этим внеплановые простои. По-этому, так же как и для ПК рабочих валков, вы-полнено исследование эксплуатационной надёж-ности подшипников тянущих роликов.

За период с 2011–2014 гг. на стане 2000 хо-лодной прокатки ПК выходили из строя только по причине перегрева.

Из опыта эксплуатации стана 2000 холодной прокатки выявлено, что подшипники, вышедшие из строя по причине перегрева, являются под-шипниками SKF 200/310x82, тип 23040 CC/W33/C3 (см. рисунок).



Подшипник тянущего ролика стана 2000 холодной прокатки SKF 200/310x82, тип 23040 CC/W33/C3

При испытаниях на надежность по плану [NUN] [1] были установлены ресурсы подшипников качения, представленные в упорядоченном виде.

Ресурсы ПК, ч: 96, 504, 528, 768, 3900, 4944, 6432, 10128.

Из уравнений (1) и (2) получены показатели долговечности ПК тянущих роликов:

Точечная оценка среднего ресурса

$$\hat{T} = 3083 \text{ ч.}$$

Нижняя доверительная граница ресурса при доверительной вероятности $q = 0,9$

$$\underline{T} = 1531 \text{ ч.}$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что нижняя доверительная граница среднего ресурса ПК тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки, с учетом подшипников вышедших из строя по причине перегрева за период с 2011 по 2014 гг. составляет 1531 ч.

Расчет долговечности ПК при 90% надежности выполнен по зависимости [7–8]

$$L_h = \left(\frac{C}{P} \right)^{10/3}, \quad (3)$$

где C – грузоподъемность, кН; P – нагрузка на подшипник, кН.

Из технологической инструкции [9] находим $P=150$ кН, в свою очередь, из справочника SKF [6] $C = 1000$ кН

$$L_h = \left(\frac{1000}{150} \right)^{10/3} = 552 \text{ млн оборотов,}$$

или в часах работы

$$L_{hc} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_h, \quad (4)$$

где $n = 1100$ об / мин.

$$L_{hc} = \frac{10^6}{60 \cdot 1100} \cdot 552 = 8 \cdot 363 \text{ ч.}$$

Отказы ПК тянущих роликов связаны только с перегревом, а их средний ресурс составляет 3083 ч, а нижняя доверительная граница среднего ресурса при доверительной вероятности

$q = 0,9$ –1531 ч, т.е. существенно меньше расчетной долговечности.

Заключение

Испытания на надёжность подшипников качения опор стана-тандем 2000 холодной прокатки показали их низкую эксплуатационную надёжность, при доверительной вероятности $q = 0,9$ нижняя доверительная граница среднего ресурса для рабочих валков равна 4181,7 ч, для тянущих роликов 1531 ч. Устранение причин перегрева позволит существенно повысить средний ресурс подшипников качения соответственно до 6260 и 8363 ч. Предварительный анализ показал, что следствием отказов являются как недостатки конструктивного исполнения подшипникового узла, связанные с поступлением смазочного материала непосредственно в зону контакта подшипников качения, так и недостатки в режиме подачи смазочного материала. Частично решения по устранению причин отказов подшипников качения приведены в работе [10].

Список литературы

1. Надежность машиностроительной продукции: Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. М., 1990. 327 с.
2. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1977. 598 с.
3. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт металлургических машин. Руководство к решению задач и упражнений: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 1998. 336 с.
4. Chernoff H., Lehmann E.L. The use of maximum likelihood estimates in χ^2 test for goodness of fit // The Annals of Mathematical Statistics. 1954. Vol. 25. P. 579–586.
5. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Поставалов, Е.В. Чимитова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. 888 с.
6. Общий каталог по подшипникам качения: справочное пособие SKF. М., 2009. 1129 с.
7. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор. М.: Машиностроение, 1992. С. 608.
8. Общие сведения о подшипниках качения: справочное пособие Timken. М., 2011. 150 с.
9. Технологическая инструкция / ЛПЦ№11. Магнитогорск, 2011.
10. Повышение эффективности подачи смазочного материала в подшипниках качения тянущих роликов стана 2000 х/пр ОАО «ММК» / Ю.В. Жиркин, Н.Л. Султанов, Е.И. Мироненков, Р.Р. Юсупов, М.А. Шленкина. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. Т.1. С. 367–370.

RESEARCH OF RELIABILITY OF ROLLING BEARINGS
ON TANDEM COLD ROLLING MILL 2000 AT OJSC MMK

Sultanov Nail Lasynovich – Postgraduate, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: stale-var888@mail.ru.

Girkin Yuriy Vasilyevich – Ph.D (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: girkin@yandex.ru.

Shlenkina Marina Alexandrovna – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: ka-kay_prelest@mail.ru.

Abstract. Since 2011 operating experience of cold rolling tandem mill 2000 revealed decrease in operability of rolling bearings for supports of working rolls, and supports of pinch rolls during operation at a rolling speed of 1000 rpm and over. In this case a main reason of rolling bearing failures is overheating. This article presents results of fail-safety tests of rolling bearings. Point estimates and lower confidence bounds of lifetime for rolling bearings of supports of working rolls and pinch rolls are found. The lower confidence bound of an average lifetime of rolling bearings at a confidence probability of $q = 0.9$ is 4181.7 hours, while the standard lifetime is 5400 hours, which doesn't provide the set level of reliability. When taking measures aimed at prevention of failures due to overheating, it is possible to establish the standard for replacement of rolling bearings equal to 6260 hours at a much higher level of reliability of $P(t) = 0.95$.

Keywords: rolling bearing, reliability, lifetime, overheating, wearout.

References

1. Reliability of engineering products: A practical guide to standardization, validation and maintenance. Moscow, 1990, 327 p.
2. Kapur K., Lamberson L. *Nadezhnost' i proektirovanie sistem* [Reliability in engineering design]. Moscow: Mir, 1977, 598 p.
3. Zhirkin Yu.V. *Nadezhnost', ehkspluatatsiya, tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont metallurgicheskikh mashin. Rukovodstvo k resheniyu zadach i uprazhnenij: uchebnik* [Reliability, operation, maintenance and repair of metallurgical machines. Guide to solving problems and exercises: Textbook]. Magnitogorsk, 1998, 336 p.
4. Chernoff H., Lehmann E.L. The use of maximum likelihood estimates in χ^2 test for goodness of fit. *Letopis' matematicheskoy statistiki* [The Annals of Mathematical Statistics]. 1954, vol. 25, pp. 579–586.
5. Lemesko B.Yu, Lemesko S.B., Postovalov S.N., Chimitova E.V. *Statisticheskij analiz dannykh, modelirovanie i issledovanie veroyatnostnykh zakonov* [Statistical data analysis, modeling and research of the laws of probability. Computer approach: monograph]. Novosibirsk: Publishing House of NSTU, 2011, 888 p.
6. General catalog for rolling bearings: SKF handbook. Moscow, 2009, 1129 p.
7. Perel L.Ya., Filatov A.A. *Podshipniki kacheniya: Raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor* [Rolling bearings: Calculation, design and maintenance of supports]. Moscow: Engineering, 1992, 608 p.
8. Understanding roller bearings: Timken handbook. Moscow, 2011, 150 p.
9. Process instructions, Rolling Shop #11. Magnitogorsk, 2011.
10. Zhirkin Yu.V., Sultanov N.L., Mironenkov E.I., Yusupov R.R., M.A. Shlenkina. Improving the efficiency of the lubricant supply to rolling bearings of pinch rolls on cold rolling mill 2000 at OJSC MMK. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya: materialy 71-j mezhregional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Actual problems of modern science, technology and education: Proceedings of the 71st inter-regional scientific and technical conference]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013, vol. 1, pp. 367–370.

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 658.262

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЧАСОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КРУПНЫМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ММК»)

Трофимова В.Ш., Липатников А.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье описан механизм ценообразования на современном рынке электроэнергии, рассмотрены принципы функционирования рынка электроэнергии и сопутствующих товаров РФ, представлена функция издержек предприятия, связанных с приобретением электроэнергии, указаны возможные пути снижения издержек и возможность их применения в рамках ОАО «ММК», представлена статистика электропотребления ОАО «ММК», предложена методика снижения издержек, основанная на учете рыночной конъюнктуры, произведена оценка предполагаемого экономического эффекта от внедрения данной методики в ОАО «ММК».

Ключевые слова: электропотребление, прогнозирование, оптимизация, рынок электроэнергии, планирование, балансирующий рынок, снижение издержек, экономико-статистические методы.

Введение

В условиях рыночной экономики залогом успешного существования и развития предприятия служит постоянное снижение им своих затрат во всех областях. В металлургической отрасли затраты на электрическую энергию составляют 30% всех затрат на производство продукции, при этом металлургические предприятия потребляют 12–14% всей вырабатываемой в стране электроэнергии [4].

Теория и методы исследования

Для повышения конкурентоспособности электроэнергетической отрасли и привлечения в нее инвестиций Правительством РФ была разработана реформа постепенного перехода к рыночным отношениям в сфере электроэнергетики.

В рамках реформы рынок электроэнергетики был разделен на оптовый и розничный. На оптовом рынке функционируют генерирующие и сбытовые организации. На розничном – сбытовые организации и потребители. Неразделяемые, естественно-монопольные части рынка, такие как, например, электросети, остались в сфере ведения государства [2].

На смену долгосрочным договорам по тари-

фам, установленным государством, пришли договора с нерегулируемыми ценами. Это изменение не коснулось населения, которое по-прежнему оплачивает электроэнергию по тарифам, устанавливаемым региональными органами власти по методике федеральной службы по тарифам. Предприятия же, начиная с 2011 года, через сбытовые организации участвуют в торгах на трех рынках: рынок электроэнергии на сутки вперед, балансирующий рынок электроэнергии и рынок мощности.

Рынок на сутки вперед (РСВ) предполагает способ торговли, при котором объемы и цены определяются на основе результатов аукциона ценовых заявок поставщиков и покупателей электроэнергии. Целью аукциона является достижение таких равновесных цен и объемов покупки-продажи электрической энергии, при которых поставщики и покупатели получают наибольшую выгоду от участия в аукционе. Аукционы проводит государственная компания ОАО «Администратор торговой системы».

Несмотря на централизованное управление режимами генерации и конкурентными отборами ценовых заявок, для обеспечения надежной работы энергосистемы РСВ недостаточно. Прежде всего, это связано с вероятностным характером спроса. Существует ряд факторов, влия-

яющих на будущий спрос, причем прогнозировать их на сутки вперед или очень затруднительно или вообще невозможно. Есть некоторая доля неопределенности и в области генерации энергии, например вследствие аварий и поломок.

Ввиду всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что для качественного управления энергосистемой в реальном времени необходимо иметь механизмы поддержания баланса производства и потребления электроэнергии. В роли такого механизма выступает еще одна часть оптового рынка – «балансирующий рынок» (БР).

Согласно существующему механизму ценообразования на данных рынках потребителям предлагается выбрать одну из шести ценовых категорий, в соответствии с которой будет рассчитываться цена на потребленную электроэнергию и мощность. От выбранной ценовой категории будет зависеть, на каких рынках, в каких объемах и по каким ценам будет закупаться электроэнергия для предприятия.

Крупные предприятия с присоединенной мощностью более 670 кВт могут выбирать с третьей по шестую ценовые категории, что накладывает на них обязательство предоставления сбытовой организации почасового плана потребления электроэнергии на следующие сутки. Эти данные необходимы для участия сбытовой организации в торгах на рынке на сутки вперед. В случае отклонения фактического электропотребления предприятия от заявленного плана, сбытовая организация автоматически участвует в торгах на балансирующем рынке от лица предприятия, закупая необходимую энергию в случае перерасхода, либо продавая излишки. Участие предприятия на балансирующем рынке чаще всего ему не выгодно, так как цены на нем должны покрывать издержки системы, связанные с перераспределением электроэнергии в сети.

Помимо рыночных составляющих в цену на электроэнергию так же включаются составляющие, полностью регулируемые Федеральной службой по тарифам (ФСТ). На рис. 1 представлена структура цены на розничном рынке электроэнергии.

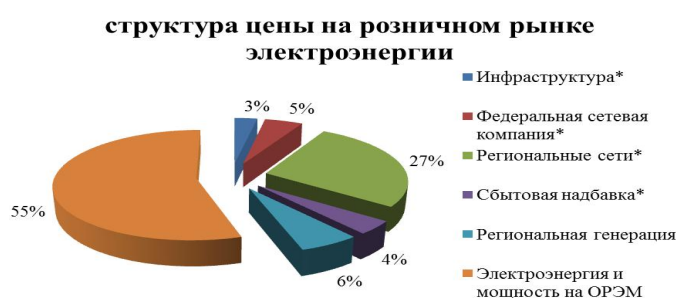


Рис. 1. Структура цены на розничном рынке электроэнергии

Звездочками помечены части, регулируемые ФСТ. Как видно из рис. 1, большая часть является рыночной и формируется в процессе торгов.

Согласно механизму ценообразования на рынках электроэнергии функция затрат, связанных с приобретением электрической энергии и мощности для предприятий, выбравших 6 ценовую категорию, примет вид:

$$C(x, pr, P, p, p_+, p_-, p_p) = x \cdot p + (x - pr) \cdot p_+ \cdot I_{(x-pr)>0} + (pr - x) \cdot p_- \cdot I_{(x-pr)<0} + P \cdot p_p + G, \quad (1)$$

где x – фактическое потребление электроэнергии предприятия за час; pr – планируемое потребление предприятия; p – цена на электроэнергию на рынке на сутки вперед; p_+ – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении фактического потребления над планируемым; p_- – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении планируемого потребления над фактическим; p_p – цена на мощность на рынке мощности; P – мощность, приобретаемая предприятием; G – прочие расходы, регулируемые государством (передача электроэнергии, обеспечение инфраструктуры энергосистемы РФ и т.д.); I – функция Хэвисайда.

Для минимизации функции затрат необходимо определить, на какие ее части предприятие может оказывать воздействие, а какие являются для предприятия внешними условиями.

Прочие расходы, регулируемые государством (G), устанавливаются ФСТ и находятся вне сферы регулирования предприятия.

На первый взгляд, может показаться, что мощность, приобретаемая предприятием, им же и регулируется, однако это не так. Минимальный обязательный порог мощности к покупке устанавливается электросбытовой компанией в зависимости от ретроспективной информации о необходимой ранее мощности. Следовательно, предприятие может только увеличивать свои расходы по приобретению мощности (например, при вводе нового оборудования).

Все цены, указанные в формуле, формируются на конкурентных рынках и являются экзогенными для предприятия.

Следовательно, предприятие может снижать затраты на приобретение электрической энергии и мощности за счет изменения реального и (или) планируемого потребления. А также за счет изменения ценовой категории, так как для различных категорий функция затрат изменяет состав слагаемых, для разных ценовых категорий различается ставка за электроэнергию (p). Например, цена за фак-

тически потребленную электроэнергию для предприятий, выбравших четвертую ценовую категорию, выше, чем в шестой, но предприятие не штрафуются в случае отклонения фактического потребления электроэнергии от планового.

В настоящее время существует 2 основных подхода для устранения потерь при отклонении фактического потребления электроэнергии от планового:

Жесткое лимитирование электропотребления, при котором на предприятии ограничивается производство в случае приближения к запланированному значению.

Точное прогнозирование потребления, при котором составляются точные планы производства и, как следствие, точные прогнозы потребления электроэнергии, отступление от которых допускается в крайнем случае.

Первый способ с позиции ОАО «ММК» трудно реализуем из-за сложности существующих на предприятии технологических процессов. Некоторое оборудование невозможно остановить, другое сложно контролировать, планируемые работы и регламентные ремонты не всегда проходят в соответствии с планом, переданным в технологическое управление.

Таким образом, контроль параметра x (электропотребление предприятия) для ОАО «ММК» тоже является трудновыполнимой задачей и в некотором смысле x становится для ОАО «ММК» экзогенно заданным параметром.

Из этого следует, что единственным реально возможным для снижения затрат на приобретение электроэнергии параметром является планируемое потребление ОАО «ММК» (pr).

Таким образом, главной целью данного исследования является разработка методики, позволяющей планировать почасовое потребление электрической энергии ОАО «ММК» таким образом, чтобы потери, связанные с отклонением фактического потребления электроэнергии от планового были минимальными.

Если рассматривать второй способ устранения потерь – точное прогнозирование электропотребления на основе теории временных рядов, корреляционно-регрессионного анализа или методами «Data mining», то можно отметить следующее. Существует два подхода: прогнозирование электропотребле-

ния отдельных цехов и затем объединение полученных прогнозов в общий прогноз по всему предприятию и прогнозирование электропотребления в целом по предприятию. На рис. 2 представлены величины стандартного отклонения потребления электроэнергии в различных цехах ОАО «ММК».

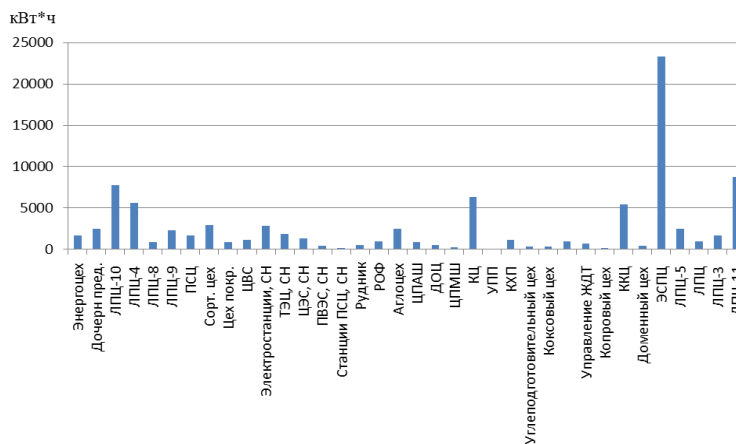


Рис. 2. Среднеквадратические отклонения электропотребления цехов ОАО «ММК»

Наибольшая дисперсия электропотребления наблюдается в электросталеплавильном цехе, кислородном цехе и листопрокатных цехах. Дисперсия остальных цехов значительно меньше и связана скорее с изменениями долгосрочных режимов работы цехов в целом, а не с изменчивостью электропотребления внутри дня. Для иллюстрации этого факта далее продемонстрированы графики внутридневного потребления различных цехов ОАО «ММК» (рис. 3–5). На рисунках видно высокую изменчивость внутридневного электропотребления в электросталеплавильном цехе и на ЛПЦ-10, в то время как в кислородном цехе она является достаточно низкой.

