

ВЕСТНИК

**Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова**

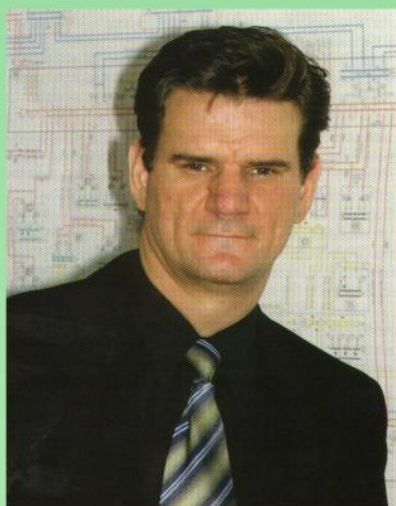


*Посвящается
80-летию УТЭ
и 75-летию ЦЭТЛ
ОАО «ММК»*

3.2011



ЖУРАВЛЕВ
Юрий Петрович
главный энергетик ОАО «ММК»



АНДРЮШИН
Игорь Юрьевич
главный инженер УГЭ



ГОЛОВИН
Вячеслав Васильевич
начальник ЦЭТЛ

80 лет УГЭ 75 лет ЦЭТЛ



ХЛЫСТОВ
Алексей Иванович
зам. главного энергетика по
электрооборудованию и
автоматизации



ЯМШАНОВ
Евгений Викторович
старший менеджер по
электрооборудованию



ПОГОРЕЛОВ
Иван Леонидович
старший менеджер по
автоматизации



ДАНИЛЕНКО
Василий Григорьевич
зам. главного энергетика
по электроснабжению



ЧИСТЯКОВ
Виктор Михайлович
зам. главного энергетика
по теплотехнике



ВАХРОМЕЕВ
Иван Евгеньевич
зам. главного энергетика
по водоснабжению



ХАРЧУК
Владимир Вадимович
зам. главного энергетика
по электростанциям

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№ 3 (35) сентябрь 2011 г.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, а также в Реферативный журнал и Базы данных 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. Рашинов – Президент ООО "Управляющая компания ММК", проф., д-р техн. наук;
В.М. Счастливцев – зав. лабораторией ИФМ УрО РАН;
академик РАН, д-р техн. наук;
А.Б. Сычков – зам. директора по технической политике
Восточно-Европейского металлургического дивизиона
ОАО «МЕЧЕЛ» (Румыния), д-р техн. наук;
Ken-ichiro Mori – Professor Department of Production
Systems Engineering, Toyohashi University of Technology,
Japan;
Maciej Pietrzyk – Professor Akademia Gorniczo-Hutnicza,
Krakow, Poland.

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

Г.С. Гун – проф., д-р техн. наук.

Заместитель:

М.В. Чукин – проф., д-р техн. наук
(отв. редактор).

Члены редколлегии:

Л.И. Антропова – проф., д-р фил. наук;
В.А. Бигеев – проф., д-р техн. наук;
К.Н. Вдовин – проф., д-р техн. наук;
С.Е. Гавришев – проф., д-р техн. наук;
В.Н. Калмыков – проф., д-р техн. наук;
С.Н. Павлов – канд. пед. наук;
М.Б. Пермяков – доц., канд. техн. наук;
А.М. Песин – проф., д-р техн. наук;
В.М. Салганик – проф., д-р техн. наук;
А.С. Сарваров – проф., д-р техн. наук.

Ответственные редакторы по научным направлениям экспертных советов ВАК РФ:

М.А. Полякова – доц., канд. техн. наук;
М.В. Шубина – доц., канд. техн. наук.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011

На журнал можно подписаться в отделениях связи либо приобрести непосредственно в редакции.
Подписной индекс издания 48603 в объединенном каталоге «Пресса России», том 1.

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

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 22-14-93
Факс (3519) 23-57-60
E-mail: vestnik@magtu.ru

Журнал подготовлен к печати Издательским центром
МГТУ им. Г.И.Носова.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Подписано к печати 19.09.2011.

Заказ 652. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

**Magnitogorsk State Technical
University named after G. I. Nosov**

№ 3 (35) September 2011

The journal is included in the Abstract Journal and the database of All-Russian Institution of Scientific and Technical information, and also in the List of the leading reviewed scientific journals and publications. On recommendation of advisory committee in the development of mineral resource deposits and metallurgy, the scientific results of candidates for Ph.D. theses are to be published in the above-mentioned journals. Internet versions of the journal can be found on the Scientific Electronic Library site in the Internet.

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial committee

Chairman of editorial committee:

V. M. Kolokoltsev – rector of State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov”, D. Sc

Members of the editorial committee:

A. V. Dub – general director of JSC Research and Production Association of Central Scientific Research Institution of Technical Mechanic Engineering, D.Sc.

D. R. Kaplunov – corresponding member of Russian Academy of Science, D.Sc.

V. Ph. Rashnikov – President of LTd “Magnitogorsk Steel and Iron Works managing company”, Prof., D. Sc.

V. M. Schastlivtsev – chief of laboratory in Russian Academy of Science, academician of Russian Academy of Science, D. Sc.

A. B. Sychkov – deputy director in technical politics of Eastern European metallurgical division JSC “MECHEL” (Romania), D. Sc.

Ken-ichiro Mori – Professor Department of Production Systems Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan.

Maciej Pietrzyk – Professor Akademia Gorniczo-Hutnicza, Krakow, Poland.

Editorial staff

Editor-in-chief:

G. S. Gun – Prof., D. Sc.

Deputy chief editor:

M. V. Chukin – Prof., D.Sc.

Members of the editorial staff:

L.I. Antropova – Prof., D.Sc.

V. A. Bigeev – Prof., D.Sc.

K. N. Vdovin – Prof., D.Sc.

S. E. Gavrishev – Prof., D.Sc.

V. N. Kalmykov – Prof., D.Sc.

S.N. Pavlov – Ph.D.

M.B. Permyakov – Assoc. Prof., Ph.D.

A.M. Pesin – Prof., D.Sc.

V. M. Salganik – Prof., D.Sc.

A.S. Sarvarov – Prof., D.Sc.

Executive editors in scientific fields of advisory committee of Higher Certifying Commission in the Russian Federation:

M. A. Polyakova – Assoc. Prof., Ph.D.

M. V. Shubina – Assoc. Prof., Ph.D.

© State Educational Institution of Higher Professional Education
“Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov”, 2011

One can subscribe for the journal in the general publication catalogue of scientific-technical information, the subscription index of the journal 73849, or get the journal right in the editorial office.

Registration certificate ПИ № ФС11-1157 April 18, 2007 г.

Editorship address:

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

Phone number: (3519) 22-14-93

Fax: (3519)23-57-60

Email: vestnik@magtu.ru

Published by publishing center of MSTU named after G. I. Nosov.

Signed for press 19.09.2011.

Order 652. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Энергетика и теплоэнергетика металлургической отрасли.....	5
<i>Андрюшин И.Ю., Головин В.В., Косенков А.В.</i> Опыт и перспективы внедрения частотно-регулируемых электроприводов в ОАО «ММК».....	5
<i>Сарваров А.С., Анисимов Д.М., Усатый Д.Ю., Петушков М.Ю., Вечеркин М.В.</i> Анализ состояния электроприводов агрегатов ГОП ОАО «ММК» и пути модернизации.....	8
<i>Селиванов И.А., Салганик В.М., Гун И.Г., Петухова О.И., Мамлеева Ю.И.</i> Исследование систем управления непрерывного стана на математической модели.....	11
<i>Крылов Ю.А., Селиванов И.А., Ровнейко В.В., Галлямов Р.Р., Губайдуллин А.Р.</i> Технические требования к электроприводам вспомогательных механизмов тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты.....	15
<i>Радионов А.А., Андрюшин И.Ю., Галкин В.В., Гостев А.Н.</i> Ограничение минимальных скоростей электроприводов стана 2000 при прокатке трубной заготовки.....	20
<i>Лукьянов С.И., Суспицын Е.С., Коновалов М.В.</i> Система диагностирования механического оборудования электропривода тянущих роликов машины непрерывного литья.....	23
<i>Карандаев А.С., Храмишин В.Р., Петряков С.А.</i> Следящая система автоматического регулирования толщины полосы стана горячей прокатки.....	25
<i>Коваленко Ю.П., Чернышѣв Г.В., Коваленко А.Ю., Корнилов Г.П., Николаев А.А., Иванов В.А.</i> Выявление неисправных измерительных комплексов расхода электроэнергии на примере ОАО «ММК».....	29
<i>Дружинин Н.Н., Ануфриев А.В., Сарлыбаев А.А.</i> Технические решения по ограничению влияния электромагнитных полей на работу трансформатора установки «печь-ковш» электросталеплавильного цеха ОАО «ММК».....	33
<i>Селиванов И.А., Омельченко Е.Я.</i> Электромеханические свойства асинхронных двигателей.....	35
Разработка полезных ископаемых.....	39
<i>Вохмин С.А., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С.</i> Методические основы нормирования потерь и разубоживания при отработке месторождений строительного сырья подземным способом.....	39
<i>Тарасенко Е.А., Кисляков В.Е.</i> Технологические решения при разработке валунистых россыпных месторождений.....	43
Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов.....	46
<i>Добровольский А.И., Феофанов Г.Л., Жуков А.Л.</i> Технологические решения по подготовке очистного фронта на Ургальском месторождении.....	46
Металлургия черных, цветных и редких металлов.....	49
<i>Вусихис А.С., Леонтьев Л.И., Кудинов Д.З., Шешуков О.Ю.</i> Анализ современных методов переработки сидеритовых руд.....	49
<i>Харченко Е.М., Жумаев К.Ж.</i> Твердофазное восстановление меди и свинца металлическим железом.....	52