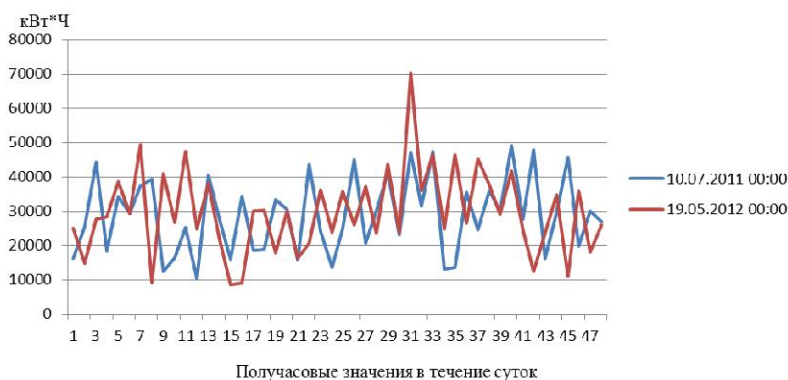


Рис. 3. Внутрисуточное потребление электроэнергии ЭСПЦ

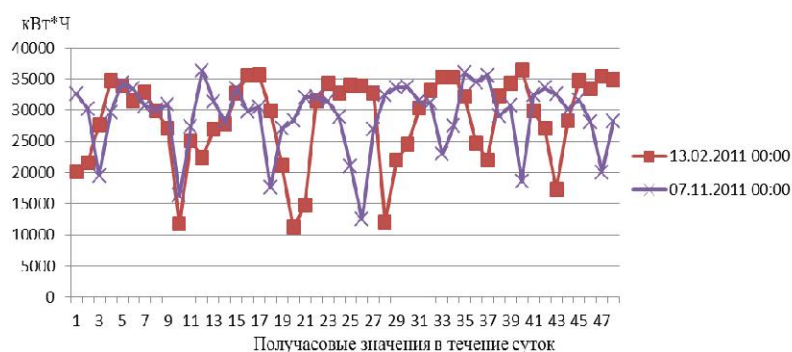


Рис. 4. Внутрисуточное потребление электроэнергии ЛПЦ-10

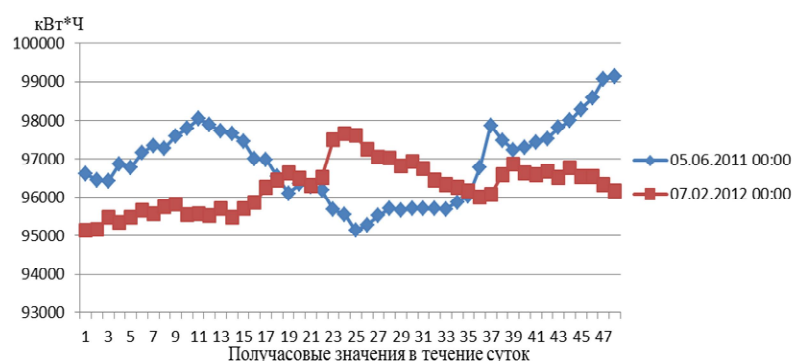


Рис. 5. Внутрисуточное потребление электроэнергии Ц

Для получения качественного прогноза электропотребления в целом по предприятию необходимо построить достаточно точные модели для цехов с высокой дисперсией электропотребления.

Данная задача оказалась невыполнимой из-за отсутствия необходимой статистики по параметрам, оказывающим определяющее влияние на внутрисуточное электропотребление, и/или принципиальной невозможности предугадать их значение на сутки вперед, чтобы построить достоверный прогноз. Например, характер изменения внутрисуточного электропотребления в ЛПЦ-10 (см. рис. 4) определяется технологическим циклом, а именно, когда и как долго будут длиться переделки, в какое время начнутся и закончатся ремонтные работы, среди которых есть и внеплановые и пр. Аналогичные проблемы возникают при прогнозировании электропотребления ЭСПЦ.

Поэтому в дальнейшей работе был использован второй подход — прогнозирование почасового электропотребления на сутки вперед в целом по предприятию. Для этого

использовались исторические данные о потреблении электроэнергии (авторегрессионная часть), а также временные характеристики, такие как день недели, час дня, и составляющая Фурье в виде периодической функции от часа года.

Построенные модели хорошо описывают тренд, однако не могут уловить внутрисуточную изменчивость электропотребления, что может привести к убыткам на балансирующем рынке (рис. 6).

Невозможность построения качественных прогнозных моделей привела к идее постановки иной задачи: разработать такую методику планирования электропотребления на сутки вперед, при которой потери предприятия от участия в торгах на балансирующем рынке были бы минимальными, не внося при этом никаких технических, технологических или организационных изменений.

В основу разработанной методики положена идея минимизации функции средних ожидаемых потерь от участия предприятия в торгах на балансирующем рынке. Для этого необходима дополнительная информация о рыночных ценах: цена на электроэнергию на рынке на сутки вперед, цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении фактического потребления над планируемым, цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении планируемого потребления над фак-

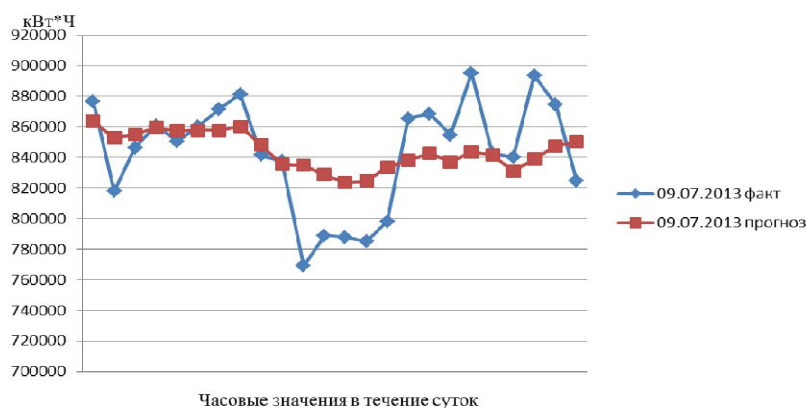


Рис. 6. Внутрисуточный прогноз электропотребления ОАО «ММК»

тическим.

Эти данные находятся в публичном доступе как на сайте ОАО «Администратор торговой системы», так и на сайте электросбытовой компании ООО «МЭК».

Соответственно для минимизации издержек теперь проводится прогнозирование не только электропотребления как такового, но и прогнозирование рыночных цен балансирующего рынка.

Ниже представлена полученная автором функция средних ожидаемых потерь от участия предприятия в торгах на балансирующем рынке:

$$G(pr) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[((x - pr) \cdot p_+ \cdot I_{(x-pr)>0} + (x - pr) \cdot p_- \cdot I_{(x-pr)<0}) \cdot f_x(x) \right] dx, \quad (2)$$

где x – фактическое потребление электроэнергии предприятия за час; pr – планируемое потребление предприятия; p_+ – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении фактического потребления над планируемым; p_- – цена на электроэнергию на балансирующем рынке при превышении планируемого потребления над фактическим; $f_x(x)$ – функция плотности распределения потребления электроэнергии ОАО «ММК» за час; I – функция Хэвисайда.

В результате минимизации данной функции по переменной pr получен прогноз, при котором издержки от участия ОАО «ММК» в торгах на балансирующем рынке будут минимальными.

$$\frac{dG(pr)}{dpr} = 0 \Rightarrow pr = F_x^{-1} \left[\frac{p_+}{(p_+ + p_-)} \right],$$

где F_x^{-1} – функция обратная интегральной функции распределения потребления электроэнергии ОАО «ММК» за час.

Необходимые для оптимального планирования электропотребления прогнозные значения $\frac{p_+}{(p_+ + p_-)}$ вычисляются с использованием статистических методов прогнозирования, причем моделировать значения этого коэффициента необходимо функцией, область значений которой находится в пределах $[0,1]$, например логистической функцией.

При вычислении планируемого оптимального объема электропотребления предполагается нормальность распределения потребления элек-

троэнергии и используется следующая формула:

$$\hat{pr} = F_{N_{(c,\sigma^2)}}^{-1} \left[\frac{\hat{p}_+}{(\hat{p}_+ + \hat{p}_-)} \right] = \hat{C} + \sigma_e \cdot N_{(0,1)}^{-1} \cdot \left[\frac{\hat{p}_+}{(\hat{p}_+ + \hat{p}_-)} \right], \quad (3)$$

где $\hat{pr}$ – планируемое значение потребления электроэнергии на соответствующий час, оптимальное с точки зрения минимизации функции (2); $\hat{C}$ – среднее ожидаемое прогнозное значение потребления электроэнергии на соответствующий час, рассчитанное методами прогнозирования временных рядов; σ_e – среднеквадратическое отклонение ошибки прогноза потребления электроэнергии; $N_{(0,1)}^{-1}$ – функция, обратная функции стандартного нормального распределения.

Заключение

Таким образом, методика оптимального планирования почасового потребления электрической энергии крупным металлургическим предприятием состоит из следующих этапов:

- 1) На основе ретроспективных данных строится прогноз потребления ОАО «ММК».
- 2) Рассчитывается ошибка прогноза и находится ее дисперсия.
- 3) Прогнозируется сумма цен балансирующего рынка за превышение фактического потребления над плановым и планового потребления над фактическим.
- 4) Прогнозируется ценовой коэффициент $\frac{p_+}{(p_+ + p_-)}$.
- 5) Рассчитывается оптимальный план потребления электроэнергии на сутки вперед с почасовой детализацией на основе приведенных выше данных и выведенной формулы (3).

При тестировании методики и расчете экономического эффекта использовались данные фактического и планового потребления электроэнергии ОАО «ММК». С учетом известных цен за электроэнергию на РСВ и БР дополнительные затраты предприятия на оплату электроэнергии по четвертой ценовой категории по сравнению с шестой на РСВ составили бы 20,34 млн руб в год. Дополнительные затраты по шестой ценовой категории на БР составили бы 13,31 млн руб. В случае применения разработанной методики дополнительные затраты по шестой ценовой категории на БР составили бы 7,27 млн руб в год. Таким образом, минимально ожидаемый эконо-

мический эффект использования предложенной методики составляет 6,04 млн руб.

В дальнейшем планируется улучшение методики путем совершенствования методов прогнозирования показателей, введения в функцию издержек штрафов за сильные отклонения, а также планируется разработка системы поддержки принятия решений при планировании потребления электроэнергии для крупных металлургических предприятий на основе данной методики.

Список литературы

1. Экономика и управление в современной электроэнергетике России: пособие для менеджеров электроэнергетических компаний / под ред. А.Б. Чубайса. М.: НП «КОНЦ ЕЭС», 2009. 616 с.: ил.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 июля 2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 августа 2006 г. № 529 «О совершенствовании порядка функционирования оптового рынка электрической энергии (мощности)».
4. Никифоров Г.В., Олейников В.К., Заславец И.И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. М.: Энергоатомиздат, 2003. 480 с.
5. Трофимова В.Ш. Экономико-математическое моделирование и прогнозирование электропотребления промышленного предприятия (на примере ОАО «ММК») // Экономика, Статистика и Информатика. Вестник УМО. 2010. №4. С. 109–114.
6. Анализ временных рядов и прогнозирование: учеб. пособие / Бушманова М.В., Мельникова Г.Г., Реент Н.А., Трофимова В.Ш. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF PLANNING TECHNIQUES FOR HOURLY ELECTRICITY CONSUMPTION BY A LARGE-SCALE METALLURGICAL PLANT (BY THE EXAMPLE OF MMK)

Trofimova Violetta Shamilevna – Ph.D. (Economics), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: violat@mail.ru.

Lipatnikov Andrey Vladimirovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: llipass@mail.ru.

Abstract. This article describes the mechanism of the pricing on the modern electricity market, studies functioning principles of the electricity and related goods market in the Russian Federation, presents the function of an enterprise's expenses connected with the electricity acquisition, shows the possible ways of the reduction of expenses and the opportunity of their usage at MMK, presents the electricity consumption statistics of MMK, suggests the method of expenses reduction based on market information, and evaluates the economic effect from introduction of this method at MMK.

Keywords: electricity consumption, forecasting, optimization, electricity market, planning, balancing market, reduction of expenses, statistical methods in economics.

References

1. Ekonomika i upravlenie v sovremennoy elektroenergetike Rossii: posobie dlya menedzherov elektroenergeticheskikh kompaniy. Pod redaktsiey A.B. Chubaisa. [Economy and management in modern power industry of Russia: tutorial for managers of power companies. Edited by A.B. Chubais]. Moscow: NP KONTs EES, 2009. 616 p.
2. Regulation of the Government of the Russian Federation of 11 July 2001 no. 526. On the reformation of the Russian power industry.
3. Regulation of the Government of the Russian Federation of 31 August 2006 no. 529. On improvement of the functioning procedure of the wholesale electricity (power) market.
4. Nikiforov G.V., Oleynikov V.K., Zaslavets I.I. *Energoberezhenie i upravlenie energopotrebleniyem v metallurgicheskoy proizvodstve* [Energy saving and energy consumption management at metallurgical plants]. Moscow: Energoatomizdat, 2003. 480 p.
5. Trofimova V.Sh. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye i prognozirovaniye elektropotrebleniya promyshlennogo predpriyatiya (na primere OAO MMK). [Economical and mathematical modeling and forecasting of electricity consumption of an enterprise (by the example of MMK)]. *Ekonomika, Statistika i Informatika. Vestnik UMO* [Economy, Statistics and Informatics. Vestnik UMO]. 2010, no. 4, pp. 109–114.
6. Bushmanova M.V., Melnikova G.G., Reent N.A., Trofimova V.Sh. *Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye: Uchebnoye posobie* [The analysis of time series and forecasting]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009.

ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 556.5;556.01

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАГНИТОГОРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Черчинцев В.Д.¹, Волкова Е.А.¹, Серова А.А.¹, Романова Е.Ю.²¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Россия² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия

Аннотация. В статье дана гидрохимическая характеристика Магнитогорского водохранилища в современных условиях. Особое внимание уделяется динамике изменения содержания тяжелых металлов в водоеме, находящемся в черте г. Магнитогорска. Анализ динамики изменения содержания тяжелых металлов за последнее десятилетие показывает, что она имеет тенденцию к увеличению и носит ярко выраженный сезонный характер.

Ключевые слова: водохранилище, фактические концентрации, кислородный режим, биогеохимическая провинция, метод инверсионной вольтамперометрии, батометр, динамика загрязнения.

Введение

Основными объектами, вызывающими загрязнение Магнитогорского водохранилища, обеспечивающего функционирование и развитие Магнитогорского промышленного узла, являются ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», автотранспортные предприятия, подразделения РЖД, левобережные и правобережные очистные сооружения, а также стоки ливневой канализации города. Контроль состояния водных объектов, находящихся на территории г. Магнитогорска, осуществляет ГУ «Челябинский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», а поверхностных водоемов, находящихся в зоне влияния ОАО «ММК», в частности Магнитогорского водохранилища, лаборатория охраны окружающей среды ОАО «ММК», проводящая анализ воды на 5 контрольных створах.

Указанная лаборатория имеет лицензию на проведение исследований по мониторингу загрязнения поверхностных водоемов в зоне влияния ОАО «ММК», оснащена современным исследовательским оборудованием и компьютерно-вычислительными машинами для обработки результатов проводимых экспериментов.

В отдельные периоды 2010 года отмечались экстремально высокие концентрации марганца Магнитогорского водохранилища у 1 плотины [10]. В 2012 году вода в Магнитогорском водохранилище оценивалась как «грязная». Река Урал в створе, расположенном выше г. Магнитогорска,

оценивалась как «очень грязная». Кислородный режим по всему течению реки в 2012 году в основном был удовлетворительным: содержание растворенного кислорода варьировалось от 6,86 до 13,31 мг/дм³, лишь в июле в створе ниже г. Верхнеуральска зафиксировано пониженное содержание растворенного кислорода – 5,52 мг/дм³ [6].

Основные результаты исследований

Отбор проб природных и сточных вод проводится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 515925, ГОСТ 17.1.5-05, СанПиН 2.1.5.980, РД 52.24.353. Пробы отбираются вручную с использованием батометра. Для транспортировки проб используется стеклянная и пластиковая тара [2–4, 7–9].

Исследования проб проводятся путем сочетания химических методов (гравиметрия, титриметрия) и физико-химических методов (атомно-абсорбционная спектрометрия, метод инверсионной вольтамперометрии) [5].

Сущность метода инверсионной вольтамперометрии состоит в предварительном накоплении анализируемого вещества на индикаторном электроде электролизом при контролируемом потенциале с последующим электрохимическим его растворением при линейно изменяющемся потенциале. Предварительное накопление может производиться как катодной поляризацией на стационарном электроде (для определения катионов) с последующим анодным растворением, так и анодной поляризацией (для определения

анионов и органических соединений) с последующим катодным восстановлением.

Проведенный анализ данных лабораторных исследований воды на выпуске из общекombинатовской оборотной системы охлаждения показал, что в целом содержание тяжелых металлов напрямую связано с сезонной динамикой и разнится в зависимости от времени года (рис. 1–3).