<i>Орехова Н.Н., Чалкова Н.Л.</i> Технология селективного извлечения цинка из гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений.....	55
Обработка металлов давлением.....	60
<i>Полецков П.П.</i> Об изменении показателей профиля и плоскостности тонколистового проката в процессе правки растяжением с изгибом.....	60
Технологии обработки материалов.....	63
<i>Сергеев С.В., Шаламов В.Г., Сергеев Ю.С., Прошунин Д.В.</i> Расчет погрешностей формообразования отверстий и пазов с помощью конечно-элементных моделей.....	63
<i>Симонова Ю.Э., Пачевский В.М., Ткаченко Ю.С.</i> Особенности газопламенного напыления чугунных пар трения металлорежущих станков типа направляющие скольжения.....	67
Материаловедение и термическая обработка металлов.....	70
<i>Емельяшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П., Морозов А.Н.</i> Формирование структуры и свойств зоны сплавления при плазменно-порошковой наплавке покрытия типа 250X15Г20С.....	70
Надежность и долговечность металлургического оборудования.....	74
<i>Анциупов А.В., Слободянский М.Г.</i> Прогнозирование долговечности опорных валков и оценка эффективности способов продления их ресурса.....	74
Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы.....	80
<i>Пождаев Ю.А., Кадошников В.И., Савочкина Л.В.</i> Проектирование демпфирующих систем для рекуперации энергии.....	80
Теплоэнергетика металлургической отрасли.....	84
<i>Видин Ю.В., Казаков Р.В.</i> Исследование передачи тепла вдоль комбинированного ребра конечной длины.....	84
Автоматизация технологических процессов. Робототехника.....	88
<i>Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Головкин Н.А., Усачев М.В., Полько П.Г., Лозунова О.С.</i> Разработка концепции экстремальной нечеткой системы автоматической оптимизации управления энергетическим режимом выплавки стали в ДСП.....	88
<i>Литвин А.В.</i> Алгоритмы движения робота Lego Mindstorms NXT по черной линии с использованием пропорционально-дифференциального регулятора.....	91
Экономика, управление и рынок продукции.....	95
<i>Поликарпова М.Г.</i> Моделирование механизма функционирования российского рынка слияний и поглощений в 2004–2010 гг.	95
Культура. Филология.....	103
<i>Гун Г.Е.</i> Процессы взаимодействия в художественной культуре.....	103
<i>Постникова Е.Г.</i> Русская мифология реформ в «Помпадурах и помпадуршах» Салтыкова-Щедрина..	105
<i>Зайцева Т.Б.</i> Тип эстетика в повести Чехова «Три года».....	109
Рефераты.....	114
Reports.....	117
Сведения об авторах.....	120
The information about the authors.....	123

CONTENT

Power Supply and Heat Power of Metallurgy	5
<i>Andrjushin I.J., Golovin V.V., Kosenkov A.V.</i>	
Experience and prospects of a implementing of adjustable-frequency electric drives in open joint-stock company «MMK».....	5
<i>Sarvarov A.S., Anisimov D.M., Usatij D.J., Petushkov M.J., Vecherkin M.V.</i> State analysis of electric drives of ore-dressing units of OJSC «MMK» and some ways of their enhancement.....	8
<i>Seliwanov I.A., Salganik V.M., Gun I.G., Petuhova O.I., Mamleeva Y.I.</i> Study of Control Systems of Continuous Mill Using Mathematical Model.....	11
<i>Krylov JU.A., Selivanov I.A., Rovneiko V.V., Galljamov R.R., Gubajdullin A.R.</i> Technical requirements to auxiliary electric drives of the thermal power station at a implementing of frequency converters... 15	
<i>Radionov A.A., Andrjushin I.J., Galkin V.V., Gostev A.N.</i> Limitation of the minimum rates of electric drives of the mill 2000 at round billet rolling.....	20
<i>Lukyanov S.I., Suspitsin E.S., Konovalov M.V.</i> Diagnostic system for mechanical equipment of continuous caster pinch roller drive.....	23
<i>Karandaev A.S., Hramshin V.R., Petrjakov S.A.</i> The servo-mechanism of automatic control strip gage of the hot-rolling mill.....	25
<i>Kovalenko Y.P., Chemyshev G.V., Kovalenko A.Y., Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Ivanov V.A.</i> Search of faulty measurement complexes of energy consumption in the example OJSC «MMK».....	29
<i>Druzhinin N.N., Anufriev A.V., Sarlybaev A.A.</i> Designs on influence limitation electromagnetic fields on transformer operation installations electric-furnace shop «oven-ladle» open joint-stock company «MMK».....	33
<i>Selivanov I.A., Omelchenko E.Ya.</i> Electromechanical Characteristics of Induction Motors.....	35
Mining.....	39
<i>Vokhmin S.A., Trebush Yu.P., Kurchin G.S., Maiorov E.S.</i> Methodical bases of rationing of losses and dilution at working off of deposits of building raw materials by underground way.....	39
<i>Tarassenko E.A., Kislyakov V.E.</i> Technological decisions by exploitation of boulders placer deposits.....	43
Processing and Utilization Technologies of Formations and Wastes.....	46
<i>Dobrovolsky A.I., Feofanov G.L., Zhukov A.L.</i> Technological decisions on preparation of clearing front on the Urgalsky coal-field.....	46
Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals.....	49
<i>Vusikhis A.S., Leontiev L.I., Kudinov D.Z., Sheshukov O.Y.</i> The analysis of modern methods of sideritic ores processings.....	49
<i>Harchenko E.M., Zhumashev K.Zh.</i> The solid-phase reduction of copper and lead by metallic iron.....	52
<i>Orehova N.N., Chalkova N.L.</i> Technology of selective extract zinc from water technogenic resources copper is the muffle of deposits.....	55
Pressure Treatment of Metals.....	60
<i>Poletskov P.P.</i> About changing of the profile and flatness parameters of rolled plates by tension and bending correction.....	60
Technologies of Material Processing.....	63
<i>Sergeev S.V., Shalamov V.G., Sergeev Y.S., Proshunin D.V.</i> Calculation of errors in shaping holes and grooves by means of finite-element model.....	63
<i>Simonova J.E., Pachevsky V.M., Tkachenko J.S.</i> Features of gas-flame spraying of friction pig-iron pairs of slide guide cutting machines.....	67
Material Science and Thermal Metal Treatment.....	70
<i>Emeljushin A.N., Petrochenko E.V., Nefedeyeff S.P., Morozov A.N.</i> Formation of structure and properties of a refusion zone at PTA-coating type coverings 250X15Г20C.....	70
Safety and Durability of Metallurgical Equipment.....	74
<i>Antsupov A.V., Slobodyanskiy M.G.</i> Forecasting the durability of supporting rolls and evaluating the effectiveness of ways to extend their working life.....	74
Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat Power	80
<i>Pozhidaev Yu.A., Kadoshnikov V.I., Savochkina L.V.</i> Damping devices designing for energy recovery.....	80
Heat Power of Metallurgy.....	84
<i>Vidin Y.V., Kazakov R.V.</i> Heat transfer research in composite rib with finite length.....	84
Automation of Technological Processes.....	88
<i>Andreev S.M., Parsunkin B.N., Golovko N.A., Usachev M.V., Polyko P.G., Logunova O.S.</i> Extreme fuzzy automatic optimization system for arc-furnace power level controlling.....	88
<i>Litvin A.V.</i> Moving algorithms of Lego Mindstorms NXT robot through a black line using proportionally – differential controller.....	91
Economics, Management and Production Market.....	95
<i>Polikarpova M.G.</i> Modelling how mechanism of M&A of Russian market in 2004–2010 functions.....	95
Culture. Philology.....	103
<i>Gun G.E.</i> Process of interaction in of the artistic culture.....	103
<i>Postnikova Y.</i> Russian mythology of the reforms in «Pompadury and Pompadurshy» by M.Y. Saltykov-Shchedrin.....	105
<i>Zaitseva T.B.</i> Type of Esthetician in Chekhov's Story “Three Years”.....	109
Рефераты	114
Reports.....	117
Сведения об авторах.....	120
The information about the authors.....	123

ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.313.3-83-52

Андрюшин И.Ю., Головин В.В., Косенков А.В.

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В ОАО «ММК»

Пятилетка, прошедшая со времени подведения итогов, связанных с 75-летием УГЭ и 70-летием ЦЭТЛ ОАО «ММК» [1, 2], была непростой, мировой финансово-экономический кризис существенным образом отразился на металлургии. Не всё, что было запланировано, удалось реализовать, пришлось снизить объемы производства. Так, в 2009 году Магнитогорский металлургический комбинат произвел 8,7 млн т стали, что на 35% меньше, чем в 2007 году [3]. Но, несмотря на кризис, были введены в эксплуатацию по контракту с фирмой «SMS SIEMAG» толстолистовой стан горячей прокатки 5000 и машина непрерывного литья заготовки – составная часть технологической линии стана 5000, а также агрегат полимерных покрытий № 2 в цехе покрытий. В начале 2010 года в кислородно-конвертерном цехе введен комплекс внепечной обработки стали, состоящий из агрегата «печь-ковш» и двухпозиционного вакууматора.