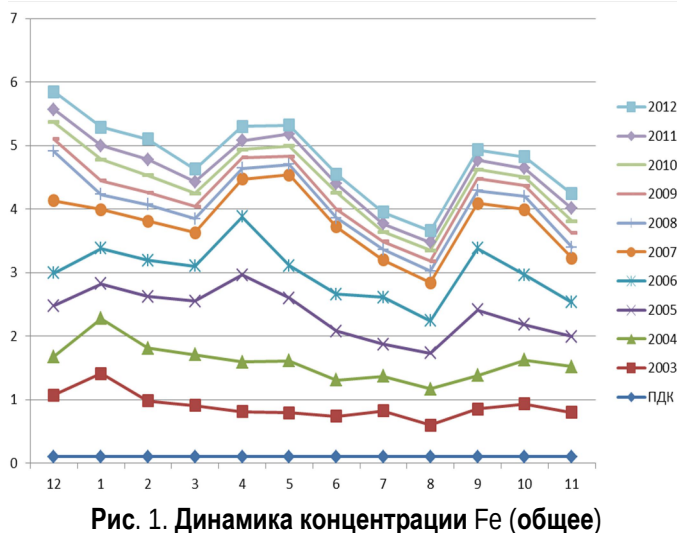


Рис. 1. Динамика концентрации Fe (общее)

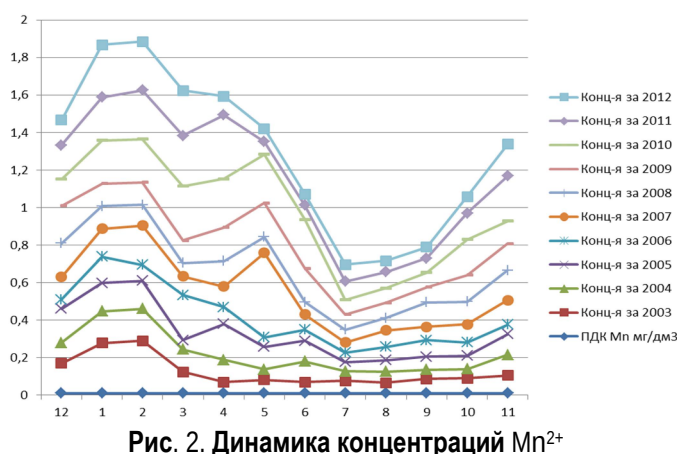


Рис. 2. Динамика концентраций Mn^{2+}

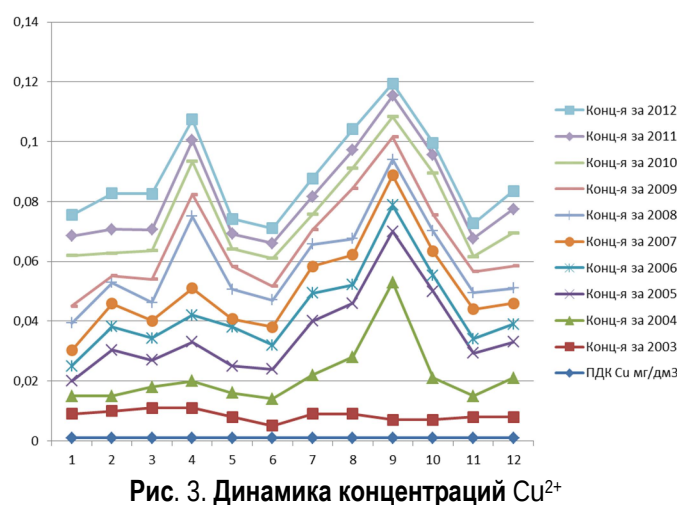


Рис. 3. Динамика концентраций Cu^{2+}

В статье приведены результаты исследований, проведенных в период с 2003 по 2012 год, сопровождающихся отбором проб воды не только из Магнитогорского водохранилища, но и реки Урал, включая Верхнеуральское водохранилище.

Из полученных данных видно, что превышение фактических концентраций над ПДК наблюдалось по веществам, содержание которых в почвах, скальных породах, поверхностных и внутренних водах Уральского региона обычно велико: железо, марганец, медь, что связано с формированием биогеохимической провинции в данном регионе. Рассматриваемый район является одной из 14 биогеохимических провинций Южного Урала [1].

Анализ воды из водохранилища за предыдущие годы показывает, что кислородный режим был в пределах нормы (от 6,44 до 14,2 мг/л). Среднее содержание меди в водоеме уменьшилось в рассматриваемый период в 2 раза, концентрации марганца остались на достаточно высоком уровне [10].

Если сравнить качество воды Магнитогорского водохранилища из года в год, то наблюдается превышение концентраций больше установленных нормативов только в период прохождения весеннего половодья. В данные периоды года отмечается также увеличение содержания железа общего до 2,7 ПДК. Среднегодовые концентрации при этом не превышают ПДК ни по одному из определяемых веществ.

Выводы

Активная антропогенная деятельность способствует созданию техногенных биогеохимических провинций, характеризующихся аномальным содержанием тяжелых металлов в воздухе, почвах, водоемах, растениях. Южный Урал является сложным в экологическом аспекте регионом России, где высокое содержание тяжелых металлов сопряжено с наличием крупных объектов промышленности.

Для установления четких взаимосвязей между перечисленными явлениями и оценки степени влияния на водные объекты требуется дальнейшее детальное изучение этого вопроса. Накопление знаний позволит перейти к разработке и внедрению комплекса региональных мероприятий по обеспечению гидроэкологической безопасности р.Урал и Магнитогорского водохранилища.

Список литературы

1. Грибовский Г.П. Некоторые аспекты экологической ситуации в Челябинской области и ее влияние на качество сельскохозяйственной продукции // Проблемы экологии Южного Урала. 1995. С. 48–51.
2. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
3. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб.
4. ИСО 5667/3-2003. Качество воды. Отбор проб. Часть 3. Руководство по хранению и обращению с пробами воды.
5. Оценка химико-экологического состояния водоемов по результатам анализа вод и донных отложений / Ларина Н.С., Шелпакова Н.А., Ларин С.И., Дунаева А.П. // Успехи современного естествознания. 2008. № 7. С. 56–58.
6. Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2012 году / Министерство по радиационной и экологической безопасности Челябинской области. Челябинск, 2012.
7. ПНД Ф 14.1:2.4.50-96. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой.
8. ПНД Ф 14.1:2.214-06 (ФР.1.31.2007.03809). Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектrophотометрии.
9. Р 52.24.353-2012. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод.
10. Характеристика высокого уровня загрязнения поверхностных вод на территории Челябинской области в 2006-2011 гг. / ФГУ Челябинский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://www.chelpogoda.ru/pages/188.php>.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE MAGNITOGORSK DAM POND AND TIME HISTORY OF ITS MAIN POLLUTION INDICATORS

Cherchintsev Vyacheslav Dmitriyevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 15. E-mail: eco_safe@magtu.ru

Volkova Elena Aleksandrovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 84 62. E-mail: eco_safe@magtu.ru

Serova Anna Andreevna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: anet28061989@rambler.ru

Romanova Elena Yuryevna – 1st category Engineer, Laboratory of Environmental Protection, OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia. Phone: +7 (3519) 24 58 03. E-mail: romanova.ey@mmk.ru

Abstract. The paper presents the hydrochemical characteristic of the Magnitogorsk dam pond in current conditions. A particular attention is drawn to the time history of the concentration of heavy metals in water. The analysis of changes in the concentration of heavy metals for the latest decade shows that it tends to increase and has a pronounced seasonal nature.

Keywords: dam pond, actual concentration, oxygen regime, biogeochemical province, inversion voltamperometry method, bathometer, pollution dynamics.

References

1. Gribovsky G.P. Some aspects of the environmental situation in the Chelyabinsk region and its impact on the quality of agricultural products. *Problemy ehkologii Yuzhnogo Urala* [Ecological problems of the Southern Urals]. 1995, pp. 48-51.
2. GOST 17.1.5.05-85. Nature protection. Hydrosphere. General requirements for surface and sea waters, ice and atmosphere precipitation sampling.
3. GOST R 51592-2000. Water. General requirements for sampling.
4. ISO 5667/3-2003. Water quality. Sampling. Part 3. Guidance on the preservation and handling of water samples.
5. Larina N.S., Shelpakova N.A., Larin S.I., Dunaeva A.P. Evaluation of chemical and ecological status of water bodies on the analysis of water and sediment. *Uspexhi sovremennogo estestvoznaniya* [The success of modern science]. 2008, no. 7, pp. 56-58.
6. The Ministry of Radiation and Ecological Safety of the Chelyabinsk region "The complex report on a state of environment of the Chelyabinsk region in 2012".
7. PND F 14.1:2.4.50-96. Quantitative chemical analysis of waters. Measurement technique for mass concentration of total iron in drinking, surface water and sewage by a photometric method with sulphosalicylic acid.
8. PND F 14.1:2.214-06 (FR.1.31.2007.03809). Quantitative chemical analysis of waters. Measurement technique for mass concentration of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chrome and lead in samples of natural water and sewage by flame atomic absorption spectrophotometry.
9. R 52.24.353-2012. Recommendations. Sampling of surface water of land and treated sewage.
10. The characteristic of a high level of pollution of surface water in the Chelyabinsk region in 2006-2011 / Federal State Institution Chelyabinsk Center for Hydrometeorology and Environment Monitoring. URL: <http://www.chelpogoda.ru/pages/188.php>.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 005.218.1

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Колокольцева Е.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, Россия

Аннотация. Изложено представление автора об особенностях управления риском с учетом нелинейного интегрированного характера инновационной деятельности в черной металлургии. Предложена обобщенная процедура оценки инновационного риска на основе гармонизированного использования международных стандартов и результатов экспертных исследований.

Ключевые слова: инновации, черная металлургия, управление инновационным риском, экспертное исследование.

Введение

Черная металлургия России сохраняет значение системообразующей отрасли народного хозяйства. На протяжении последнего десятилетия ведущие предприятия отрасли сумели реализовать целый ряд крупных инвестиционных программ по созданию мощностей, ориентированных на повышение качества продукции. Вместе с тем, сохраняются существенные проблемы развития черной металлургии, среди которых особо выделяется проблема конкурентоспособности, которая не ограничивается выпускаемой продукцией, но и распространяется на процессы ее изготовления, поставки и систему управления предприятием. По мнению большинства исследователей, решение этой проблемы видится в реализации инновационной стратегии.

В России взят курс на модернизацию экономики, сформированы основные компоненты национальной инновационной системы. Однако исследование основных приоритетов и динамики показателей развития экономики выявило низкий уровень инновационной активности, снижение интереса предприятий, реального бизнеса к инновационным исследованиям и разработкам, внедрению новых технологий и новых продуктов, что во многом обусловлено относительно высоким уровнем инновационного риска. В условиях постиндустриального развития все более резко проявляются тенденции глобализации, нелинейность и неравновесность процессов в мировой экономике, что объективно может препятствовать реализации инновационной

стратегии, предопределяя актуальность разработки более эффективных подходов к оценке, анализу и управлению высокими инновационными рисками предприятий. В полной мере это относится к процессам развития черной металлургии России. Для совершенствования управления инновационным риском на предприятиях целесообразна гармонизация требований по регламентации и стандартизации рациональных процессов риск-менеджмента и результатов экспертных исследований.

Состояние, проблемы и перспективы развития современной черной металлургии России

Черная металлургия исторически формировалась как важнейшая отрасль народного хозяйства и занимает одно из ведущих мест в экономике страны. Несмотря на сильные потрясения конца XX столетия, падение объемов производства в период кризиса начала XXI столетия, черная металлургия сохраняет значение базовой отрасли российской экономики и считается одной из системообразующих отраслей. Сегодня металлургический комплекс России включает около 3000 предприятий, на которых занято более 1 млн человек. Его доля в ВВП страны составляет около 5%, в промышленном производстве – около 17%, в экспорте – более 14%, в налоговых платежах в бюджеты всех уровней – более 9%. Как потребитель продукции и услуг естественных монополий металлургия использует от общепромышленного уровня 32% электроэнергии, 25% природного газа, 10% нефти и нефтепро-

дуктов, ее доля в грузовых перевозках составляет около 23%. Таким образом, состояние и перспективы черной металлургии тесно увязаны с развитием национальной экономики.

В составе крупных металлургических комплексов страны сегодня имеются предприятия по добыче и обогащению руд черных и цветных металлов, нерудных материалов, по производству чугуна, стали, проката, труб стальных, метизов, ферросплавов, огнеупоров, кокса, по переработке лома и отходов производства, большой комплекс предприятий вспомогательного назначения, а также научно-исследовательские и проектные организации. Металлургия является одной из отраслей специализации России в современном международном разделении труда. На сегодняшний день по производству стали Россия занимает четвертое место в мире (уступая лишь Китаю, Японии и США), по производству стальных труб – третье место в мире, по экспорту металлопродукции – также третье место в мире (после Китая и Японии) [1, с. 24–62].

Специфика металлургической отрасли несопоставима с другими отраслями из-за использования сложного комплекса технологий (для производства некоторых видов продукции требуется 15–18 переделов, начиная с добычи железной руды и необходимых материалов). Современные крупные предприятия черной металлургии представляют собой металлургическо-энергохимические комбинаты, где помимо основного производства создаются подразделения для утилизации вторичных ресурсов, сырья и материалов (например, производство строительных материалов, удобрений, химической продукции, метизов, металлоконструкций). При этом черная металлургия также тесно взаимосвязана с многими отраслями народного хозяйства. Ее сырьевая база – продукция горнодобывающей (железная руда, известняки, огнеупоры), топливной промышленности (коксуемый уголь, природный газ) и электроэнергетики. Цветная металлургия обеспечивает поставку легирующих компонентов для разнообразных сплавов. Народное хозяйство – важнейший источник получения лома и других отходов для их вторичного использования в металлургических переделах. Технологически черная металлургия неразрывно связана с некоторыми химическими производствами (коксование угля, использование кислорода и ряда инертных газов в процессах плавки металлов и другое). Большие объемы используемого сырья, получения готовой продукции и полупродуктов обуславливают их массовые перевозки различными видами транспорта.

Кроме того, производство черных металлов,

добыча и переработка сырья относятся к экологически опасным производствам, помимо выбросов газов в атмосферу и загрязнения водоемов образуется много не утилизируемых отходов (канцерогены коксохимического процесса, доменные выбросы, газы и пыль агломерационных фабрик, конвертерных и других плавильных агрегатов, шлаки всех металлургических переделов). Потребление огромных количеств воды, изменение ее температуры в металлургических процессах и попадание в нее их отходов приводит к химическому и температурному нарушению режима естественных источников водоснабжения.

Перечисленное убедительно показывает наличие высоких рисков текущей производственной деятельности в черной металлургии. К этому следует добавить, что с экономических позиций черная металлургия стала одной из наименее доходных отраслей современной обрабатывающей промышленности. Развитие всех ее производств требует очень больших капитальных вложений, что обусловлено технологией и большими объемами выпускаемой продукции, оснащением предприятий дорогостоящим оборудованием, созданием развитой заводской инфраструктуры. На современных предприятиях отрасли до 15–20% общих капиталовложений приходится направлять на обеспечение экологической чистоты работы металлургического предприятия. Причем в развитых странах мира требования к экологической безопасности только ужесточаются.

Капиталовложения в черную металлургию окупаются медленнее, чем в других отраслях. Такой инвестиционный климат в отрасли в целом не соответствует ее роли в индустрии любой страны. Основная продукция черной металлургии имеет относительно невысокую цену по сравнению с другими отраслями обрабатывающей промышленности. Металлурги вынуждены постоянно искать пути повышения эффективности за счет внедрения новых видов оборудования, разработок более совершенных технологий во всех металлургических процессах и их компьютеризации. Мировая практика показывает, что повышение рентабельности черной металлургии возможно на основе изменения территориальной и отраслевой структуры, отказа от комбинирования отдельных производств и повышения их специализации, сокращения количества предприятий и объемов выпуска их продукции. Все это ведет к большим межрегиональным, межстрановым и внутривосточным сдвигам в размещении отрасли и ее производств. Это особенно заметно в эпоху научно-технической революции и обеспечивает формирование новой географии черной металлургии (**рис. 1**).

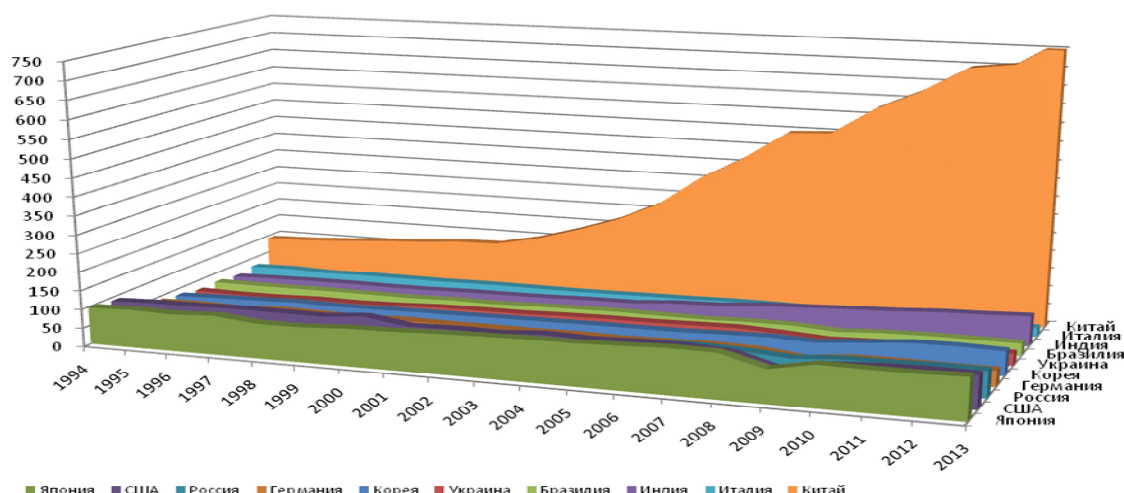


Рис. 1. Объемы мирового производства стали по десяти ведущим странам

Современный этап развития черной металлургии характеризуется бурным ростом отрасли в целом ряде стран Азии и Южной Америки, вставших на путь быстрого индустриального развития. Они становятся мощными конкурентами стран Западной Европы, США. Азия превратилась в ведущий регион черной металлургии мира по объемам получения всех главных видов продукции отрасли. Япония, а вслед за ней КНР, Республика Корея, Индия и остров Тайвань совершили мощный прорыв в ее развитии. В 1995 году все государства региона суммарно давали 50% кокса в мире, почти 45% чугуна, до 40% стали и проката. КНР и Япония являются крупнейшими в мире производителями черных металлов. Страной, сделавшей огромный рывок, как производитель стали, является Китай: к началу XXI столетия по привлечению иностранных инвестиций он занял первое место в мире. Инвестиции оживили Китай, и он вскоре начал модернизировать промышленность и инфраструктуру. Такой огромный прирост производства стали в Китае обеспечен вводом новых производств и увеличением производительности действующих производств.

Соответственно, для снижения рисков потери позиций по сбыту продукции черной металлургии внутри России, в первую очередь, целесообразно возродить металлоемкие сектора экономики (машиностроение, судостроение, станкостроение, строительство и другие), а за ее пределами – обеспечить конкурентоспособность на основе подхода «цена-качество». Положение современных предприятий черной металлургии России характеризуется определенной экономической нестабильностью вследствие высокой динамики внешней среды, что обуславливается их недостаточной низкой конкурентоспособностью, ориентацией на внешние рынки, низкой инновационной активностью. Одной из серьезных проблем представляется вы-

сокий уровень инновационного риска, для эффективного управления которым необходимо использовать специальное методическое обеспечение для выполнения организационно-экономических, инженерно-технических и финансовых мероприятий по идентификации, оценке, анализу и оптимизации рисков [1, с. 7–12, 177–190].

Несмотря на адаптацию металлургического комплекса страны к рыночным условиям, его технико-технологический уровень и конкурентоспособность ряда видов металлопродукции нельзя считать удовлетворительными, хотя в последние годы указанное отставание было существенно сокращено ведущими предприятиями отрасли. Сложившаяся конъюнктура рынка металла и тенденции его развития обязывают отечественных производителей принимать самые серьезные меры для совершенствования своей деятельности в связи с все более высокими требованиями к качеству стали. Во многих случаях удовлетворить эти требования при обычном ведении плавки только в кислородном конвертере или электропечи невозможно. Вследствие этого существенное развитие получили особые способы обработки металла в специальных установках: вакуумирование жидкого металла, его продувка инертными газами, обработка шлакообразующими смесями и специально приготовленным шлаком, продувка жидкого металла порошкообразными смесями, ускоренная или направленная кристаллизация металла и другие. Тем не менее, несмотря на существенные достижения, перечисленные способы повышения качества стали уже далеко не всегда обеспечивают требуемый результат, что предполагает поиск новых путей совершенствования технологии производства, использования нетрадиционных материалов и адекватных систем управления предприятиями [1, с. 82–96].

Разработка предложений по совершенствованию управления инновационным риском в черной металлургии

Управление риском – относительно новое направление менеджмента, развивающееся в мировой практике с начала 70-х годов XX века, а службы управления риском на предприятиях стали создаваться с середины 80-х годов. При этом отечественные предприятия этот вид управленческой деятельности начали осваивать лишь с конца 90-х годов, однако сегодня управление риском считается одной из наиболее динамично развивающихся областей.

Современные системы управления рисками металлургических предприятий опираются на разнообразные методики, основанные на совместном использовании основных положений серии международных стандартов менеджмента качества ISO 9000, безопасности цепей поставок ISO 28000, информационного менеджмента ISO 27000, энергетического менеджмента ISO 50001, этического менеджмента ISO 26000 и SA 8000, экологического менеджмента ISO 14000, стандартов промышленной безопасности OHSAS 18000, стандартов риск-менеджмента ISO 31000, RMS. COSO ERM – Enterprise Risk Management of the Committee of Sponsoring Organizations the Treadway Commission, а также на различные системы национальных отраслевых стандартов DIN – Deutsches Institut für Normung. JIS – Japanese Industrial Standards. ГОСТ РФ, справочные документы EC (Reference Document) по наилучшим доступным технологиям Best Available Techniques, BREF-BAT и другие. Такой подход позволяет гармонизировать международные и отечественные требования по регламентации и стандартизации рациональных бизнес-процессов риск-менеджмента в черной металлургии на различных стадиях управления рисками.

Вместе с тем, такой подход часто оказывается недостаточным в случае реализации предприятием инновационной стратегии и внедрения принципиально новых технологий, материалов, продуктов. Это обусловлено широким применением положений концепции приемлемого риска (Т. Бартон, Р.М. Качалов, П. Уокер), ориентированной лишь на ограничение возможных потерь вследствие реализации негативных аспектов риска. При этом часто не учитываются позитивные аспекты инновационного риска, что приводит к необоснованному отказу от внедрения наиболее перспективных новшеств с широким спектром рыночных возможностей [2, с. 10–17].

Совершенствование управления риском в черной металлургии, в условиях реализации инновационной стратегии, целесообразно прово-

дить, используя аппарат системной парадигмы, предложенный Я. Корнаи. При этом необходимо применять методологическую систематику управления риском взамен как методологического индивидуализма, характерного для неоклассической теории, так и методологического институционализма, характерного для институциональной теории. В рамках данной методики существенное значение имеют свойства системы, а не ее уровень, что позволяет преодолевать проблемы управления риском в условиях многоуровневого управления металлургическими комплексами и особенно актуально в условиях реализации инновационной стратегии [3, с. 44–45].

Предложенный подход позволяет перейти к определению субъекта инновационной деятельности как специфической триады: «государство – частное предприятие, обеспечивающее внедрение новшеств, – страховые компании». В рамках предлагаемого интегрированного субъекта инновационной деятельности государство выступает в качестве исследователя, инициатора и разработчика государственных целевых инновационных программ, а также финансового гаранта покрытия части ущерба в результате реализации некоторых инновационных рисков. В свою очередь, частное предприятие выполняет функцию исследователя, разработчика инновационных проектов, осуществляет внедрение новшеств, практическое использование инноваций и их диффузию. Наконец, страховые компании обеспечивают идентификацию и оценку рисков инновационного проекта (страховые брокеры), страхование части инновационных рисков (андеррайтеры) в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации [4, с. 149–150].

Представленный подход позволяет перейти к координированию целей инвестиционного менеджмента, риск-менеджмента и страховых компаний на основе конвергенции страховых и нестраховых методов управления высоким инновационным риском. Компетенцию инновационного менеджмента и риск-менеджмента целесообразно повысить до уровня подсистемы стратегического управления. При этом важнейшее значение приобретают экспертные исследования риска, обеспечивающие его идентификацию, оценку и анализ для корректировки инновационных решений.

Результаты гармонизации информации и анализа инновационных рисков черной металлургии целесообразно формализовать в широко известной сбалансированной системе показателей предприятия BSC (Balanced Scorecard), концепция которой была предложена Д.Нортоном и Р. Капланом. С этой целью формулируется и решается методическая задача разработки вариантов построения модифицированной BSC системы для ее применения в системе стратегического управле-

ния предприятий черной металлургии. Возможно использование одной из нескольких методик интеграции подсистем риск-менеджмента и BSC:

- формирование в BSC дополнительных показателей риска по уровням экономики (макрориски, мезориски, микрориски);
- формирование в BSC нового раздела «Инновационные риски»;
- формирование адаптированной BSC;
- полная интеграция подсистемы риск-менеджмента в систему стратегического управления предприятия;
- формирование модифицированной BSC для оценки и анализа рисков с учетом их иерархии.

Условия применения результатов экспертных исследований

Ключевым вопросом эффективности инновационной деятельности в России представляется обеспечение комплексности применяемых мер реагирования, включая стимулирование участия страхового бизнеса в страховании части инновационных рисков, а также предоставление необходимых государственных гарантий частичного покрытия ущерба в случае реализации некоторых инновационных рисков. Целесообразно представить иерархию инновационных рисков с разделением их на три блока, соответствующие традиционным уровням экономики: 1) макроуровень (включает глобальные и страновые риски); 2) мезоуровень (включает региональные и отраслевые риски); 3) микроуровень (включает внутренние риски конкретного предприятия, реализующего инновационную стратегию). Для выделения страховых и нестраховых рисков целесообразно использовать возможности аппарата теории нечетких множеств в целях идентификации и оценки инновационных рисков предприятия в условиях активизации инновационной деятельности. Применение указанного подхода для изучения инновационных рисков должно опираться на современное видение экспертов, на новую, немарковскую парадигму научного исследования [4, с. 149–151].

Для проведения исследований инновационных рисков предприятиям совместно со страховыми компаниями необходимо создавать рабочие группы экспертов, которые на регулярной основе будут проводить оценку рисков и для которых определяется единая процедура экспертного исследования. При формировании экспертных групп каждый эксперт, на основе персональных данных, получает квалификационную категорию δ . Общее число категорий целесообразно ограничить четырьмя категориями [5, с. 78–84]:

$$\delta \in \{I, II, III, \Omega\}. \quad (1)$$

При этом персональные данные по каждому эксперту будут характеризоваться тремя основными параметрами:

$$(e, s, t) \in E \times S \times T, \quad (2)$$

где E, S, T – множества частных квалификационных показателей и объективных сведений, по смыслу соответствующих альтернативным высказываниям.

В свою очередь, характеристика высшего и послевузовского образования эксперта $E = \{e_1, e_2, e_3\}$, где e_1 – базовое образование совпадает с профилем приоритетного направления (экономика, менеджмент, инженер-металлург); e_2 – базовое образование по смежной специальности; e_3 – базовое образование по иной специальности. Характеристика уровня научной подготовки эксперта $S = \{s_1, s_2, s_3\}$, где s_1 – академик РАН, член-корреспондент РАН, академик отраслевой академии, член-корреспондент отраслевой академии; s_2 – профессор, доктор наук; s_3 – кандидат наук, доцент, старший научный сотрудник. Характеристика опыта работы по профилю экспертизы $T = \{t_1, t_2, t_3\}$, где t_1 – опыт работы не менее десяти лет; t_2 – опыт работы не менее пяти лет; t_3 – опыт работы не менее одного года. Правило для определения квалификационной категории δ того или иного эксперта задается в виде

$$E \times S \times T \rightarrow \{I, II, III, \Omega\}; \quad (3)$$

$$\delta = \delta(e, s, t). \quad (4)$$

Рассчитывая частные квалификационные показатели e, s, t , можно сформировать следующую функцию квалификационной категории эксперта:

$$\delta = \begin{cases} I, \text{если: } \bar{e}s_1t_1 \vee e_1s_1t_2 \vee e_1s_2t_1; \\ II, \text{если: } e_1s_1t_3 \vee e_1s_2t_2 \vee e_1s_3t_1 \vee e_2s_1t_2 \vee e_2s_2t_1 \vee e_3s_1t_1; \\ III, \text{если: } e_1\bar{s}_3 \vee e_1s_3t_2 \vee e_2s_1t_3 \vee e_2s_2t_2 \vee e_3s_1t_2 \vee e_3s_2t_1; \\ \Omega, \text{если: } \bar{e}\bar{s}_3 \vee \bar{e}s_2t \vee e_3s_1t_3 \vee e_3s_2t_2, \end{cases} \quad (5)$$

где $\bar{e}, \bar{s}, \bar{t}$ – отрицание e, s, t соответственно; $\vee$ – логическая дизъюнкция соответствующих трехместных конъюнкций.

По нашему мнению, к проведению экспертизы инвестиционных рисков желательно привлекать

экспертов, попавших в категории *I* и *II*. Экспертов, попавших в категорию *III*, очевидно, целесообразно привлекать к экспертизе лишь в некоторых случаях. Экспертов, попавших в категорию Ω , к экспертизе желательно не привлекать.

Соответственно, перед риск-менеджментом предприятий черной металлургии и страховыми компаниями стоит задача тщательного подбора специалистов экспертных комиссий по оценке инновационного риска, персонала подразделений, обеспечивающего организацию работы экспертных комиссий, проведение опросов, обработку промежуточных и окончательных результатов, процедуру согласования мнений экспертов, использование полученных результатов для управления риском, обоснования и организации страхования и перестрахования рисков. Далее, для совершенствования управления инновационным риском на предприятиях черной металлургии целесообразна гармонизация требований по регламентации и стандартизации рациональных процессов риск-менеджмента и результатов экспертных исследований.

Исследователи отмечают проблему недостаточной развитости систем прогнозирования, оценки, управления и страхования инновационных рисков, частичное несовпадение уровня эф-

фективности страхования в системе управления риском предприятий и фактического уровня страховой защиты этих рисков в России. В зарубежной практике используется в некоторых случаях страхование инвестиционных проектов в целом, но в российской практике законодательство позволяет лишь частично страховать отдельные риски проектов (страхование зданий, оборудования, персонала, некоторых экстремальных ситуаций). Соответственно, высокие риски инновационных проектов пока остаются без достаточной страховой защиты, что ограничивает возможности роста инновационной активности.

Страхование как метод разделения инновационных рисков предприятия позволяет передать лишь часть его рисков страховым компаниям в размере некоторой страховой суммы. При этом страхование не изменяет существующие параметры риска, но обеспечивает защитой от возможных неблагоприятных финансовых последствий риска, что важно в условиях реализации инновационной стратегии. Для обеспечения эффективной страховой защиты предприятий черной металлургии инструмент страхования целесообразно использовать в комплексе с другими методами управления риском на основе их конвергенции (рис. 2).

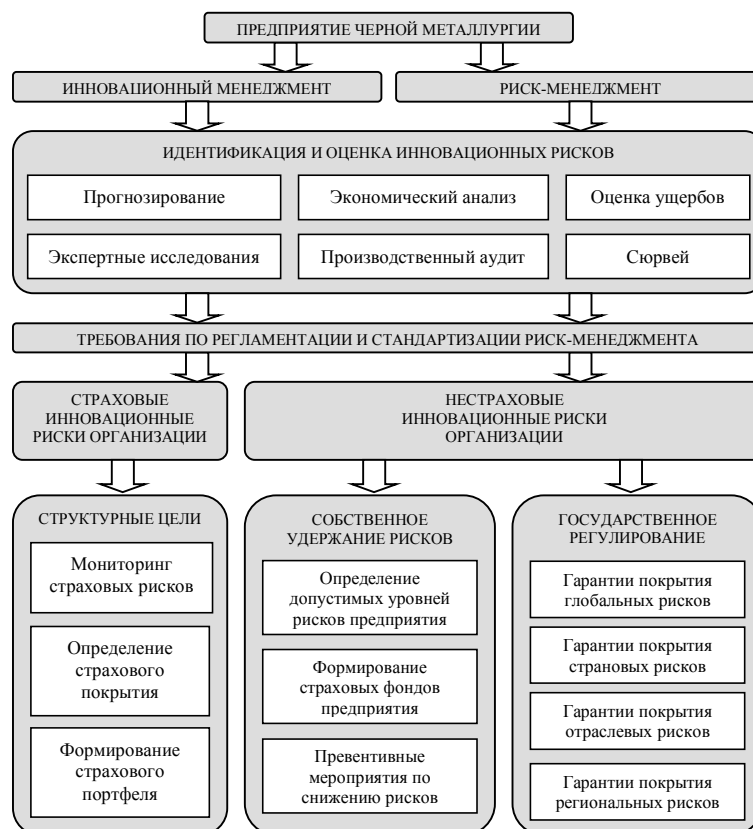


Рис. 2. Гармонизация требований стандартизации риск-менеджмента и результатов экспертных исследований риска

Заключение

Учитывая ситуацию в металлургическом комплексе страны, связанную как с усложнением основных технологических процессов, необходимостью совершенствования информационного обеспечения, решения сырьевых проблем, проблем качества и конкурентоспособности, а также усилением тенденций глобализации, нелинейности и неравновесности процессов в мировой экономике, что объективно может препятствовать реализации инновационной стратегии, представляется целесообразным сосредоточить внимание на совершенствовании управления инновационным риском.

На современных предприятиях черной металлургии представляется уместным обеспечить гармонизацию требований по регламентации и стандартизации рациональных процессов риск-менеджмента и результатов экспертных исследований, формируемых в соответствии с новой, немарковской парадигмой научных исследований. Учитывая нелинейный интегрированный характер инновационной деятельности, для совершенствования управления риском целесообразно применить подход на основе немарковских процессов с идентификацией и оценкой инновационных рисков в рамках их иерархической дифференциации (макроуровень, мезоуровень, микроуровень).

Такой подход позволит не только выделить страховые риски (оцениваемые экспертами по методикам частных марковских процессов) и нестраховые риски (оцениваемые по методикам более общих немарковских процессов), но также обеспечить эффективную гармонизацию экспертной и нормативной информации.

Предложена методика формирования экспертных комиссий по идентификации и оценке инновационных рисков на основе критериев базового образования, уровня научной подготовки экспертов и опыта их работы, что позволяет снизить уровень вторичного инновационного риска.

Список литературы

1. Немцев В.Н. Инновационное предприятие черной металлургии: проблемы стратегии и риска: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2010. 259 с.
2. Немцев В.Н. Исследование проблем управления риском инновационного предприятия: монография. М.: Анкил, 2011. 178 с.
3. Немцев В.Н. Риск-менеджмент инновационного предприятия: современная парадигма // Проблемы теории и практики управления. 2011. № 8. С. 43–48.
4. Гринберг Р.С., Журавин С.Г., Немцев В.Н. Новая парадигма научных исследований в условиях реализации инновационной стратегии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 147–151.
5. Хрусталева Е.Ю., Ильменская Е.М. Методология контроллинга научной деятельности учреждений Российской академии наук // Контроллинг. 2009. № 3 (31). С. 78–84.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

IMPLEMENTATION FEATURES OF AN INNOVATION STRATEGY IN FERROUS METALLURGY

Kolokoltseva Elena Viktorovna – Master's degree student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: kolokolcheva-elena@rambler.ru.

Abstract. The author gives an idea of risk management features factoring into a non-linear integrated nature of the innovation activities in ferrous metallurgy. Generalized methods of an innovation risk assessment are suggested on the basis of a harmonized application of international standards coupled with expert study results.

Keywords: innovation, ferrous metallurgy, innovation risk management, expert study.

References

1. Nemtsev V.N. *Innovatsionnoe predpriyatie chernoj metallurgii: problemy strategii i riska: monografiya* [The innovation enterprise of ferrous metallurgy: problems of the strategy and risks: monograph]. Magnitogorsk: Publishing house of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2010, 259 p.

2. Nemtsev V.N. *Issledovanie problem upravleniya riskom innovatsionnogo predpriyatiya: monografiya* [Study of risk management problems at innovation enterprises: monograph]. Moscow: Ankil, 2011, 178 p.
3. Nemtsev V.N. Risk management at innovation enterprises: a modern pattern. Problems of the theory and practice of management. 2011, no. 8, pp. 43-48.
4. Grinberg R.S., Zhuravin S.G., Nemtsev V.N. A new pattern of scientific research in the context of implementation of the innovation strategy. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, no. 1, pp. 147-151.
5. Khrustaleva E.Yu., Ilmenskaya E.M. Controlling methodology of scientific activities at institutions of the Russian Academy of Sciences. *Kontrolling* [Controlling]. 2009, no. 3 (31), pp. 78-84.