В результате реализации этого проекта ОАО «ММК» получил широкие возможности в производстве горячекатаного и толстолистового проката с высокими качественными характеристиками, полученными по самым современным технологиям обработки металла давлением. Комплекс МНЛЗ-6 и толстолистовой стан 5000 предполагают возможность выпуска практически любого вида толстолистовой стали, исходя из максимальных требований к трубам большого диаметра, которые выдвигают нефтегазовые компании: толщина стенки до 50 мм с прочностными характеристиками до X120. Технологические возможности стана позволяют выпускать продукцию для нефтяных платформ, работающих в условиях Арктики, для строительства мостов, изготовления котлов, судостали, в том числе для танкеров, российских ВМС, современных судов ледового класса, что позволит комбинату занять лидирующие позиции среди производителей подобного проката на территории РФ.

В 2009 году в ОАО «ММК» был реализован контракт с итальянской компанией «FATA HUNTER» по строительству агрегата полимерных покрытий (АПП) № 2. Производительность агрегата – 200 тыс. т/год. Новый агрегат имеет ряд преимуществ перед АПП № 1, введенным в строй в 2004 году. В частности, в его технологической линии установлена правильно-растяжная машина, обеспечивающая плоскостность металла в соответствии с условиями потребителей. Серьезное внимание уделено экологической составляющей проекта: АПП № 2 оснащен установкой реге-

нерации сольвента, что позволяет утилизировать отходы после чистки растворителями ванн и роликов при переходе с одного цвета на другой. В составе оборудования агрегата впервые на комбинате установлены новые узлы: горячий и холодный ламинаторы. Горячий ламинатор позволяет наносить на металл декоративный рисунок, холодный – защитную пленку уже на готовую продукцию, для того чтобы предотвратить ее повреждение при перевозках или дальнейшей переработке. Металлопрокат с нанесенным полимерным покрытием востребован в строительной отрасли, производстве бытовой техники и мебели, машиностроении. Самым емким рынком листа с покрытием является строительная индустрия, потребляющая примерно 60% данного вида продукции.

Характеристика современных электроприводов ОАО «ММК»

Структура современного электрооборудования, установленного в ОАО «ММК», ориентирована на расширенное применение электроприводов и преобразовательной техники ведущих электротехнических компаний мира, в их числе фирмы «Siemens», «General Electric», «Danfoss», «ABB», «ASIRobicon» и др. (рис. 1). В 2009 году к ним добавилась немецкая фирма «Converteam». Стратегическим партнером ОАО «ММК», по-прежнему, является фирма «Siemens» (рис. 2). Такой выбор обусловлен опытом наладки и успешной эксплуатации электрооборудования данной фирмы – это преобразователи постоянного тока «Simoreg DC» и «Simoreg CM», преобразователи частоты (ПЧ) «Simovert», «Micromaster», «Sinamics», устройства плавного пуска типа «Sicostart», программируемые контроллеры «Simatic».

Реконструкция и техническое перевооружение производства идут по следующим направлениям:

- полная замена морально и физически устаревших производств;
- ввод в эксплуатацию принципиально новых технологических комплексов;
- модернизация отдельных агрегатов и узлов.

Изменения в структуре электрооборудования (по двигателям, преобразователям и контроллерам) за последние семь лет приведены в табл. 1.

Доля преобразователей переменного тока неуклонно возрастает (рис. 3). Их отличают хорошие статические и динамические характеристики, простота налад-

ки, удобство обслуживания, легкая встраиваемость в современные АСУ ТП, высокая надежность [4]. Так, в качестве характеристики наработки на отказ преобразователей частоты нового поставщика – фирмы «Con-verteam», за первые полгода эксплуатации средневольтные ПЧ типа MV7308, от которых запитаны двигатели горизонтальных и вертикальных валков прокатной клети стана 5000, отказов не имели. А наработка более 300 единиц, установленных на стане низковольтных ПЧ типа LV7000, составила более 100 тыс. ч.

Наряду с модернизацией основного технологического оборудования, ОАО «ММК» активно внедряет большое количество грузоподъемных кранов, выполненных с применением преобразователей частоты и короткозамкнутых асинхронных двигателей. Динамику внедрения частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП) на грузоподъемных механизмах можно проследить по табл. 2. На 2010 год количество кранов на базе системы ПЧ-АД (142 ед.) составило 18,5% от общего количества подъемно-транспортных механизмов (764 ед.), эксплуатируемых в ОАО «ММК». В табл. 3 приведены типы преобразователей частоты, применяемых на подъемных кранах ОАО «ММК».

В настоящее время злостным является вопрос реконструкции электроприводов тепловых электростанций комбината. Объектами внедрения ЧРП либо реконструкции существующих электроприводов с внедрением ПЧ являются вспомогательные механизмы собственных нужд, обеспечивающие работу

электростанции. Диапазон мощностей электроприводов составляет от 160 до 1250 кВт, напряжение – от 3 до 10 кВ, что затрудняет практическое внедрение ПЧ, выполненных по схеме с автономным инвертором напряжения (АИН), в том числе ПЧ фирмы SIEMENS.

Как известно, серийный выпуск высоковольтных ПЧ с АИН в настоящее время недостаточно отлажен, за исключением многоуровневых ПЧ, которые сложны и дороги. Как один из перспективных рассматривается вариант внедрения преобразователей частоты Power Flex 7000 фирмы «Allen Bradley», хорошо зарекомендовавших себя на многих тепловых объектах РФ [5].

Использование современных преобразователей невозможно без применения современных систем управления. В ОАО «ММК» большое распространение получили цифровые системы управления электроприводами, которые реализуются на базе контроллерных устройств (рис. 4). Использование контроллеров существенно упрощает решение широкого ряда задач. Так, при применении контроллеров легко реализуются регуляторы, удобна настройка системы регулирования, визуализированы процессы, происходящие внутри системы регулирования, возможны наблюдение и корректировка внутренних переменных. Кроме того, появляется масса других возможностей на усмотрение проектировщиков и пользователей современной техники. Применение в приводной технике цифровых систем управления электроприводами и технологическими процессами также является оправданным средством с технико-экономи-

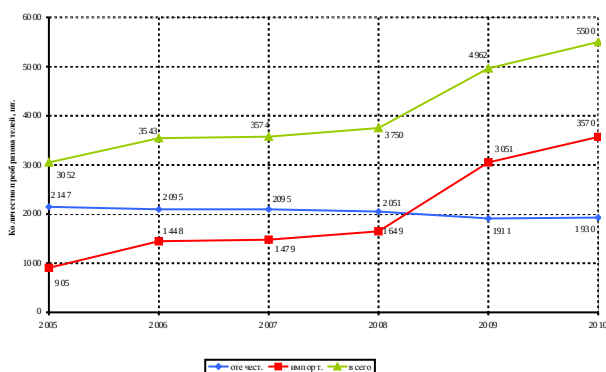


Рис. 1. Распределение преобразовательной техники на отечественную и импортную

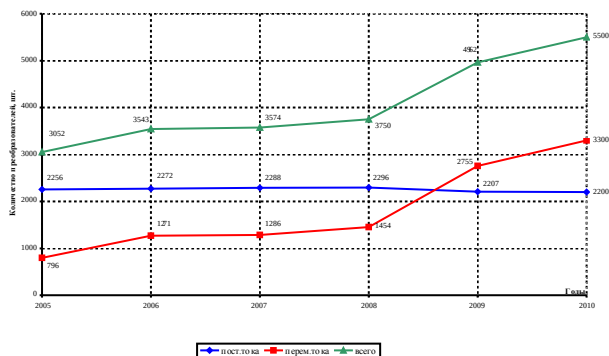


Рис. 3. Распределение преобразовательной техники по роду тока

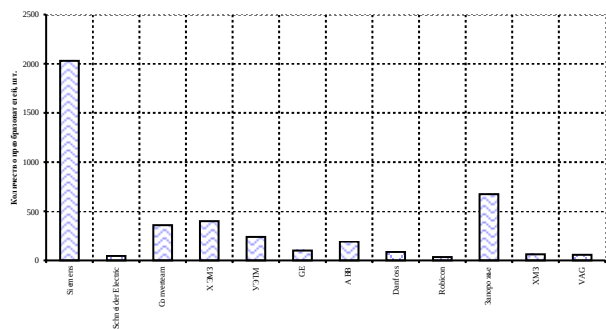


Рис. 2. Распределение преобразовательной техники по основным фирмам-производителям в 2010 г.

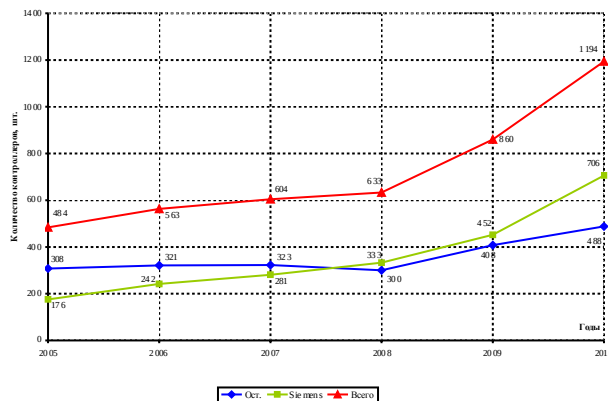


Рис. 4. Контроллеры, установленные в ОАО «ММК»

Таблица 1

Состав электрооборудования электроприводов ОАО «ММК»

Наименование	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Общее количество двигателей:	63308	62279	59809	82063	82985	156657	164167
из них постоянного тока	12799	12139	10913	13802	13804	71352	75052
из них переменного тока	50509	50140	48896	68261	69180	85305	89115
Общее кол-во преобразователей:	2617	3052	3543	3574	3750	4962	5034
из них отечественных	2161	2147	2095	2095	2051	1911	1783
из них импортных	456	905	1448	1479	1649	3051	3251
из них постоянного тока	2238	2256	2272	2288	2301	2207	1133
из них переменного тока	379	796	1271	1286	1449	2755	3901
Общее кол-во контроллеров:	454	484	563	604	633	860	1683

* Начиная с 2007 года учтены двигатели коксохимического производства, до этого входившего в состав ЗАО «Русская металлургическая компания».

Таблица 2

Внедрение ПЧ на грузоподъемных механизмах

Год ввода в эксплуатацию	Общее количество кранов	Количество кранов с релейно-контакторным электроприводом	Количество кранов с частотно-регулируемым электроприводом
до 1960 г.	125	125	–
1961–1970 гг.	146	146	–
1971–1980 гг.	130	130	–
1981–1990 гг.	192	192	–
1991–2000 гг.	20	20	–
2001–2010 гг.	151	11	142
Всего в ОАО «ММК»	764	624	142

Таблица 3

Распределение крановых электроприводов по типам и фирмам-изготовителям

Цех	Тип преобразователя частоты	Фирма-производитель	Общее количество ПЧ	Количество промышленных контроллеров
Аглоцех	Unidrive SP	Control Techniques	4	–
	Атлант	ОбнинскЭнергоТех	25	–
Цех покрытий	Sinamics S120	Siemens	24	5
	Simovert VC	Siemens	7	–
	Micromaster 440	Siemens	8	–
ЛПЦ-5	Simovert VC	Siemens	16	4
ЛПЦ-9	Simovert VC	Siemens	37	23
	Micromaster 440	Siemens	63	
ЭСЦ	Sinamics S120	Siemens	27	13
	Dynahost	Vacon	48	
	Атлант	ОбнинскЭнергоТех	10	–
КХП	Dynahost	Vacon	44	4
Сортовой цех	Dynahost	Vacon	54	9
МНЛЗ-6	Sinamics S120	Siemens	78	12
ЛПЦ-11	Simovert VC	Siemens	55	32
	Micromaster 440	Siemens	64	
Всего в ОАО «ММК»	–	–	564	102

ческой точки зрения. Так, по отношению к аналоговым системам, цифровые позволяют получить высокую степень интеграции элементов и более низкие массогабаритные показатели.

Благодаря наличию встроенных цифровых систем управления в современных ПЧ, их внедрение в электроприводах ТЭЦ рассматривается не только как мероприя-

тие, позволяющее экономить электроэнергию, но и с точки зрения обеспечения технической возможности совершенствования управления технологическим процессом. Как правило, мощность котлового и насосного оборудования в несколько раз превышает расход потребителей, что влечет за собой сверхнормативные потери и неоправданные затраты [6]. Поэтому перед началом модер-

низации электроприводов вспомогательных механизмов электростанции необходимо провести технико-экономическое обоснование, позволяющее определить не только сроки окупаемости затрат на внедрение ПЧ, но и правильно организовать технологический процесс с учётом возможностей электропривода с частотным регулированием. Целесообразно оценить возможность использования ПЧ не только в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, но и как составляющих комплексных системных решений с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Такие решения позволяют получить дополнительный эффект, который заведомо больше, нежели простая экономия электрической энергии.

Модернизация производства в ОАО «ММК» продолжается. На очереди строительство и пуск в 2011 году нового листопркатного цеха № 11, включающего пятиклетевой стан-тандем 2000 холодной прокатки, совмещённый с непрерывно-травильным агрегатом, агрегат непрерывного горячего цинкования и ещё один агрегат непрерывного горячего цинкования, совмещённый с агрегатом непрерывного отжига. Пуск ЛПЧ-11 позволит наладить на Магнитке производство высококачественного автомобильного листа, удовлетворяющего самым высоким требованиям.

Список литературы

1. Журавлев Ю.П. Развитие энергетики ОАО «ММК» в современных условиях // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2006. № 2. С. 3–5.
2. Головин В.В. К 70-летию ЦЭТЛ ОАО «ММК» // Вестник МГТУ им. Г.И.

3. Носова. 2006. № 2. С. 5–6.
4. Головин В.В., Косенков А.В., Разворотнев В.П. Опыт внедрения современных электроприводов в ОАО «ММК» // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 2. С. 149–156.
5. Головин В.В., Карандаев А.С. Промышленное внедрение и опыт эксплуатации современных электроприводов в ОАО «ММК» // Регулируемый электропривод. Опыт и перспективы применения. М.: МЭИ, 2006. С. 9–35.
6. Лазарев Г.Б. Опыт и перспективы применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в электроэнергетике России // Новости приводной техники. URL: http://www.privodnews.ru/may_03/25-3.htm. (25.04.2011).
7. Проекты АСУ технологических процессов и установок с применением частотно-регулируемых приводов. URL: <http://www.promdrive.ru/load/33.pdf>.

Bibliography

1. Zhuravlyov J.U.P. development of open joint-stock company «MМК» power engineering in modern conditions // the Bulletin of MGTU of G.I.Nosova, 2006. № 2. with. 3–5.
2. Golovin V.V. To 70 anniversary central electro technical laboratory («ЦЭТЛ») open joint-stock company «MМК» // the Bulletin of MGTU of G.I.Nosova, 2006. № 2. with. 5–6.
3. Golovin V.V., Kosenkov A.V., Razvorotnev V.P. Opyt of a implementing of modern electric drives in open joint-stock company «MМК» // Izvestija TulGu. Engineering science. number. 3: in 5 part. Tula: Publishers TulGu, 2010. part. 2. With. 149–156.
4. Golovin V.V., Karandaev A.S. industrial a implementing and field experience of modern electric drives in open joint-stock company «MМК» // the Controlled-velocity electric drive. Experience and application prospects. M: МЭИ, 2006. With. 9–35.
5. Lazarev G. B. Experience and prospects of application of frequency-controlled asynchronous electric drives in electric power industry of Russia // News of power-driven engineering. 25.04.2011 http://www.privodnews.ru/may_03/25-3.htm
6. Designs of an automatic control system of processes and installations with application of frequency-controlled drives. <<http://www.promdrive.ru/load/33.pdf>>

УДК 621.313.3-83-52

Сарваров А.С., Анисимов Д.М., Усатый Д.Ю., Петушков М.Ю., Вечеркин М.В.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ АГРЕГАТОВ ГОП ОАО «ММК» И ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», как предприятие с полным металлургическим циклом, в своей основе содержит множество технологических участков и производств, начиная от добычи и обогащения руды, заканчивая выпуском товарной продукции в виде листового и сортового проката, а также изделий глубокой его переработки. Комбинат начал свою производственную деятельность с создания горнорудной базы и развития горно-обогатительного производства (ГОП), что позволило в кратчайшие сроки, начиная с 1932 г., осуществить производство чугуна и стали.

В процессе подготовки шихты участвует значительное количество механизмов и технологических агрегатов, оснащенных преимущественно асинхронным электроприводом.

Асинхронные двигатели (АД) в промышленности являются наиболее массовыми в применении. На рис. 1, а приведена количественная картина распределения двигателей переменного тока по мощности в ОАО «ММК», включая синхронные, по состоянию на 2004 г. [1].

В целом на комбинате в это время использовалось свыше 85 тыс. электродвигателей переменного тока и

около 15 тыс. двигателей постоянного тока. К настоящему времени переход к электроприводам переменного тока становится массовым, и практически все вводимые новые производственные мощности и технологические агрегаты на комбинате реализованы на электроприводах переменного тока.

Подобного типа диаграммы приведены по ГОП ОАО «ММК» на рис. 1, б. По состоянию этого года в эксплуатации находится 10489 электродвигателей переменного тока и в том числе около 400 высоковольтных. Доля высоковольтных двигателей составляет 3,7%, а суммарная установленная мощность их достигает 25%.

Разнообразие и сложность технологических процессов в ГОП характеризуется использованием широкого круга механизмов, количество которых по основным видам механизмов представлено диаграммой на рис. 2, а. Наиболее массовыми в горнорудном производстве, как в целом в промышленности, являются насосы и вентиляторы (эксгаустеры). В количественном отношении на долю механизмов данного типа приходится свыше 30%. Специфичными для ГОП являются буровые станки, кон-

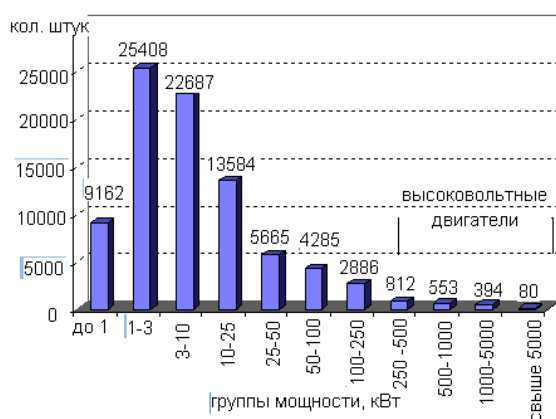
вейеры и транспортеры, грохоты и вибраторы, мельницы и дробилки, электроприводы которых реализованы на базе нерегулируемых короткозамкнутых АД. Следует отметить, что в настоящее время процесс модернизации электроприводов произошел только в отношении питателей и непосредственно агломашин.