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛОМ

УДК 658.311.44:669.1.013

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОТБОРЕ КАДРОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

Сулейманов М.Г., Абдуллина Л.Ш.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Приведена доля аварийных ситуаций по организационным и техническим причинам. Выявлено значительное влияние «человеческого фактора» на возникновение инцидентов и аварий. Подбор надежных кадров рекомендовано осуществлять путем тестирования претендентов с использованием психодиагностических методов. Приведен пример тестирования по различным методикам.

Для обработки результатов применен кластерный анализ с использованием стандартных программ Statistica 5 и Excel.

Ключевые слова: Авария, инцидент, причины, человек, профессионально важные качества, надежность, профессиональный отбор, тестирование, профессиональная пригодность, кластерный анализ.

Введение

На металлургических предприятиях используемые вещества и материалы, насыщенность сложным оборудованием и действующий уровень организации технологических процессов создают предпосылки для возникновения инцидентов и аварий. Они приводят к значительным экономическим потерям и социальной напряженности работающих. Данные, полученные на основании изучения документации по аварийным ситуациям за 7–12 лет на одном из металлургических предприятий, показали, что доля инцидентов и аварий, в зависимости от причин, колеблется в различных пределах (табл. 1) [1–5].

Таблица 1

Причины инцидентов и аварий на
металлургическом объекте, %

Причины	Производство				
	До- менное	Стале- плавиль- ное	Прокат- ное	Коксохими- ческое	Энергоге- нерирую- щее
Техниче- ские	20–30	45–60	55–65	35–45	50–55
Организа- ционные	80–70	55–40	45–35	65–55	50–45

К техническим причинам относятся: неисправность технических устройств, оборудования, средств противоаварийной защиты, сигнализации или связи; несовершенство или кон-

структивные недостатки технологии; недостаточная изученность технологических процессов или характеристик безопасности веществ; несоответствие или отступление от проектной и технической документации по условиям обеспечения безопасности.

К организационным причинам относятся: неправильная организация производства работ; неэффективность или отсутствие производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности; умышленное отключение, вывод из строя средств защиты, сигнализации или связи исполнителями работ; низкий уровень знаний требований промышленной безопасности; нарушение технологической и трудовой дисциплины, неосторожные или несанкционированные действия исполнителей работ; несовершенство нормативных и технических требований.

Таким образом, количество аварийных ситуаций по организационным причинам («человеческому» фактору) остается одним из самых высоких.

Методы исследований

Выбор профессионально пригодного и надежного человека в металлургии, в основном, осуществляется из его медицинских показаний и профессиональной подготовленности (квалификации). Медицинское обследование производится по показателям функционального состояния организма, с применением физических и физиологических методов контроля состояния человека, при

различных мышечных и умственных нагрузках. При первичном отборе учитываются также общие противопоказания для работы во вредных и опасных условиях труда. Квалификацию получают в учебных заведениях и на производстве. Основными признаками квалификации являются: уровень усвоения знаний, навыки и умения; компетенция; способность рационально организовывать работу и действовать в нестандартных ситуациях. Отмеченные требования установлены тарифно-квалификационными справочниками [6].

Практика показывает, что лица, не обладающие достаточными способностями к определенному виду деятельности, с большими трудностями овладевают профессиональными навыками, чаще совершают неправильные действия и просчеты, обладают меньшей надежностью в работе. Поэтому для персонала, работающего на объектах с повышенной опасностью, возникает необходимость применения психологического, психофизиологического и социально-психологического отбора. Психологический отбор позволяет диагностировать и прогнозировать способности с учетом уровня мотивации. Психофизиологический отбор определяет успешность по конкретной деятельности и учитывает степень соответствия основных функций организма требованиям профессиональной деятельности. Социально-психологический отбор позволяет выявить мотивацию при выборе профессии и другие качества. При использовании дополнительных методов оценивают память человека, внимание, сенсомоторную координацию, эмоциональную устойчивость, склонность к риску, готовность к действиям в чрезвычайных ситуациях, реакцию на внешние раздражители и другие качества. Применение научно обоснованных методов при профессиональном отборе кадров позволяет снизить ошибочные решения и нарушения человека при выполнении сложных задач производственного характера и выбрать из претендентов лица, менее предрасположенные к авариям и инцидентам. Такие методы успешно применяются в практике работы в РФ и других государствах [7,8].

Существующие подходы к профессиональному отбору базируются на аналитическом (тестовом, анкетном, опросном) или синтетическом исследованиях.

Тестовый метод располагает наборами тестов, предлагаемых испытуемому, в процессе решения которых выявляются те или иные психофизиологические свойства. Известны четыре группы тестов, широко используемые в отечественной и зарубежной практике [9,10]. К ним относятся:

1) тесты определения способностей, которые служат для установления общего уровня интеллекта, внимания, пространственного воображения,

точности восприятия, психомоторных способностей. Определение уровня технического интеллекта осуществляется с использованием специального теста «механической понятливости». Исследование функций распределения и переключения внимания проводится по методике «расстановка чисел». Концентрация внимания исследуется с помощью «перепутанных линий». Функция кратковременной памяти определяется по способности испытуемого в течение определенного времени запомнить определенное количество фигур, имеющих различную внутреннюю штриховку;

2) тесты проверки зрения и слуха, назначения которых определено в названиях тестов;

3) личностные тесты ставят цель оценить такие качества, как импульсивность, активность, чувство ответственности, уравновешенность, общительность, осторожность, уверенность в себе, оригинальность мышления. Например, для определения уровня эмоциональной устойчивости оператора применяются тесты Р. Кеттелла, «САН», Ч.Д. Спилбергера;

4) тесты определения уровня квалификации, предназначенные для проверки профессиональных навыков.

Для оценки направленности, устойчивости мотивов и других профессионально важных качеств претендентов широкое применение находят нетестовые методики, в том числе различные опросники, анкеты-интервью, изучение личных дел, индивидуальная беседа и т. п.

Анкетный метод заключается в том, что с помощью сформулированных и сгруппированных определенным образом вопросов получают информацию о профессиональных интересах и некоторых других свойствах человека.

Опросный метод сбора первичной информации заключается в обращении с вопросами к определенной группе людей. С помощью опроса получают как событийную (фактическую) информацию, так и сведения о мнениях, оценках и предпочтениях опрашиваемых.

При использовании синтетического метода предусматривается структурно-функциональное моделирование, имитация отдельных трудовых действий или всей деятельности с помощью специально сконструированных приборов и аппаратуры.

Выбранные для профессионального отбора методы должны обладать валидностью, надежностью, дифференцированностью, объективностью, научной обоснованностью, практичностью. Этим требованиям в наибольшей мере отвечают тестовые методы.

Процесс тестирования включает несколько этапов: изучение профессий; установление профессиональных требований; выбор методов ис-

следования; психодиагностика претендентов; прогноз успешности обучения; деление контингента по степени их пригодности для выполнения производственных задач.

Рассмотрим пример отбора претендентов на должность мастера и сталевара металлургических предприятий. Профессиональная деятельность этих специальностей и требования к знаниям, умениям, навыкам приведены в [6].

У мастера темп работы высокий, нервно-напряженный. Это требует наличия эмоциональной устойчивости. Работа связана с передвижением на протяжении значительной части времени смены. На него воздействуют физические и химические факторы опасности. Требуется развитое внимание и объем оперативной памяти. Сложность технологического процесса предопределяет наличие высокого технического интеллекта. Он должен иметь представление о проблемах технологической безопасности производственных процессов и оборудования, организации и планировании производства на предприятии, перспективных направлениях совершенствования и развития технологических процессов в свете научно-технического процесса и т.д. Деятельность мастера предполагает наличие конфликтных ситуаций при общении с подчиненными. Мастер должен быть общительным, коммуникабельным, конформичным и доброжелательным к подчиненным. Категория работ легкая.

В обязанности сталевара входит знание технологического процесса, режимов работы оборудования, порядка производства регламентных работ. Сталевар выявляет и устраняет недостатки. Отдельные виды работ требуют применения

физического труда. Работник находится в условиях воздействия опасных и вредных факторов. Претенденты на данную работу должны обладать следующими качествами: распределением и концентрацией внимания; объемом кратковременной памяти; достаточным техническим интеллектом, способностью к обучению; ответственностью, эмоциональной устойчивостью.

При комплектовании бригады учитывают психофизиологическую, социально-психологическую и профессионально-психологическую совместимость, которые предполагают соответствие умственного и физического темпа работников смены или бригады, совпадение социальных ролей, интересов, ценностной ориентации, отсутствие расхождения между реальным и идеальным партнером. При формировании коллектива, отвечающего критериям профессионально-психологической пригодности, следует также руководствоваться условием несовпадения уязвимых качеств всех работников. При выполнении перечисленных условий бригада (смена) в целом будет отвечать критерию профессиональной пригодности.

На основании анализа условий труда и требуемых качеств рассматриваемых категорий работников (мастера и сталевара) рекомендованы методы испытаний и виды психодиагностических тестов. Предварительно, перед тестированием, осуществляется определение по каждому тесту оптимальных (эталонных) значений баллов (А), по которым судят о наличии тех или иных качеств у испытуемых. Более высокие требования (значения баллов) рекомендуются для должности мастера. Для рассматриваемых профессий такие значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Профессионально значимые качества профессий сталеплавильного производства

Профессионально важные качества	Свойства	Психодиагностическая методика	Профессии		Тесты	
			мастер	сталевар	Обозначения	Оптимальные значения
Внимание	распределение, концентрация	«Красно-черная таблица Шульте»	+	+	A1	<=150 с (<=7 ошибок)
	переключение	«Корректирующая проба»	+	+	A2	850 (<=5 ошибок)
Память	объем кратковременной памяти	метод воспроизведения фигур	+	+	A3	0,3–1
		опросник «Память на числа»	+	+	A4	8–12
Технический интеллект	сообразительность, быстрота усвоения материала	«Тест механической понятливости Беннета»	+	+	A5	40–59
		Тест Р. Кеттелла, фактор «В»	+	+	A6	6–8
Коммуникабельность, конформизм	слаживаемость, срабатываемость коллектива	Тест Р. Кеттелла, фактор «А»	+	+	A7	8–12
		Тест Р. Кеттелла, фактор «Q2»	+	+	A8	6–8
Доброжелательность	слаживаемость, срабатываемость коллектива	Тест Р. Кеттелла, фактор «L»	+	+	A9	1–5
Социально-психологическая совместимость	межличностные отношения	тест ДМО – диагностика межличностных отношений Т. Лири	+	+	A10	16–28
Эмоциональная устойчивость	сила нервной системы	Тест Р. Кеттелла фактор «С»	+	+	A11	8–12
Ответственность	нормативность поведения	Тест Р. Кеттелла фактор «G»	+	+	A12	8–12

После проведения тестирования составляется таблица с занесением в нее информации об эталонных и фактических значениях тестов. Эталонные значения тестов делятся по степени пригодности на совершенно пригодные, пригодные, условно пригодные и не пригодные. В табл. 3 приведен фрагмент результатов тестирования претендентов из двадцати человек на должность мастера. Анализ показывает, что испытуемый №15 (работает в момент эксперимента мастером) является пригодным, а №20 (работает в момент испытания сталеваром) – условно пригодным. Другие кандидаты на период испытания не соответствуют требованиям и не могут быть рекомендованы на рассматриваемую должность.

Эталонные и фактические значения тестов для претендентов на должность мастера

Категории пригодности	Тесты							
	A4	A6	A7	A8	A9	A11	A12	Средние значения
	Эталонные значения тестов							
1 Совершенно пригодные	12	8	12	8	5	12	12	9,86
2 Пригодные	8	6	8	6	1	8	8	6,43
3 Условно пригодные	7	5	7	5	6	7	7	6,29
4 Не пригодные	4	4	4	4	4	4	4	4,0
Испытуемые	Результаты тестов испытуемых							
№ 1 (сталевар)	4	1	2	1	7	10	11	5,14
№ 5 (сталевар)	1	3	7	1	3	5	9	4,14
№ 15 (мастер)	12	4	9	6	3	9	9	7,43
№ 20 (сталевар)	8	2	6	8	3	5	12	6,29

Такой результат получен при использовании тестов в сопоставимых единицах измерения абсолютных значений. Для исключения искажений в вычислениях, из-за различия в размерностях абсолютных значений, результаты тестов нормируют путем деления центрированной величины на среднееквадратичное отклонение и представляют в безразмерном виде.

Обработка результатов

Обработка результатов занимает значительное количество времени. Для ускорения этого процесса рекомендуется применять метод кластерного анализа в пакете прикладных программ Statistica 5 и Excel.

Кластерный анализ представляет собой совокупность методов, позволяющих классифицировать многомерные наблюдения, каждое из которых описывается набором исходных переменных в условиях отсутствия обучающих выборок. Этот вид математической обработки результатов изу-

чения профессиональной пригодности исследуемых претендентов позволяет осуществить содержательный анализ исходных данных, облегчает интерпритацию результатов, получать квалифицированное решение поставленной задачи.

Проведение классификации возможно при условии сходства объектов по наблюдаемым признакам. Сходство объектов задается правилом вычисления расстояния между любой парой исследуемых объектов – метрики. В задачах кластерного анализа для этого используют евклидово расстояние. Более подробно методика использования кластерного анализа рассмотрена в работах [11,12].

Процесс анализа данных с помощью системы Statistica состоит из нескольких этапов. На первом этапе осуществляется ввод эталонных и исходных данных в виде матрицы размерности $n \times k$. Второй этап заключается в нормировании путем вызова модуля Data Management и строки Standartize variables нажатием кнопки Select All. Третий этап состоит в вызове методов кластерного анализа. Обычно применяют метод –средних. С этой целью выбирают модуль Cluster analysis из списка Statistica Module Switcher, строку – из списка K – means clustering. Далее выбирается строка cases (rows) – классификация по объектам. Устанавливается желаемое число кластеров в строке Number of clusters. В данном случае

принимается три кластера по числу вариантов приемлемости (пригодный, условно пригодный, не пригодный). После нажатия кнопки Ok появляется окно результатов K – means clustering Results. Окончательный ответ выводится в виде табл. 4 нажатием кнопки Members of each cluster & distances.

В результате исследований окончательных операций в пакете Statistica и Excel, на основании математического анализа фрагментарных данных табл. 4 получены: испытуемый №1 относится к кластеру 2 (условно пригодный, с евклидовым расстоянием 1,09), испытуемый №5 относится к кластеру 3 (не пригодный, с евклидовым расстоянием 0,86), испытуемый №15 относится к кластеру 1 (пригодный, с евклидовым расстоянием 0,41), испытуемый №20 (пригодный, с евклидовым расстоянием 0,83). Таким образом, действующий мастер и претендент на должность мастера (сталевар, испытуемый 20) пригодны к выполнению обязанностей мастера.

Таблица 4

руководству соответствующие рекомендации.

**Оценка пригодности претендентов
на должность мастера**

Номер кластера	Испытуемые, входящие в данный кластер	Евклидово расстояние от центра класса до переменной
Кластер №1 (пригодные)	Испытуемый №15 (мастер)	0,41
	Испытуемый №20 (сталевар)	0,83
Кластер №2 (условно пригодный)	Испытуемый №1 (сталевар)	1,09
Кластер №3 (не пригодный)	Испытуемый №5 (сталевар)	0,86

Список литературы

1. Анализ состояния и основные направления управления риском в кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / Сулейманов М.Г., Медведев А.В., Уржумцев В.В. и др. // Безопасность жизнедеятельности. 2003. №10. С. 17–20.
2. Анализ факторов и оценка риска возникновения аварийных ситуаций в доменном производстве ОАО «ММК» / Сулейманов М.Г., Уржумцев В.В., Черчинцев В.Д. и др. // Безопасность жизнедеятельности. 2006. №9. С. 16–21.
3. Анализ и управление промышленными рисками в цехах коксохимических предприятий / Тимиргалеева Л.Ш., Петухов В.Н., Сулейманов М.Г., Кутный С.И. // Кокс и химия. 2009. № 6. С. 36–41.
4. Управление риском на энергогенерирующих объектах ОАО «ММК» / Сулейманов М.Г., Тимиргалеева Л.Ш., Шакирова А.К., Радуга М.А. // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сб. материалов IV междунар. науч.-практ. конференции. Т.1. Челябинск: Изд. Центр ЮУрГУ, 2009. №10. С. 301–305.
5. Состояние и уровень промышленной безопасности на прокатном переделе ОАО «ММК» / Сулейманов М.Г., Крутских К.Е., Фаррахова А.В. и др. // Молодежь. Наука. Будущее. Вып. 6: сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2006. №10. С. 44–47.
6. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих. Вып.7. М., 2008.
7. Профессиональный отбор персонала для работ с вредными и (или) опасными условиями труда // Охрана труда: экспресс-информация. Отечественный опыт / ВНИИ охраны и экономики труда. М., 2009. Вып.1. С. 3–42.
8. Зарубежный опыт проведения профессионального отбора // Охрана труда: Экспресс-информация. Зарубежный опыт/ ВНИИ охраны и экономики труда. М., 2009. Вып.3. С. 3–25.
9. Ростунов А.Т. Формирование профессиональной пригодности. Минск: Вышэйш шк., 1984. 203 с.
10. Психологическая диагностика: Пробл. и исслед / М.К. Акимова, Е.М. Борисова, К.М. Гуревич и др.; под ред. К.М. Гуревича. М.: Педагогика, 1981. 232 с.
11. Бушманова М.В., Дуброва Т.А., Мочалкина Н.А. Кластерный анализ. Проведение классификаций многомерных наблюдений методами кластерного анализа в пакете «Statistica»: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 103 с.
12. Совершенствование методики профессионального отбора работников металлургических предприятий / Сулейманов М.Г., Тимиргалеева Л.Ш., Уржумцев В.В., Кутный С.И.; ГОУ ВПО «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». Магнитогорск, 2007. 49 с. Деп. в ВИНТИ 23.04.2007, № 447-В 2007.

Заключение

По завершению профессионального отбора предпочтение отдается претендентам, которые имеют наибольший уровень профессионально важных качеств, свойств и благоприятные перспективы их развития.

По результатам профессионального отбора оформляются карты обследования с указанием используемой методики, оценкой выполнения, датой проведения обследования и присвоением группы профпригодности (безусловно пригодный, пригодный, условно пригодный, непригодный).

Заключение о профессиональной пригодности является официальным документом, обязательным при приеме на работу, для дальнейшего повышения квалификации или перевода с одной специальности на другую.