Тяжелые условия пуска асинхронных электроприводов обусловлены, как известно, возникновением ударных пусковых моментов колебательного характера и пусковых токов, амплитуды которых многократно превышают номинальные значения. Современные пусковые устройства на основе ТПН позволяют осуществить различные законы управления пусковым режимом, но во всех случаях пуск производится при ограничении питающего напряжения. При этом пусковой режим в зависимости от закона регулирования напряжения может быть длительным во времени, и выигрыша в плане снижения электрических потерь в самом двигателе при этом нет. При пуске двигателя с нагрузкой на валу длительность пускового процесса значительно возрастает и вместе с этим заметно увеличиваются потери, которые в отдельных случаях могут привести к перегреву двигателя.

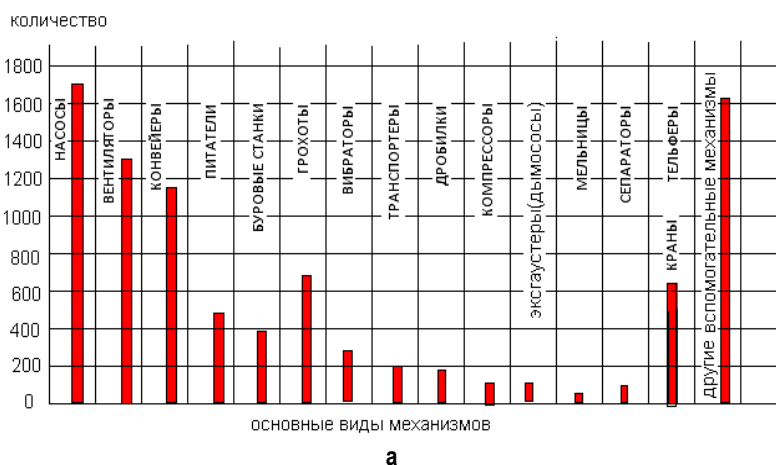
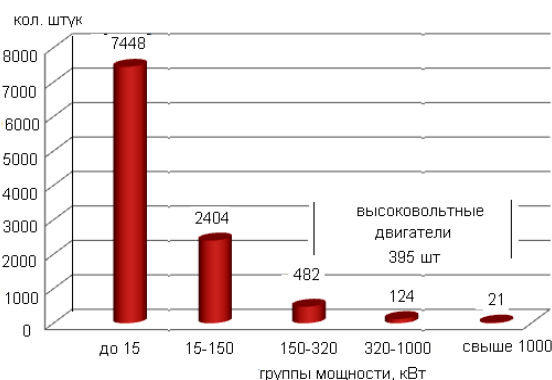
В целом по условиям пуска электроприводы про-

мышленных механизмов можно разделить на три группы, и каждая из них характеризуется определенным типом механических характеристик. На рис. 2, б приведены три вида типовых характеристик. Вентиляторы и насосы относятся к первой группе механизмов, для которых условия пуска считаются нормальными, так как начальный момент сопротивления находится на уровне сопротивления холостого хода. Электроприводы второй группы работают практически при постоянном моменте. К ним в первую очередь относятся конвейеры, подъемники, транспортеры и другие им подобные по виду механических характеристик. Для этой группы условия пуска следует считать тяжелыми. Сверхтяжелыми считаются условия пуска 3-й группы механизмов (рис. 2, б). Особенности пуска таких механизмов следует рассматривать отдельно.

В системе ТПН-АД, как известно, могут решаться различные задачи, начиная от бесконтактной коммутации АД при пуске, обеспечения мягкого пуска двигателя и заканчивая позиционированием, включая плавное снижение частоты вращения управляемого асинхронного электропривода при остановке. Большое многообразие механизмов требует принятия соответствующих технических решений.



а
Рис. 1. Распределение двигателей переменного тока по группам мощностей



а
Рис. 2. Распределение асинхронных электродвигателей по механизмам и типовые характеристики основных механизмов



Во многих случаях на первый план выдвигается задача ограничения пусковых токов. Задача такого типа ставится в 2-х случаях:

1. При питании АД от «слабой сети» возникают значительные просадки напряжения, что оказывает заметное влияние на работу других потребителей.

2. При частых пусках, когда интенсивные тепловыделения приводят к перегреву изоляции обмоток.

Следует отметить, что одновременно с ограничением пускового тока достигается снижение амплитуды ударного динамического момента. В то же время задача снятия динамических нагрузок может решаться на основе реализации условий детерминированного пуска. В свое время эти условия были сформулированы проф. Петровым Л.П. [2]. Их сущность заключается в том, что подключение фаз статорной обмотки к трехфазному источнику напряжения осуществляется в заданные моменты времени при переходе определенных фазных и линейных напряжений через нулевые точки и точки максимума. При этом вначале включаются две фазы статора на линейное напряжение, а третью фазу подключают в момент времени, соответствующий любому из максимумов напряжения. Для устранения аperiodической составляющей тока намагничивания подключе-

ние первых двух фазных обмоток производится в максимуме линейного напряжения на этих фазах.

Следует отметить, что дальнейшего развития детерминированный пуск в плане массового внедрения не получил в серийных преобразователях напряжения. Это обусловлено следующими причинами:

- в дорыночных условиях работы промышленности массового перевооружения асинхронного электропривода с внедрением систем ТПН-АД не произошло;
- силовая электроника в большей степени развивалась в направлении совершенствования тиристорных преобразователей напряжения и преобразователей частоты;
- применение серийных систем ТПН-АД в целом позволяло заметно снять динамические перегрузки в механической части электропривода, однако при этом уделялось значительное внимание вопросам снижения пусковых токов и нагрузок в сетях электроснабжения при пуске АД;
- создание и внедрение блока управления, реализующего детерминированный пуск, требовало дополнительных затрат и усложнения в целом всей системы управления ТПН.

В настоящее время во многих отраслях промышленности на первый план выдвигаются задачи энерго- и ресурсосбережения. В этой связи их успешное решение может достигаться в первую очередь за счет увеличения срока и повышения надежности эксплуатации электромеханического оборудования. Асинхронный электропривод, как известно, является наиболее массовым, и решение проблем, возникающих при его эксплуатации, как, например, снятие динамических перегрузок, может заметно увеличить длительность межремонтного периода.

Акцентировать внимание на реализации детерминированного пуска при использовании серийных ТПН, как уже отмечалось выше, нет необходимости. Даже кратковременное регулирование напряжения на начальном этапе пуска всегда ведет к заметному снятию динамических перегрузок в механической системе. На рис. 3 для сопоставления приведены расчетные осциллограммы пуска АД прямым включением в сеть (рис. 3, а) и пуск с ограничением напряжения на время регулирования $t_{рег}=0,1$ с. Такое кратковременное воздействие на начальном этапе пуска позволяет практически полностью устранить колебания пускового момента АД. При этом если нет ограничений по мощности со стороны питающей сети и отсутствуют специальные требования по формированию пускового момента, то можно использовать специальные объектно-ориентированные пусковые устройства кратковременного действия. Концепция создания таких преобразователей вытекает также из результатов исследований, обобщение которых проведено в [3], где отмечается, что для ограничения ударных моментов на начальном этапе пуска до уровня критического момента достаточно обеспечить незначительное время регулирования 0,02–0,06 с. Таким образом, целесообразно поставить задачу о создании *пусковых устройств кратковременного действия* (ПУКД).

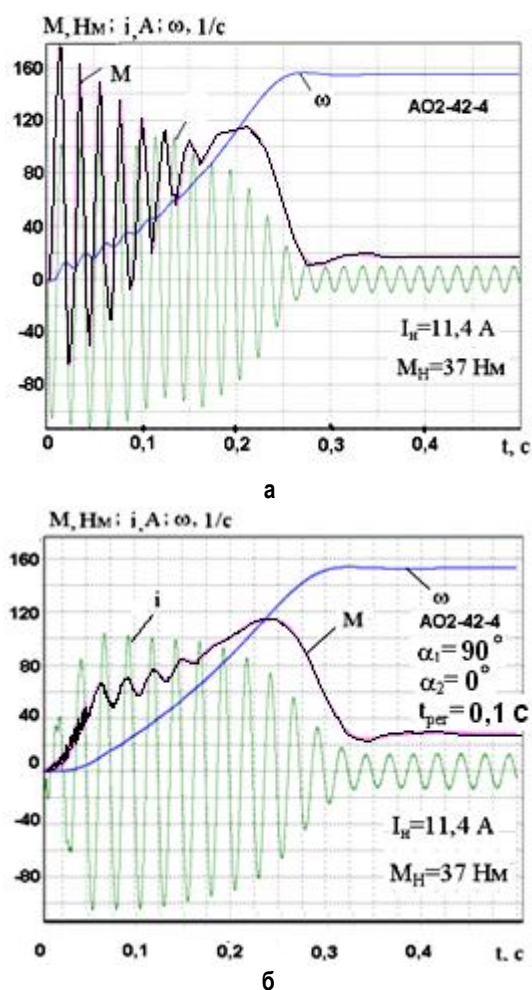


Рис. 3. Расчетные осциллограммы процесса пуска АД при различных условиях

Отдельно исследован случай, когда регулирование осуществляется в течение одного периода, т.е. $t_{\text{рег}}=0,02$ с (рис. 4).

Установка начального угла регулирования $\alpha_{\text{нач}}=90^\circ$ и конечного угла $\alpha_{\text{кон}}=0^\circ$ на временном интервале, равном периоду питающего напряжения, является технически достигаемой.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности развития концепции создания ПУКД и уточнения области применения таких устройств на основе технико-экономического сопоставления их с традиционными пусковыми устройствами.

В металлургической промышленности для большинства высоковольтных электроприводов традиционными остаются прямой пуск и реакторный. Реакторный пуск является более затяжным, и потери в двигателе при этом могут заметно превосходить потери при прямом пуске. В то же время наличие мощных сетей электроснабжения позволяет для широкого круга электроприводов переменного тока реализовать кратковременное управление пуском на интервале одного или нескольких периодов питающего напряжения.

В качестве наиболее простого ПУКД для высоковольтного электропривода может быть использовано бесконтактное трансформаторно-тиристорное коммутающее устройство [3, 4].

Список литературы

1. Осипов О.И., Славгородский В.Б. Состояние и перспективы модерни-

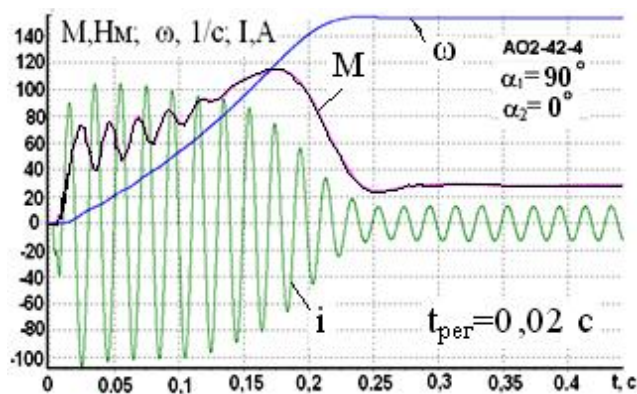


Рис. 4. Расчетные осциллограммы процесса пуска при $t_{\text{рег}}=0,02$ с

зации автоматизированного электропривода прокатных станов в черной металлургии // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (АЭП-2004, Магнитогорск, 14–17 сентября 2004 г.). Ч. I. Магнитогорск, 2004. С. 16–23.

2. Петров Л.П. Управление пуском и торможением асинхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1981. 184 с.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.
4. Пусковое устройство трехфазного высоковольтного электродвигателя переменного тока Свидетельство РФ на полезную модель № 82963 / Анисимов Д.М., Сарваров И.А., Петушков М.Ю., Сарваров А.С. Огубл. в БИПМ. 2009. № 3.

УДК 621.771.06-114-52

Селиванов И.А., Салганик В.М., Гун И.Г., Петухова О.И., Мамлеева Ю.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО СТАНА НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Непрерывный стан, как объект автоматического регулирования, относится к наиболее сложному случаю многосвязных систем. Его клетки с электроприводами и системами управления можно представить как сепаратные системы, между которыми существуют естественные перекрестные взаимосвязи [1].

Вопрос силовой связи клеток через полосу является одним из основных вопросов непрерывной прокатки. Математическому описанию этой связи, исследованию ее влияния на качество регулирования параметров прокатки и посвящена настоящая статья.

Исследование проводилось на математической модели пятиклеточного стана с разными системами управления. С целью сокращения объема статьи в ней приведены результаты исследований только первых двух клеток [2].

На первом этапе исследовалась двухконтурная система регулирования скорости с П-регуляторами скорости. Структурная схема такой системы приведена на рис. 1.

Передаточные функции регуляторов скорости определялись по уравнению

$$H_{\text{pc}} = \frac{T_m k_m}{4T_\mu k_c} \quad (1)$$

Исходные данные для расчета параметров математической модели непрерывного стана сведены в табл. 1.

В процессе исследований рассматривались случаи:

1. Реакция системы на скачкообразное изменение управляющего воздействия на скорость второй клетки.
2. Реакция системы на скачкообразное изменение управляющего воздействия на скорость первой клетки.
3. Реакция системы на скачкообразное изменение момента прокатки первой клетки (имитация изменения размеров подката на входе первой клетки) [3].
4. Пуск стана от задатчика интенсивности с заправочной скорости до рабочей.

При исследованиях натяжения на входе F_0 и выходе F_2 стана принимались постоянными.

Результаты представлены на рис. 2–5.

На втором этапе исследовалась двухконтурная система регулирования скорости с адаптивными ПИ-регуляторами скорости. Передаточные функции регуляторов скорости определялись по уравнению

$$H_{\text{pc}} = \frac{(1 + T_m' p) k_t}{4T_\mu p k_d k_c} \quad (2)$$

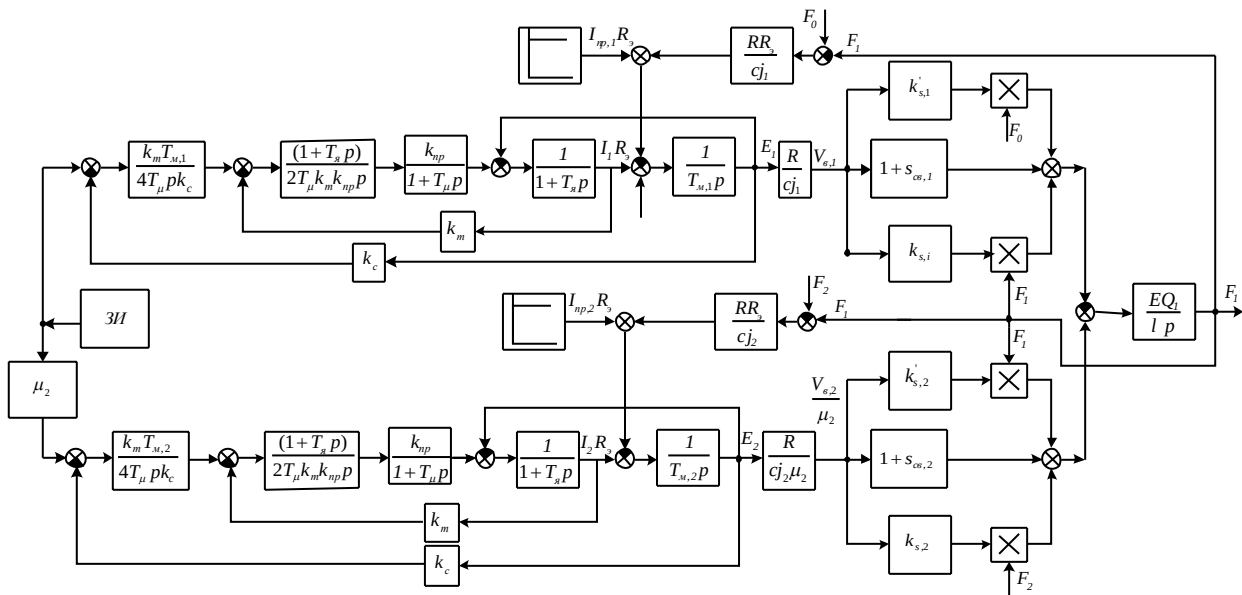


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной САР скорости непрерывного двухклетевого стана

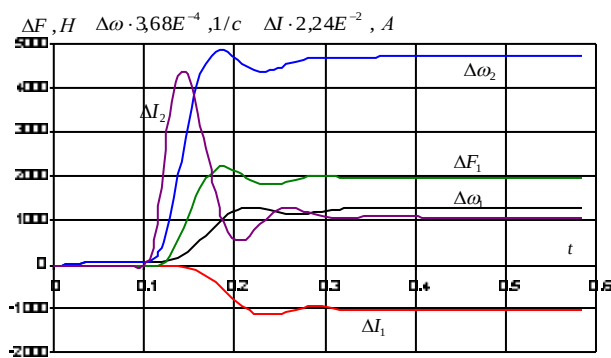


Рис. 2. Переходные процессы в двухконтурной системе САР скорости непрерывного стана при управляющем воздействии на входе второй клетки

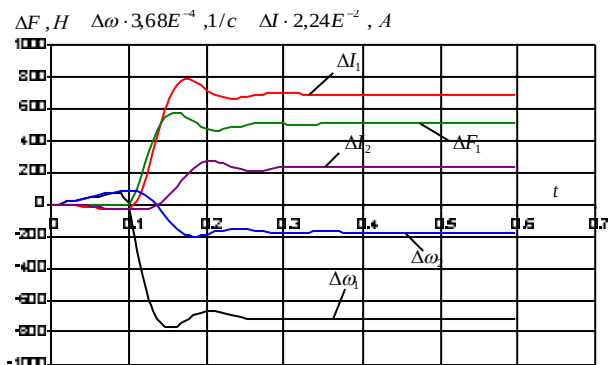


Рис. 4. Переходные процессы в двухконтурной системе САР скорости непрерывного стана при возмущающем воздействии на входе первой клетки (увеличение размеров подката)

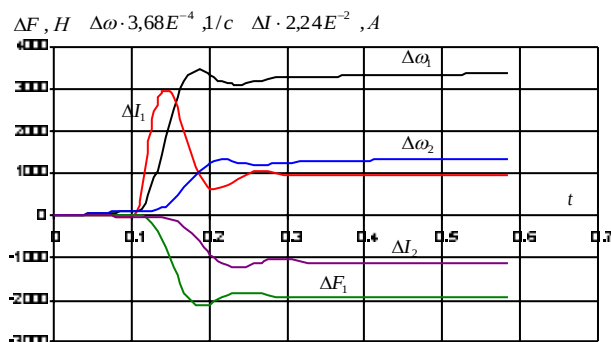


Рис. 3. Переходные процессы в двухконтурной системе САР скорости непрерывного стана при управляющем воздействии на входе первой клетки