На основании личностного тестирования психолог строит прогноз по профессиональной психологической адаптации работника и выдает

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH**EVALUATION OF PERSONNEL RELIABILITY
FOR PROFESSIONAL PERSONNEL SELECTION IN METALLURGY**

Suleimanov Marat Gizatovich – Ph.D (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Abdullina Liliya Shamilevna – Ph.D. (Eng), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Abstract. This article presents the share of accidents for organizational and technical reasons. It was revealed that a human factor represented a considerable influence on incidents and accidents. It is recommended to select reliable personnel by giving psychodiagnostic tests to applicants. The article gives an example of testing by various methods.

A cluster analysis is used for processing of the results by standard software.

Keywords: Accident, incident, reasons, person, relevant qualities, reliability, professional qualified selection, testing, vocational aptitude, cluster analysis.

References

1. Suleimanov M.G., Medvedev A.V., Urzhumtsev V.V. and others. Analysis of the State and Fundamental Trends of Risk Control in the BOF Shop of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety]. 2003, no. 10, pp. 17–20.
2. Suleimanov M.G., Urzhumtsev V.V., Cherchintsev V.D. and others. Analysis of Factors and Risk Assessment of Accidents on Blast-Furnace Facilities at OJSC MMK. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety]. 2006, no. 9, pp. 16–21.
3. Timirgaleeva L.Sh., Petukhov V.N., Suleimanov M.G., Kutnyi S.I. Analysis and Industrial Risk Management in Shops of Coke and Chemical By-products Manufacturing Enterprises. *Koks i khimiya* [Coke and Chemistry]. 2009, no. 6, pp. 36–41.
4. Suleimanov M.G., Timirgaleeva L.Sh., Shakirova A.K., Radul M.A. Risk Control at Energy Generating Stations of OJSC MMK. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v tret'em tysyacheletii. Sb. materialov IIV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, tom. 1* [Life Safety in the Third Millennium. Symposium book of IIV International scientific and practical conference, vol. 1]. Chelyabinsk: Publ. South Ural State University Center, 2009, no. 10, pp. 301–305.
5. Suleimanov M.G., Krutskikh K.E., Farrakhova A.V. and others. State and Industrial Safety Level at Rolling Mill Facilities of OJSC MMK. *Molodezh'. Nauka. Budushhee. Vyp. 6. Sb. nauchnykh trudov* [Youth. Science. Future. Iss. 6. Symposium book of scientific studies]. Magnitogorsk, 2006, no. 10, pp. 44–47.
6. Unified Tariff and Qualification Guide of Jobs and Occupations of Workers, iss. 7, Moscow, 2008.
7. Qualified Personnel Selection for Harmful or Dangerous Working Conditions. Occupational safety: Express information. Domestic Experience. All-Union Scientific Research Institute of Occupational Safety and Labor Economics. Moscow, 2009, iss. 1, pp. 3–42.
8. Foreign Experience of Implementation of Qualified Selection. Occupational safety: Express information. Foreign Experience. All-Union Scientific Research Institute of Occupational Safety and Labor Economics. Moscow, 2009, iss. 3, pp. 3–25.
9. Rostunov A.T. *Formirovanie professional'noj prigodnosti* [Professional Aptitude Formation]. Minsk: Higher School, 1984, 203 p.
10. Akimova M.K., Borisova E.M., Gurevich K.M. and others. Psychological Diagnostics: Problems and Research. Ed. K.M. Gurevich. Moscow: Pedagogics, 1981, 232 p.
11. Bushmanova M.V., Dubrova T.A., Mochalkina N.A. *Klasternyy analiz. Provedenie klassifikatsiy mnogomernykh nablyudeniy metodami klasternogo analiza v pakete «Statistica»: Uchebn. posobie* [Cluster Analysis. Implementation of Classifications of Multidimensional Observations by Methods of a Cluster Analysis in the Package "Statistica": Teaching Aid]. Magnitogorsk: MSTU, 2002, 103 p.
12. Suleimanov M.G., Timirgaleeva L.Sh., Urzhumtsev V.V., Kutnyi S.I. Improvement of Methods for Professional Selection of Employees for Metallurgical Enterprises. Magnitogorsk, 2007, 49 p.

УДК 65.01

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА ФГБОУ ВПО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»

Логунова О.С., Леднов А.В., Королева В.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В работе приведены методика и результаты исследования публикационной активности профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Оценка выполнена для крупных подразделений университета, таких как институты и факультеты, а также каждой кафедры и персоны. Выявлены недостатки существующей системы оценки и предложены пути ее коррекции на следующие периоды работы.

Ключевые слова: публикационная активность, оценка деятельности преподавателя, индекс Хирша, цитируемость, научная статья.

Введение

Современное научное сообщество заинтересовано в формировании коллективов, способных выполнять эффективные образовательные и научно-исследовательские функции. Одним из

показателей эффективности работы научно-педагогического работника является его публикационная активность. Проблема оценки публикационной активности ученого является объектом исследования наукометрии, которая изучает не только эволюцию науки, а также методы и

способы статистической обработки информации о количестве опубликованных статей, цитируемости и взаимосвязанных показателей, таких как индекс Хирша, импакт-фактор журнала и др. Интерес к возможностям статистической оценки деятельности ученого проявляется российскими и зарубежными сообществами [1, 2]. Предлагаются различные методы и способы их оценки. Например, в работе [3] представлены способы вычисления цитирования, формирования базы данных и их использования при оценке деятельности ученых. Также представлены модели, построенные на основе методов описательной статистики и ошибок вычисления.

Для учета публикаций и цитирования в современном мире существует множество наукометрических систем, в которых консолидируются сведения о публикациях (научные статьи, книги, патенты, диссертации и авторефераты, отчеты о научной деятельности) и обращения (цитирования) источников, включенных в эти системы. Наиболее известными среди них являются системы Web of Science и Scopus. Наряду с мировыми наукометрическими системами разрабатываются и внедряются системы, характеризующие публикационную активность ученых в конкретно взятой стране. В Российской Федерации наукометрическая система представлена Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) на платформе Elibrary. Вопросы использования наукометрических показателей при оценке деятельности ученых являются спорными и обсуждаются во множестве работ российских ученых [4–8]. Однако, несмотря на дискуссионность вопросов, наукометрия остается единственным научно-обоснованным инструментом для управления научной деятельностью [9, 10].

Требования к высшим учебным заведениям, реализующим образовательные программы, содержат достижение показателей по количеству опубликованных статей, количеству цитирований и значения индекса Хирша в наукометрических системах Web of Science, Scopus и РИНЦ. Выполняя требования, предъявляемые к высшим учебным заведениям, была поставлена цель: построить систему мониторинга и управления публикационной активностью профессорско-преподавательского состава университета, позволяющую достигнуть требуемых значений показателей публикационной активности, включенных в перечень показателей для заказа контрольных цифр приема, требования конкурсов на финансирование научных проектов, перечень показателей ежегодного мониторинга вузов, перечень показателей для членов диссертационных советов и требованиям ФГОС 3+ для организаций, реализующих магистерские программы.

Методика оценки публикационной активности профессорско-преподавательского состава университета

Для достижения поставленной цели в течение 2013 и 2014 календарных лет в ФГБОУ ВПО «МГТУ» функционирует система рейтинговой оценки деятельности профессорско-преподавательского состава. Ежегодно в разделе квалификации представлен сложноструктурированный показатель публикационной активности, включающий статистические оценки научной деятельности научно-педагогического работника. Состав и структура показателя публикационной активности в 2013 и 2014 гг. приведены на **рис. 1**. Количество показателей 2013 года составило 16 значений и в 2014 – 10 значений. Сокращение количества показателей было произведено в сторону консолидации взаимосвязанных показателей, характеризующих качество публикационной активности преподавателя.

Для каждого структурного элемента был назначен весовой коэффициент, и итоговая публикационная активность преподавателя вычислялась, как линейная комбинация значений показателя и соответствующего весового коэффициента согласно выражению:

$$K_i = \sum_j^n \alpha_j \cdot k_{ij}, i = 1, N, \quad (1)$$

где K_i – показатель публикационной активности i -го преподавателя; N – количество оцениваемых преподавателей; n – количество показателей, входящих в структуру оценки публикационной активности; α_j – кортеж весовых коэффициентов для каждого структурного показателя, назначенных рейтинговой комиссией и утвержденных руководителем университета; k_{ij} – значение j -го показателя публикационной активности для i -го преподавателя.

Доля каждого элемента структуры (см. **рис. 1**) в общей сумме публикационной активности приведена на **рис. 2**. В 2014 году произошло выравнивание долей показателей по системе РИНЦ, но доля публикационной активности при высоких весовых коэффициентах остается незначительно по Web of Science и Scopus.

На **рис. 2** введены обозначения по РИНЦ: $H1$ – индекс Хирша; $S1$ – среднее число цитирований на одну публикацию; $K1$ – количество публикаций с ненулевым импакт-фактором; $IF1$ – средний импакт-фактор журналов, в которых опубликованы статьи; $IF2$ – средний импакт-фактор журналов, в которых процитированы статьи; $K2$ – количество статей, опубликованных в журналах ВАК; $K5$ – количество зарубежных статей; $K6$ – количе-

ство переводных статей; K7 – количество статей без статуса; C1 – количество цитирования статей ВАК; C2 – количество цитирований переводных статей; C3 – количество цитирований зарубежных статей; по системе Scopus: H2 – индекс Хирша; K3 – количество публикаций; C4 – количество цитирований; по системе Web of Science: H3 – индекс Хирша; K4 – количество публикаций; C3 – количество цитирований.

В результате был сформирован массив записей, содержащий сведения о преподавателе: фамилия, имя, отчество, принадлежность к кафедре и инсти-

туту/факультету, кортеж показателей публикационной активности согласно рис. 1 и вычисленные значения публикационной активности по (1).

Полученная информация в 2013 и 2014 гг. позволила провести статистический анализ результатов по университету в целом, по крупным подразделениям – университету и институтам/факультетам, кафедрам и отдельным персонам. При анализе данных были учтены результаты реорганизации структуры университета в феврале 2014 года.

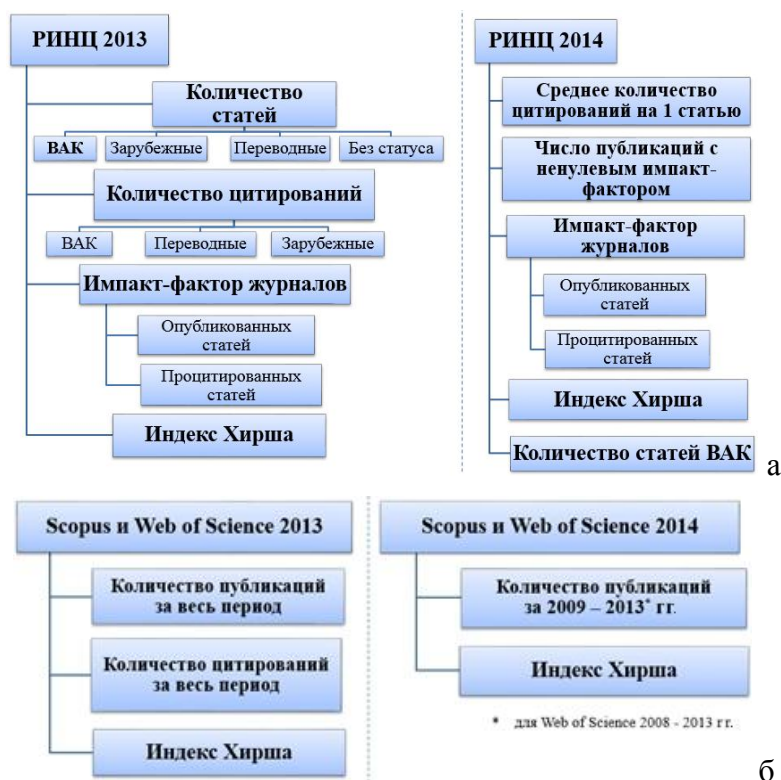


Рис. 1. Структура показателей публикационной активности профессорско-преподавательского состава в 2013 и 2014 гг.: а – показатели РИНЦ; б – показатели Web of Science и Scopus

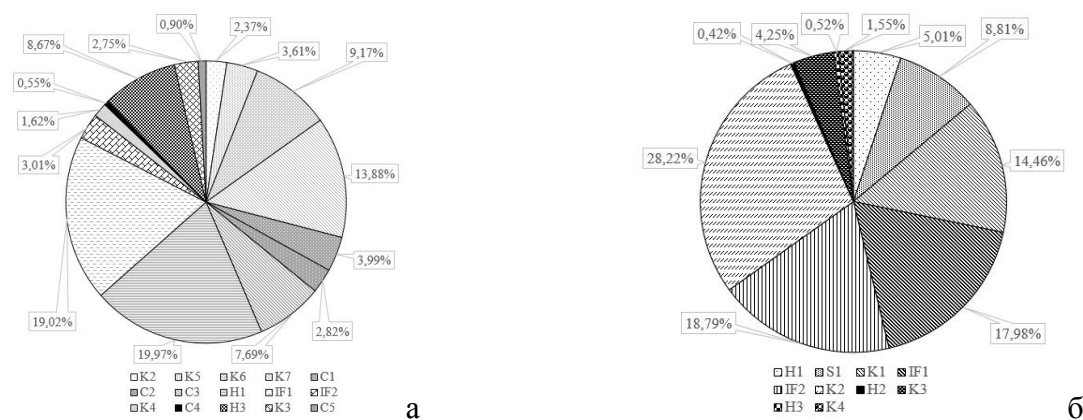


Рис. 2. Доля вклада каждого элемента публикационной активности в общую сумму: а – показатели 2013 года; б – показатели 2014 года

Результаты анализа публикационной активности профессорско-преподавательского состава крупных подразделений

В табл. 1 приведены результаты описательной статистики публикационной активности университета в целом за 2013 и 2014 гг. Знаком «+» отмечены показатели с положительной динамикой и знаком «-» – с отрицательной. Снижение усредненных значений может быть объяснено увеличением количества профессорско-преподавательского состава в связи с реорганизацией без внесения существенного роста исследуемого показателя: индекс Хирша в системе Web of Science, количество преподавателей, имеющих статьи в Scopus и Web of Science.

Таблица 1

Обобщенные показатели публикационной активности преподавателей университета

Показатель	Значение 2013 года	Значение 2014 года
Количество ППС	758	1251
Среднее количество баллов	53,86	44,76-
Максимальное количество баллов	1112,9	632,4+
Минимальное количество баллов	0	0
Доля нулевых значений суммы, %	39,7	29,6+
Средний индекс Хирша по РИНЦ	0,697	1,12+
Средний индекс Хирша по Scopus	0,025	0,037+
Средний индекс Хирша по Web of Science	0,040	0,023-
Доля ППС с количеством статей ВАК, равным нулю, %	49,8	48,1+
Доля ППС с количеством статей >0 в Scopus, %	12,23	8,31-
Доля ППС с количеством статей >0 в Web of Science, %	6,60	1,92-

Научные публикации авторов являются результатом профессиональной деятельности ученых и проводимых научно-исследовательских работ. Анализ объема оплачиваемых научно-исследовательских работ показал в университете наличие двух лидеров: институт металлургии, машиностроения и металлообработки (ИММ и М) и институт энергетики и автоматизированных систем (ИЭ и АС) (рис. 3).

Лидирующая позиция ИММ и М объясняется результатом объединения трех крупных перспективных подразделений университета в ходе его реорганизации: химико-металлургический факультет, факультет технологии и качества, механико-машиностроительный факультет.

На рис. 4 представлена диаграмма, характеризующая вклад каждого подразделения в общую сумму баллов публикационной активности. Для

лидирующих подразделений наблюдается нарушение пропорции между долей публикационной активности и объемом оплачиваемых научно-исследовательских работ. Так, соответствующие пропорции за пятилетний период составляют:

$$I_1 = \frac{V_1}{V_2} = \frac{433,24}{97,40} = 4,45 \text{ и}$$

$$I_2 = \frac{P_1}{P_2} = \frac{24,15}{22,07} = 1,09,$$

где I_1 – индекс, характеризующий отношение объемов оплаченных научно-исследовательских работ в ИММ и М (V_1) и в ИЭ и АС (V_2); I_2 – индекс, характеризующий отношение доли публикационной активности ИММ и М (P_1) и ИЭ и АС (P_2).

На рис. 4, а введены обозначения для подразделений университета в 2013 году: БФ – Белорецкий филиал; ИГД и Т – институт горного дела и транспорта; ХМФ – химико-металлургический факультет; АСФ – архитектурно-строительный факультет; ФЭ и П – факультет экономики и права; ИЭ и АС – институт энергетики и автоматизированных систем; ММФ – механико-машиностроительный факультет; ФТ и К – факультет технологии и качества.

На рис. 4, б введены обозначения для подразделений университета в 2014 году: БФ – Белорецкий филиал; ИГД и Т – институт горного дела и транспорта; ИИ и Ф – институт истории и филологии; ИММ и М – институт металлургии, машиностроения и материаловедения; ИП и П – институт педагогики и психологии; ИСА и И – институт строительства, архитектуры и искусства; ИЭ и У – институт экономики и управления; ИЭ и АС – институт энергетики и автоматизированных систем; ФСХ и Б – факультет стандартизации, химии и биотехнологий; ФФК и СМ – факультет физической культуры и спортивного мастерства; ФМФ – физико-математический факультет.

На рис. 5 показана доля зарегистрированных преподавателей в РИНЦ и на рис. 6 – среднее значение индекса Хирша для каждого подразделения. Не оправдались надежды на 100% регистрации преподавателей. Средний индекс Хирша подразделения превышает среднее значение 2014 года по университету только для института горного дела и транспорта, института металлургии, машиностроения и металлообработки, института энергетики и автоматизированных систем и факультета стандартизации, химии и биотехнологии.