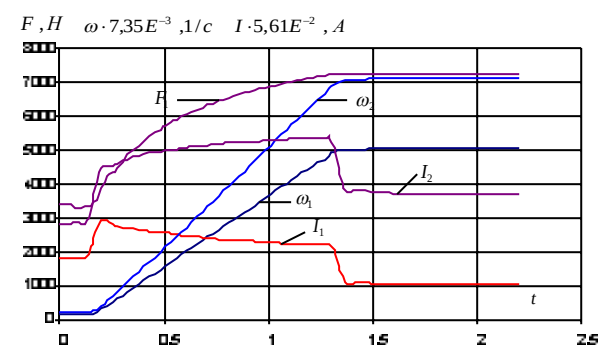


Рис. 5. Переходные процессы в двухконтурной системе САР скорости непрерывного стана при его пуске с заправочной скорости до рабочей

где T'_m – электромеханическая постоянная с учетом силовой связи между клетями,

$$T'_{m,i} = k_{o,i} T_{m,i}; \quad (3)$$

$k_{o,i}$ – коэффициент передачи двигателя,

$$k_o = \frac{c^2 j_i^2 V_{\theta,i}}{R_j R^2 (1 + S_i) A_i} = \frac{c^2 j_i \omega_i}{R_j (1 + S_i) A_i}; \quad (4)$$

Таблица 1

N п/п	Наименование	Единицы измерения	Величина	
			Клетки	
			1	2
Паспортные данные двигателей и преобразователей				
1	Номинальная мощность	кВт	180	180
2	Номинальное напряжение	В	440	440
3	Номинальный ток якоря	А	495	495
4	Номинальная скорость вращения	об/мин	1500	1500
5	Момент инерции двигателя		5.75	5.75
6	Сопротивление якорной цепи при	Ом	0.0257	0.0257
7	Передаточный коэффициент преобразователя		70	70
8	Постоянная времени преобразователя		0.01	0.01
Технологические данные прокатки				
9	Момент инерции механизма		2	2
10	Передаточные числа		3.2	2.9
11	Вытяжка по клетям		1.4	1.68
12	Переднее натяжение		7330	5180
13	Заднее натяжение	Н	2000	7330
14	Скорость прокатки	Н	3.31	5.57
15	Опережение металла при свободной прокатке $s_{св}$		0.05	0.03
16	Поперечное сечение	мм ²	23.7	14.11
17	Момент прокатки	Нм	500	1660
18	Постоянная двигателя	Вс	2.72	2.72
19	Момент инерции электропривода	кгм ²	5.95	5.99
20	Электромагнитная постоянная времени	с	0.079	0.079
21	Электромеханическая постоянная времени	с	0.072	0.072
22	Коэффициент обратной связи по току		0.091	0.091
23	Коэффициент обратной связи по скорости	Вс	0.023	0.023
24	Технологический коэффициент k'_s	1/Н	-1.18Е-05	-1.81Е-05
25	Технологический коэффициент k_s	1/Н	1.264Е-05	1.633Е-05
26	Линейная скорость валков	м/с	3.156	5.353
27	Модуль упругости полосы	Н/мм ²	205000	205000
28	Расстояние между клетями l	м	1	1
29	Коэффициент	Н	32530.9	25953.8
30	Коэффициент	Нм	0.006695	0.0089726
31	Радиус валков	м	0.1	0.1
32	Угловая скорость двигателя в режиме прокатки	1/с	100.99	155.24

A_i – коэффициент, не зависящий от скорости,

$$A_i = \frac{1}{k_{s,i} - k'_{s,i+1}}. \quad (5)$$

Для упрощения реализации структуры адаптивного

Таблица 2

N п/п	Наименование	Единицы измерения	Величина	
			Клетки	
			1	2
1	Коэффициент A_i	Н	32530.9	25953.8
При рабочей скорости первой клетки $\omega_{1,раб} = 8 \text{ 1/с}$				
2	Коэффициент двигателя $k_{d,i}$		0.622	0.998
3	Электромеханическая постоянная времени $T'_{m,i}$	с	0.045	0.072
4	Постоянная интегрирования регулятора скорости $T_{ин,i}$	с	0.072	0.116
При рабочей скорости первой клетки $\omega_{1,раб} = 38,3 \text{ 1/с}$				
5	Коэффициент двигателя $k_{d,i}$		1.490	2.393
6	Электромеханическая постоянная времени $T'_{m,i}$	с	0.107	0.173
7	Постоянная интегрирования регулятора скорости $T_{ин,i}$	с	0.173	0.277

регулятора скорости, в состав которого должен входить блок умножения, было принято решение в уравнении (2) скорость ω_i считать постоянной и равной

$$\omega_i = \omega_{i,р} = \frac{\omega_{1,раб}}{2}. \quad (6)$$

Исходные данные для расчета параметров математической модели непрерывного стана при адаптивных регуляторах скорости сведены в табл. 1 и 2.

В процессе исследований рассматривались такие же случаи, что и для системы с П-регуляторами скорости.

Результаты представлены на рис. 6–9.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Скачкообразное увеличение задания на скорость двигателя второй клетки вызывает ее возрастание, что в свою очередь определяет увеличение натяжения F_1 и момента (тока) двигателя второй клетки и снижение момента двигателя первой клетки.

В двухконтурной системе с П-регуляторами скорости за счет уменьшения момента двигателя первой клетки его скорость увеличивается. В системе с адаптивными ПИ-регуляторами скорости скорость двигателя первой клетки в установившемся режиме остается без изменения (см. рис. 2 и 6).

2. Скачкообразное увеличение задания на скорость двигателя первой клетки вызывает ее возрастание, что в свою очередь определяет уменьшение натяжения F_1 , увеличение момента (тока) двигателя первой клетки и возрастание момента двигателя первой клетки.

В двухконтурной системе с П-регуляторами скорости за счет уменьшения момента двигателя второй клетки его скорость увеличивается. В системе с адап-

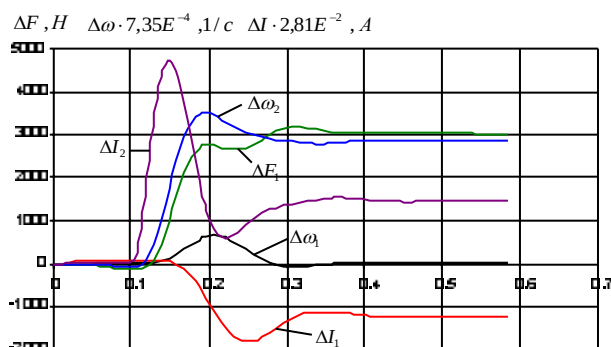


Рис. 6. Переходные процессы в двухконтурной системе с адаптивными регуляторами скорости при управляющем воздействии на входе второй клетки

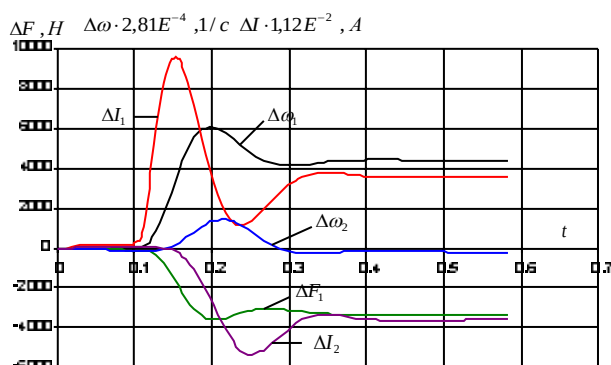


Рис. 7. Переходные процессы в двухконтурной системе с адаптивными регуляторами скорости при управляющем воздействии на входе первой клетки

тивными ПИ-регуляторами скорости скорость двигателя второй клетки в установившемся режиме остается без изменения (см. рис. 3 и 7).

3. При скачкообразном увеличении момента прокатки первой клетки (имитация увеличения размеров подката) в двухконтурной системе с П-регуляторами скорости моменты двигателей первой и второй клеток, а также натяжение увеличиваются. Скорости приводных двигателей уменьшаются (см. рис. 4).

Для двухконтурной системы с адаптивными ПИ-регуляторами скорости момент двигателя второй клетки в установившемся режиме не изменяется, скорости двигателей и натяжение изменяются незначительно (скорость двигателя второй клетки и натяжение уменьшаются, а скорость двигателя первой клетки увеличивается). Момент двигателя первой клетки возрастает (см. рис. 8).

4. При пуске непрерывного стана от задатчика интенсивности при САР с П-регуляторами скорости межклетевое натяжение увеличивается, вследствие чего пусковой ток двигателя первой клетки уменьшается, а второй – увеличивается (см. рис. 5).

При пуске непрерывного стана с САР с адаптивными ПИ-регуляторами скорости межклетевое натяжение поддерживается на постоянном уровне, пуско-

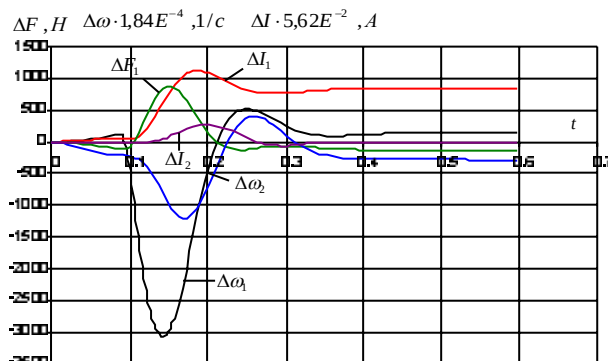


Рис. 8. Переходные процессы в двухконтурной системе с адаптивными регуляторами скорости при возмущающем воздействии на входе первой клетки (увеличение размеров подката)

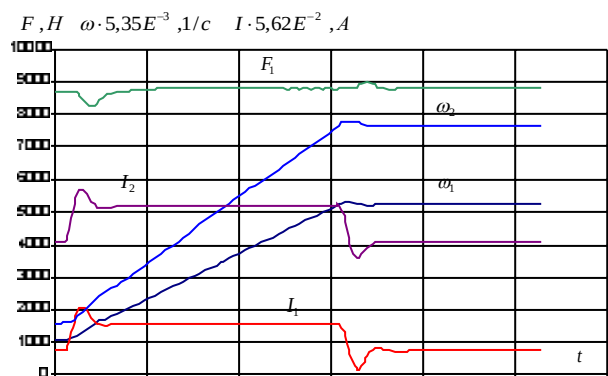


Рис. 9. Переходные процессы в двухконтурной системе с адаптивными регуляторами скорости при пуске стана с заправочной скорости до рабочей

вые токи также неизменны (см. рис. 9).