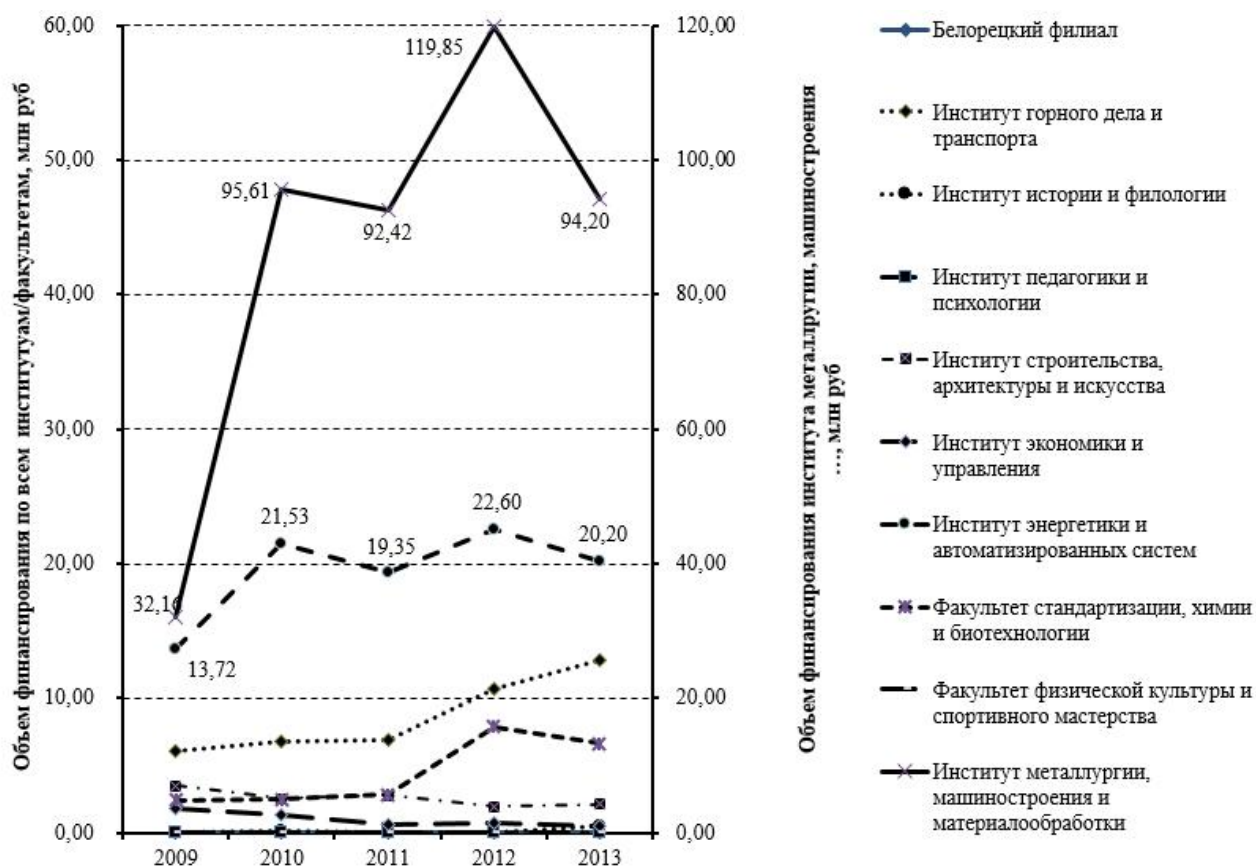


Рис. 3. Динамика объема оплачиваемых научно-исследовательских работ университета

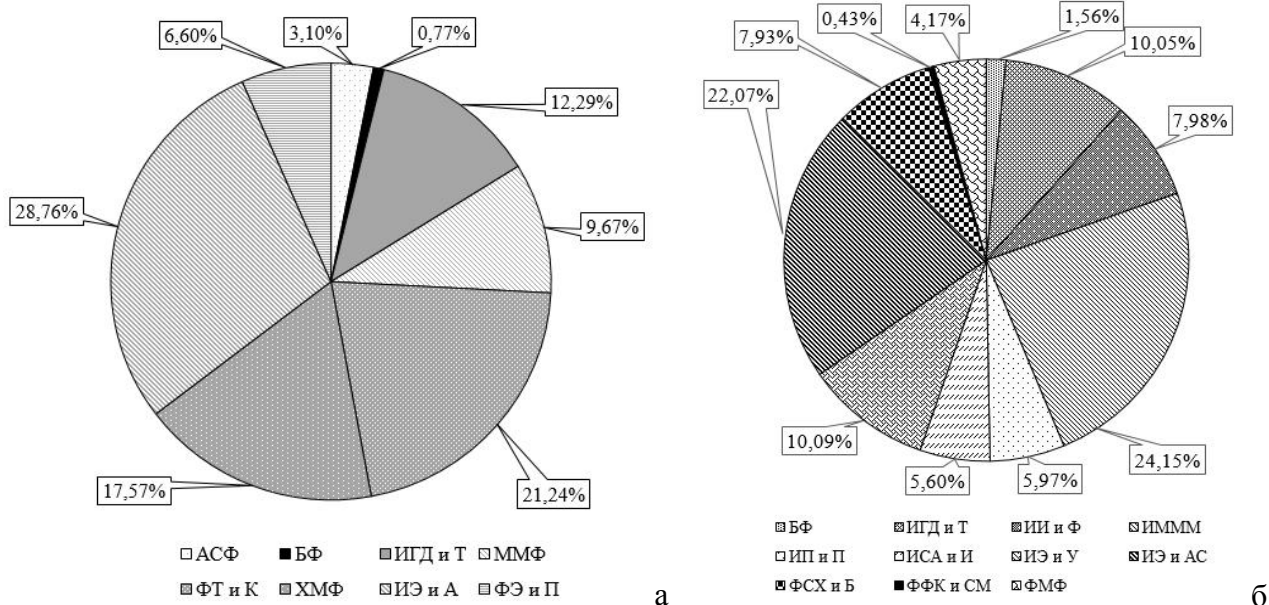


Рис. 4. Доля баллов публикационной активности каждого подразделения в общей сумме: а – результаты оценки 2013 года; б – результаты оценки 2014 года

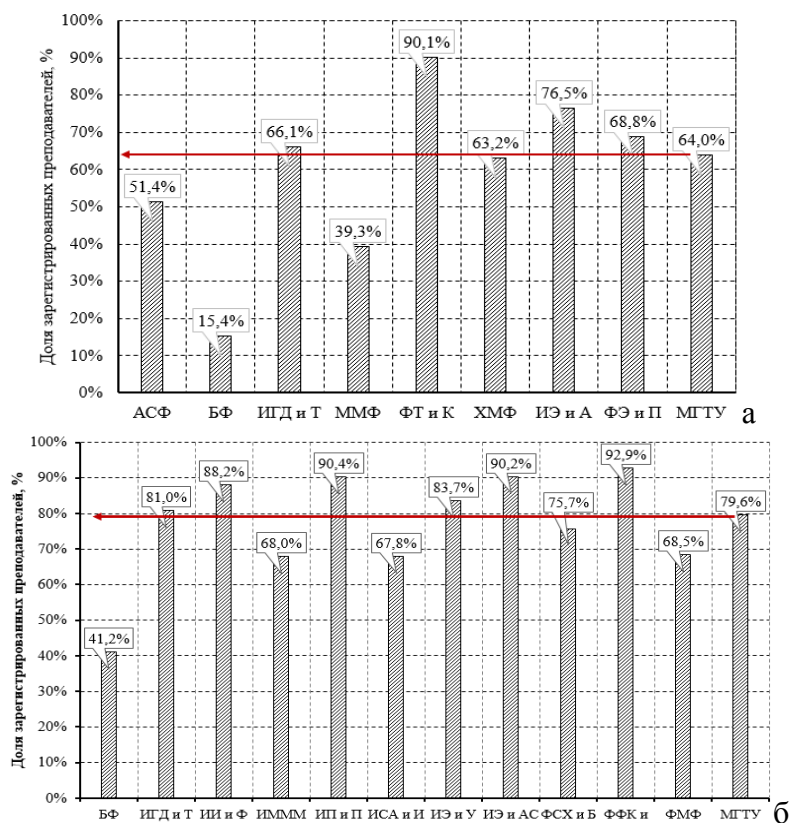


Рис. 5. Доля зарегистрированных преподавателей университета по подразделениям:
а – 2013 год; б – 2014 год

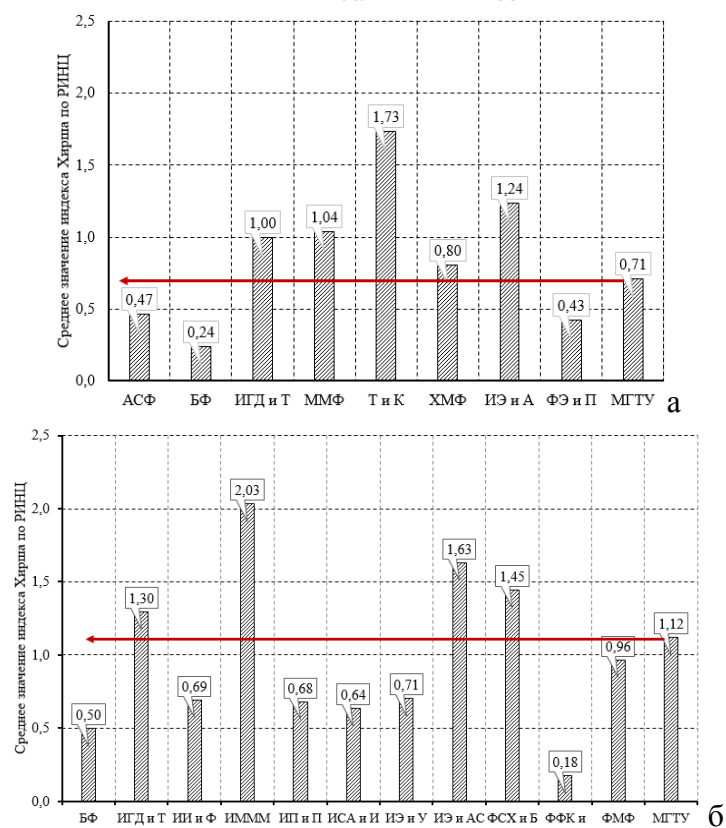


Рис. 6. Среднее значение индекса Хирша преподавателей университета по подразделениям:
а – 2013 год; б – 2014 год

Также интересен показатель распределения по институтам и факультетам среднего количества статей на одного работника подразделения, проиндексированных в РИНЦ, Web of Science и Scopus (рис. 7).

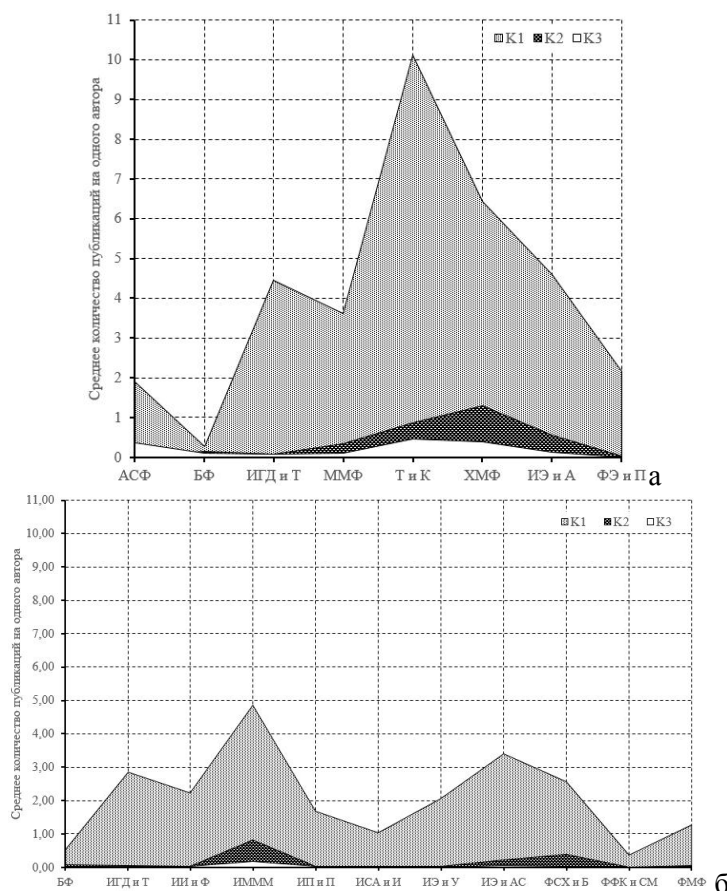


Рис. 7. Количество статей на одного автора системам РИНЦ (K1), Scopus (K2) и Web of Science (K3): а – 2013 год; б – 2014 год

Отображение диаграмм на рис. 7 в одном масштабе также продемонстрировало перераспределение среднего количества публикаций после реорганизации университета.

Результаты анализа публикационной активности профессорско-преподавательского состава кафедр университета

В настоящее время в университете функционирует 99 кафедр. Группировка сведений по кафедрам университета позволила определить кафедры с высоким уровнем

публикационной активности (рис. 8). Фактически 10 кафедр университета обеспечивают 34,44% публикационной активности.

Изменение структуры показателей публикационной активности в 2014 году привело не только к количественным изменениям в диапазоне полученных баллов, но и к качественному изменению доли вклада баллов публикационной активности в рейтинге деятельности профессорско-преподавательского состава. На рис. 9 показана зависимость рейтинга преподавателя от значения показателя публикационной активности. На рис. 9, а выделены области, определяющие рейтинговое пространство, которое характеризует сжатие или растяжение шкал рейтинга и публикационной активности для каждой кафедры. Угол наклона линейного тренда определяет вклад публикационной активности в рейтинг. Например, на рис. 9, б показаны результаты анализа рейтинга кафедры, для которой изменение показателей не привело к существенному изменению общего балла рейтинга (при увеличении публикационной активности на 1 балл происходит увеличение на 0,60 рейтинга в 2013 году и на 0,62 – в 2014).

На рис. 9, в наблюдаем существенное изменение общего балла рейтинга при изменении показателей публикационной активности (при увеличении публикационной активности на 1 балл происходит увеличение рейтинга на 0,41 балл в 2013 году и на 0,68 – в 2014).

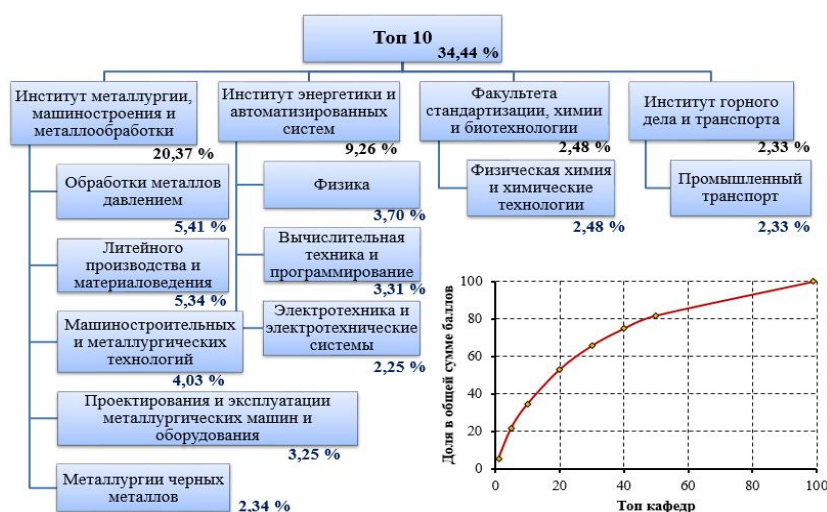
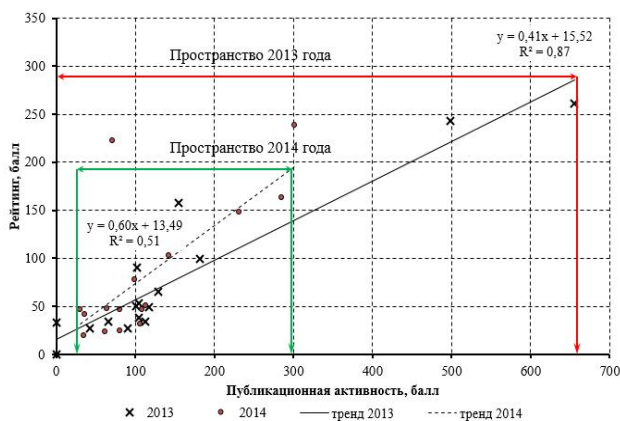
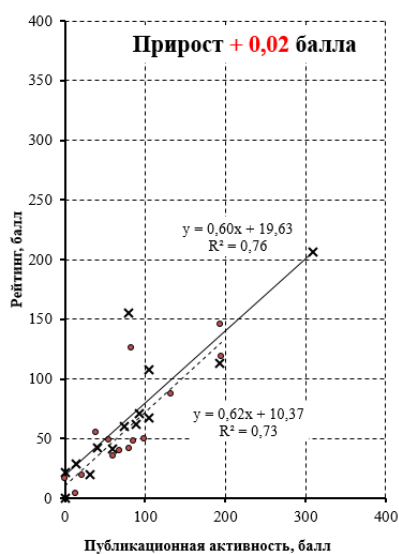


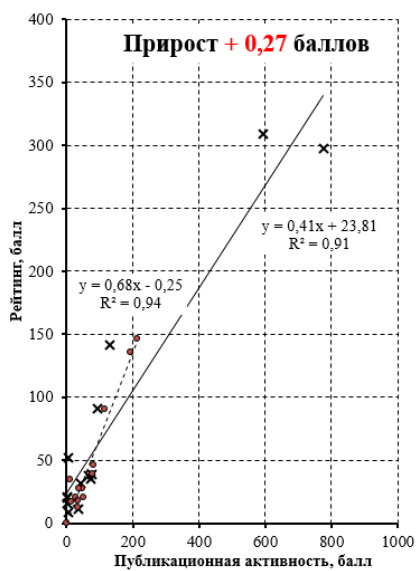
Рис. 8. Группа кафедр с высоким уровнем публикационной активности и распределение баллов по кафедрам университета



а



б

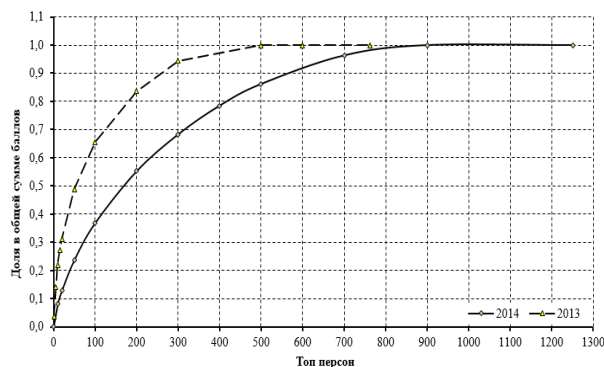


в

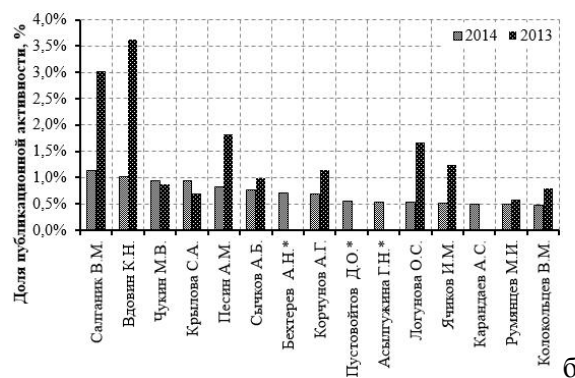
Рис. 9. Зависимость формирования рейтинга преподавателя от балла публикационной активности: а – зависимость с пространством распределения точек; б – зависимость без изменения удельного вклада; в – зависимость с увеличением удельного вклада

Результаты анализа персональной публикационной активности профессорско-преподавательского состава университета

Особое внимание при анализе результатов оценки публикационной активности было уделено персональным показателям. Кумулята доли публикационной активности по отдельным авторам приведена на рис. 10, которая продемонстрировала, что $\approx 10\%$ публикационной активности в общей сумме обеспечивается 15 наиболее активными учеными университета, и полное насыщение кумуляты обеспечивают 900 человек персонала из 1251 человека в 2014 году. В 2013 году 50% публикационной активности обеспечивали 53 человека, и полное насыщение публикационной активности – 500 человек из 763.



а



б

Рис. 10. Распределение персональной публикационной активности топ 15 преподавателей: а – кумулята; б – доля личного вклада 15 наиболее активных ученых (* Данные за 2013 год отсутствуют)

Для оценки деятельности университета важным является распределение количества публикаций по группам должностей. На рис. 11 приведена диаграмма распределения количества статей в журналах ВАК за период с 2009 по 2013 гг. Наиболее многочисленной является группа преподавателей, которая за 5 лет не имеет ни одной

статьи этого класса. К сожалению, в этой группе представлены все должности, включая руководящий состав (заведующие кафедрами, деканы факультетов и директора институтов).

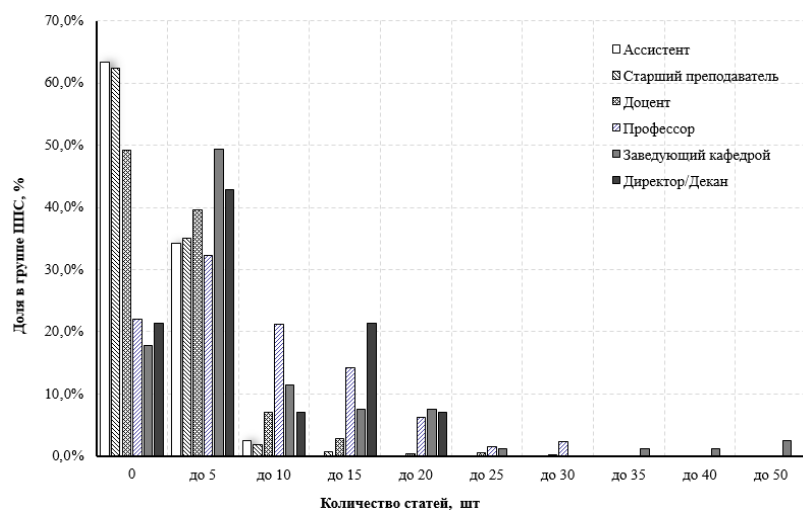


Рис. 11. Распределения доли ППС по количеству статей в журналах ВАК за период 2009 – 2013 гг.

Недостатки системы оценки публикационной активности профессорско-преподавательского состава университета

Двухлетний опыт эксплуатации рейтинговой системы с показателями публикационной активности преподавателей позволил выявить ее недостатки и предложить пути их устранения (табл. 2).

Таблица 2

Недостатки системы показателей публикационной активности и пути их устранения

№	Недостаток системы	Пути устранения недостатков
1	Учет показателей, полученных за предыдущие плодотворные годы работы	Изменить систему показателей и включить сочетание периодов работ и их качества
2	Наличие ошибок ввода информации в ручном режиме	Подключить к проверке показателей ответственных по информатизации каждой кафедры
3	Подсчет показателей без учета доли авторского участия в каждой статье	Ввести в показатели при учете статей долю каждого автора
4	Наличие ошибочной информации в глобальных базах данных	Подключить к работе ответственных по информатизации кафедр к корректировке текущей информации каждого преподавателя
5	Учет показателей без учета аффилиации авторов к МГТУ	Установить строгое требование аффилиации авторов к университету в каждой статье

В результате совершенствования показателей рейтинговой системы должен появиться комплекс условий, включенных в состав одного показателя. Например, для устранения недостатков 1, 3 и 5

могут быть введены дополнительные условия, и показатель получит следующую формулировку: **доля авторского участия** в статье, индексированной в **заданной наукометрической системе** (РИНЦ, Web of Science или Scopus), опубликованных **авторами МГТУ в период с 2010 по 2014 гг.** в журналах с **импакт-фактором не менее** заданного минимального порога.

Заключение

Изначально система показателей публикационной активности в рейтинге преподавателя содержала 16 показателей и была достигнута цель привлечение внимания сотрудников к наукометрическим системам. В результате количество публикаций, пополнявших систему РИНЦ, составила более 7000 единиц. Количественные изменения позволили изменить подход к оценке публикационной активности в 2014 году и ввести качественные показатели, которые выравнивали долю каждого показателя в общей сумме. Однако даже увеличение значений весовых коэффициентов для показателей из Web of Science и Scopus не привело к существенному увеличению доли этих показателей в общей сумме публикационной активности. Следовательно, для стимулирования публикационной активности в системах Web of Science и Scopus есть смысл в увеличении весовых коэффициентов для этих показателей в 3–4 раза.

В ходе реорганизации университета произошло перераспределение доли публикационной активности между крупными подразделениями университета, кафедрами и отдельными учеными. В частности, появились два лидера. Однако наблюдается пропорциональный дисбаланс между показателями публикационной активности и объема оплачиваемых научно-исследовательских работ. Регистрация профессорско-преподавательского состава составляет всего 82% и не достигнуто плановое значение в 100%.

Список литературы

1. Thor-Erik Sandberg Hanssen, Finn Jorgensen. Citation counts in transportation research // European Transport Research Review, 2014. V. 6. Iss. 2. P. 205–212.
2. Lutz Bornmann. Evaluations by Peer Review in Science // Springer Science Reviews. 2013. № 1. P. 1–4.
3. Jennifer A. Foley. Peer Review, Citation Ratings and Other Fetishes // Springer Science Reviews. 2013. № 1. P. 5–7.

4. Поляк Б.Т. Наукометрия: кого мы лечим? // Управление большими системами: сб. тр. 2013. № 44. С. 161–170.
5. Хайтун С.Д. Наукометрия: состояние и перспективы: монография. М.: Янус, 1983. 344 с.
6. Назаренко М.А. Наукометрия h-индекса (индекса Хирша) и g-индекса современного ученого // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 7. С. 185–186.
7. Иванчева Л. Наукометрия сегодня: методологический обзор // Материалы международного форума по информации. 2009. Т. 34. № 2. С. 3–8.
8. Гордукалова Г.Ф. Библиометрия, наукометрия и вебометрия – от числа строк в работах Аристотеля // Научная периодика: проблемы и решения. 2014. № 2 (20). С. 40–46.
9. Орлов А.И. Наукометрия и управление научной деятельностью // Управление большими системами: сб. тр. 2013. № 44. С. 538–568.
10. Карпов А.С., Простомолотов А.С. Электронные библиотеки и наукометрия в современном вузе // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2010. № 13. С. 182–186.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ANALYSIS OF THE PUBLICATION ACTIVITY OF THE TEACHING STAFF AT FSBEI HPE NOSOV MAGNITOGORSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY

Logunova Oksana Sergeevna – D.Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Computing Science and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: logunova66@mail.ru.

Lednov Anatoly Viktorovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Koroleva Valentina Valerievna – Ph.D. (Pedagogy), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Abstract. This article presents research methods and results of the publication activity of the teaching staff at FSBEI HPE Nosov Magnitogorsk State Technical University. We appraised major divisions of the university, such as institutes and faculties, and every department and teacher. We revealed drawbacks of a current appraisal system and suggested steps to adjust it within the next periods.

Keywords: publication activity, appraisal of a teacher's activity, Hirsch index, citation index, research paper.

References

1. Thor-Erik Sandberg Hanssen, Finn Jorgensen. Citation counts in transportation research. *European Transport Research Review*, 2014, vol. 6, iss. 2, pp. 205–212.
2. Lutz Bornmann. Evaluations by Peer Review in Science. *Springer Science Reviews*, 2013, no. 1, pp. 1–4.
3. Jennifer A. Foley. Peer Review, Citation Ratings and Other Fetishes. *Springer Science Reviews*, 2013, no. 1, pp. 5–7.
4. Polyak B.T. Scientometrics: who is the patient for this medicine? *Upravlenie bol'shimi sistemami: sb. tr* [Large-scale system management: collected papers]. 2013, no. 44, pp. 161–170.
5. Khaitun S.D. *Naukometriya: sostoyanie i perspektivy: monografiya* [Scientometrics: state and prospects: monograph]. Moscow: Yanus, 1983, 344 p.
6. Nazarenko M.A. Scientometrics of the h-index (Hirsch index) and g-index of a modern scientist. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International journal of experimental education]. 2013, no. 7, pp. 185–186.
7. Ivancheva L. Scientometrics today: a methodological overview. *International forum on information*, 2009, vol. 34, no. 2, pp. 3–8.
8. Gordukalova G.F. Bibliometrics, scientometrics and webometrics - from the number of rows in the works of Aristotle. *Nauchnaya periodika: problemy i resheniya* [Scientific periodicals: problems and solutions]. 2014, no. 2 (20), pp. 40–46.
9. Orlov A.I. Scientometrics and research management. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov* [Large-scale system management: collected papers]. 2013, no. 44, pp. 538–568.
10. Karpov A.S., Prostomolotov A.S. E-libraries and scientometrics in a modern higher educational institution. *Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyy universitet upravleniya)* [Bulletin of the university (State University of Management)], 2010, no. 13, pp. 182–186.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдуллина Лилия Шамилевна – канд. техн. наук, доц. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Алексеев Даниил Юрьевич – студент кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Антипин Юрий Георгиевич – канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии Института горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Барановский Кирилл Васильевич – научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии Института горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: kartingist@list.ru.

Бережная Галина Андреевна – канд. техн. наук, доц. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Бигеев Вахит Абдрашитович – д-р техн. наук, проф., директор института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Бирючев Иван Владимирович – младший научный сотрудник ФГБУН «Институт горного дела УрО РАН», Екатеринбург, Россия. E-mail: sentyabov1989@mail.ru.

Богданова Татьяна Александровна – начальник металлургического отдела ООО «КиК», г. Красноярск, Россия. E-mail: bat@kandk.ru.

Вагин Владимир Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-85-20.

Варнак Ольга Васильевна – ведущий инженер, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск, Россия. E-mail: mushina@rosniti.ru.

Волкова Елена Александровна – канд. техн. наук, доц. кафедры промышленной экологии и БЖД ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: +7 (3519) 29-84-62. E-mail: eco_safe@magtu.ru.

Гильманшина Татьяна Ринатовна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Литейное производство» Сибирского федерального университета, г. Красноярск, Россия. E-mail: gtr1977@mail.ru.

Денисов Сергей Владимирович – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)298525.

Довженко Николай Николаевич – д-р техн. наук, проф., директор института нефти и газа Сибирского

федерального университета, г. Красноярск, Россия. E-mail: n.dovzhenko@bk.ru

Долбилов Кирилл Александрович – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Жиркин Юрий Васильевич – канд. техн. наук, проф. кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: girkin@yandex.ru.

Зубков Альберт Васильевич – д-р техн. наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт горного дела УрО РАН», Екатеринбург, Россия. Тел.: (343)350-94-24. E-mail: sentyabov1989@mail.ru.

Ильин Сергей Иванович – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «Физическое металловедение и физика твердого тела» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), г. Челябинск, Россия.

Каримова Люция Монировна – канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Колокольников Валерий Михайлович – д-р техн. наук, проф., ректор ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», Россия. Тел.: (3519)29-84-02. E-mail: kwm@magtu.ru.

Колокольцева Елена Викторовна – магистрант кафедры бухгалтерского учета и экономического анализа ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: kolokolcheva-elena@rambler.ru.

Королева Валентина Валерьевна – канд. пед. наук, доц. кафедры информатики и информационной безопасности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Коток Алексей Петрович – канд. техн. наук, главный инженер ЗАО «Механоремонтный комплекс» ОАО «ММК», Россия.

Кузбаков Жанаберген Иманкулович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургия» РГП на ПХВ «Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова», г. Актюбе, Казахстан. E-mail: agu_metallurgy@mail.ru.

Курочкин Антон Иванович – аспирант кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-20. Email: antoshey@mail.ru.

Латыпов Фарит Рафгатович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Авиационная теплотехника и теплоэнергетика» Уфимского государственного авиационного технического университета, Башкортостан. E-mail: vei10@yandex.ru.

Леднов Анатолий Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Липатников Андрей Владимирович – ассистент

кафедры математических методов в экономике ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 23 03 74. E-mail: llipass@mail.ru.

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: logunova66@mail.ru.

Меркулова Галина Александровна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов» им. В. С. Биронта Сибирского федерального университета, г. Красноярск, Россия. E-mail: gam1602@mail.ru.

Никитин Игорь Владимирович – научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии Института горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: geotech910@yandex.ru.

Пантелеев Антон Владимирович – ст. преподаватель кафедры «Металлургия черных металлов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: anpanteleev2010@mail.ru.

Полецков Павел Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Пышминцев Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, генеральный директор ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск, Россия.

Романова Елена Юрьевна – инженер 1-й категории лаборатории охраны окружающей среды ОАО «ММК», Россия. Тел.: +7 (3519) 24-58-03. E-mail: romanova.ey@mmk.ru.

Салганик Виктор Матвеевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-85-25.

Сентябов Сергей Васильевич – младший научный сотрудник ФГБУН «Институт горного дела УрО РАН», Екатеринбург, Россия. E-mail: sentyabov1989@mail.ru.

Серова Анна Андреевна – аспирант кафедры промышленной экологии и БЖД ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: anet28061989@rambler.ru.

Смирнов Алексей Алексеевич – канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии Института горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Смирнов Михаил Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Физическое металловедение и физика твердого тела» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), г. Челябинск, Россия.

Соколов Игорь Владимирович – д-р техн. наук, зав. лабораторией подземной геотехнологии Института горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Тел.: 8(343)350-71-28. E-mail: geotech@igduran.ru.

Стеканов Павел Александрович – аспирант кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Столяров Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: sam52.52@mail.ru.

Сулейманов Марат Гиззатович – канд. техн. наук, проф. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-84-88. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Султанов Наиль Ласынович – аспирант кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: stalevar888@mail.ru.

Тетеркин Сергей Николаевич – сменный мастер, ОАО «Челябинский металлургический комбинат», Россия.

Трофимова Виолетта Шамильевна – канд. экон. наук, доц. кафедры математических методов в экономике ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 230374. E-mail: violat@mail.ru.

Филатов Анатолий Михайлович – канд. техн. наук, доц. кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-24. E-mail: filam50@mail.ru.

Черняев Александр Александрович – аспирант кафедры «Металлургия черных металлов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: alexch_study@mail.ru.

Черчинцев Вячеслав Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., заслуженный работник высшей школы РФ, зав. кафедрой промышленной экологии и БЖД ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: +7 (3519) 298515. E-mail: eco_safe@magtu.ru.

Шاپовалов Алексей Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургических технологий Ново-троицкого филиала НИТУ «МИСиС», Россия. E-mail: alshapo@yandex.ru.

Шевченко Евгений Александрович – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: nfmisis-nis@yandex.ru.

Шленкина Марина Александровна – магистрант кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: kakay_prelest@mail.ru.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей. Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
- МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.
- ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.
- ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
- СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.
- МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
- ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.
- УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.
- ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.
- СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.
- ИНФОРМАЦИЯ и др.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТАТЬИ (на русском и английском языках)

- 1.1. Наименование** статьи (не более 15 слов). Должно кратко отражать содержание статьи. Не рекомендуется использовать сокращения и аббревиатуры.
- 1.2. Аффiliation.** Указывается фамилия, имя, отчество авторов (транслитерация), ученая степень, звание, должность, полное название организации (ее официально принятый английский вариант), адрес электронной почты хотя бы одного из авторов.
- 1.3. Аннотация** (100-250 слов). Включает гипотезу, цель, эксперименты и методы, основные результаты, применение результатов исследования в промышленности (излагается в прошедшем времени).

Онлайн-перевод запрещается!

- 1.4. Ключевые слова:** от 5 до 15 основных терминов.

2. СТРУКТУРА ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

- 2.1. Введение** (постановка проблемы)
- 2.2. Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки**
- 2.3. Результаты исследования и их обсуждение**
- 2.4. Заключение** (выводы)
- 2.5. Список литературы** (на русском и английском языках)

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

- 3.1.** Рекомендуемый объем статьи – 6-8 стр.
- 3.2.** Текст статьи, сведения об авторах, аннотация ключевые слова и список литературы представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами **Microsoft Word**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в **Microsoft Word** рекомендуются следующие установки:

- **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками, применяется только сквозная нумерация;
- **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров), в форматах *.TIF, *.JPG, с разрешением **не менее 300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов. Максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисовочные подписи в местах размещения рисунков. Например:
Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t) = I_{\text{н}}/I_{\text{п0}}$ от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя
- **таблицы** нумеруются, если их число более одной. Заголовков необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

- 3.3.** При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц **СИ**.

4. ДОКУМЕНТЫ, ПРИЛАГАЕМЫЕ К СТАТЬЕ

- 4.1. Рецензия.**
- 4.2. Экспертное заключение** о возможности опубликования.
- 4.3. Договор.**

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования предоставляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М.В. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 22-14-93.

E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).