5. Из двух рассмотренных систем регулирования явные преимущества имеет система с адаптивными ПИ-регуляторами скорости только при пуске (постоянство натяжения).

Поэтому, если по каким-либо причинам систему регулирования замкнуть по натяжению невозможно, для практики целесообразно применять двухконтурную систему регулирования с адаптивными ПИ-регуляторами скорости.

Список литературы

1. Друзинин Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации. М.: Металлургия, 1975. 336 с.
2. Автоматизированный электропривод непрерывных прокатных станов с многовалковыми калибрами / Селиванов И.А., Петухова О.И., Бодров Е.Э., Суздаев И.В. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 252 с.
3. Продольная разнотолщинность при холодной прокатке в многовалковых калибрах / Никифоров Б.А., Селиванов И.А. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. № 9. С. 113–116.

Bibliography

1. Druzhinin N.N. Continuous rolling mill as installation of autoimmunization. th.: Metallurgy, 1975. 336 with.
2. Selivanov I.A., Petuhova O.I., Bodrov E.E., Suzdalev I.V. automatic electric drive of multiple-roll continuous rolling mill. Magnitogorsk: state educational establishment of the high professional education «МГТУ», 2008. 252 with.
3. The Longitudinal nonuniform thickness at multiple-roll cold rolling mill / Nikiforov B.A., Selivanov I.A., etc. // News of high schools. Iron and steel industry. 1976. № 9. With. 113–116.

УДК 621.311.4

Крылов Ю.А., Селиванов И.А., Ровнейко В.В., Галлямов Р.Р., Губайдуллин А.Р.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) является наиболее крупным собственным источником электрической и тепловой энергии ОАО «ММК», характеризующимся наиболее низкой себестоимостью выработки электроэнергии. Электростанция выдает электроэнергию на напряжении 110 кВ и связана с крупными узловыми подстанциями № 77 и 90 Магнитогорского энергоузла. Непосредственно от шин 110 кВ питаются энергоемкие потребители основных переделов комбината – установки «печь-ковш» электросталеплавильного цеха, стан «5000», станы сортового цеха, а от РУ-35 кВ – жилые микрорайоны города; от шин 10 кВ ТЭЦ запитан один из наиболее ответственных потребителей – кислородная станция № 4.

Характеристика технологического процесса ТЭЦ

Особенностью ТЭЦ как и любого энергетического предприятия является наличие большого количества высоковольтных двигателей 3–6–10 кВ, при пуске и самозапуске которых происходят частые просадки напряжения на 10–15% номинальных значений. В слу-

чае ремонтных либо аварийных ситуаций они могут привести к нарушению сложного технологического процесса электростанции. В условиях действующего производства аварийные ситуации на электростанции приводят к остановке основных технологических цехов и агрегатов и соответственно к простоям и браку выпускаемой продукции. Восстановление нормальной работы занимает, как правило, продолжительный период времени, в течение которого электроэнергия, недоотпущенная станцией в сети комбината, компенсируется дополнительным приемом от внешней энергоснабжающей организации – ООО «Магнитогорская энергетическая компания». Это связано со значительным увеличением суммарных затрат на электроэнергию в целом по предприятию, соответственно снижение времени простоев оборудования ТЭЦ представляет собой важную, экономически обоснованную задачу.

На ТЭЦ ОАО «ММК» установлено 8 энергетических котлоагрегатов типов ТП-170-1 (4 ед.), ТП-10 (2 ед.) ТП-85М (1 ед.), ТП-81 (1 ед.). Для покрытия пиков теплофикационной нагрузки в зимнее время уста-

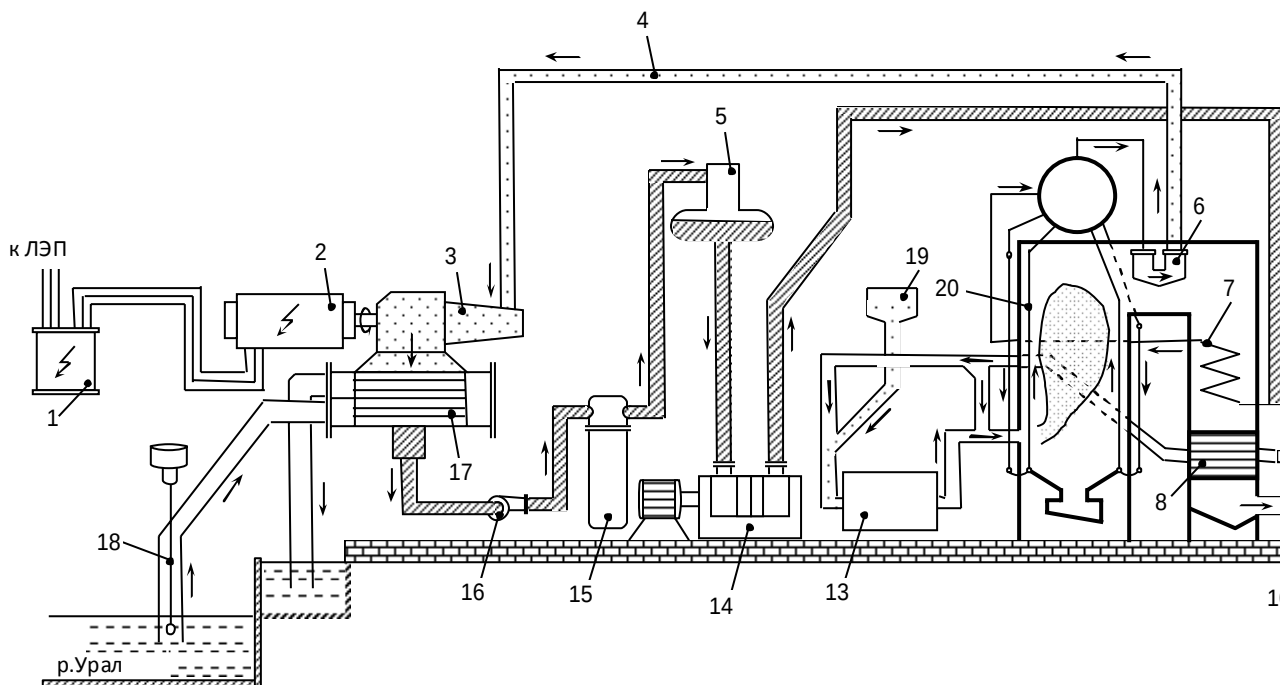


Рис. 1. Схема технологического процесса котлоагрегатов ТЭЦ:

- 1 – трансформатор, 2 – генератор, 3 – турбина, 4 – паропровод, 5 – деаэратор, 6 – пароперегреватель, 7 – экономайзер, 8 – воздухоподогреватель, 9 – дутьевой вентилятор, 10 – электрофильтр, 11 – дымосос, 12 – дымовая труба, 13 – мельница, 14 – питательный насос, конденсатор, 15 – регенеративный подогреватель, 16 – коденсатный насос, 17 – теплообменник, 18 – циркуляционный насос, 19 – бункер, 20 – экран

новлены пиковые водогрейные котлы типа ПТВМ-100 и ПТВМ-180. Технологическая схема котлоагрегата представлена на рис. 1. Перечень основных механизмов технологических и собственных нужд, обеспечивающих технологический процесс ТЭЦ, и параметры высоковольтных асинхронных (АД) и синхронных двигателей (СД) представлены в табл. 1. Автоматическое регулирование скорости вращения АД отсутствует (за исключением двух агрегатов химводоочистки). Попытка оснащения ряда электроприводов (ЭП) преобразователями частоты корпорации Tg101 оказалась неэффективной в связи с их низкой надежностью.

Категории ответственности электроприводов

Наиболее ответственными механизмами собственных нужд являются питательные насосы, циркуляционные насосы (ЦН), дутьевые вентиляторы, дымососы,

конденсатные насосы. Ко второй степени ответственности относятся сетевые насосы зимние и летние, к наименее ответственным – шаровые мельницы и молотковые дробилки. Остановка одного или двух ЦН приводит к остановке генератора, остановка большего количества ЦН приводит к более серьезным последствиям вплоть до остановки электростанции. Аналогично в случае остановки питательного насоса останавливается котел (по технологическому процессу котел, турбина и генератор – три взаимосвязанных звена одной неразрывной теплоэлектрической цепи). Поэтому ответственность этих двух типов насосов равнозначна. Что касается дутьевых вентиляторов и дымососов, то при остановке последних высокое давление газов может привести к их концентрации и широкому распространению, а в последующем – к выхлопам и локальным взрывам с угрозой для жизни людей.

С учетом сказанного в табл. 2 представлен вариант разбивки электроприводов собственных и производственных нужд ТЭЦ по категориям ответственности, исходя из оценки последствий нарушения питания котельного и турбинного участков. Также учитываются последствия нарушений тепловодоснабжения, требований безостановочной работы и допустимого времени, отводимого на восстановление нормального режима работы оборудования [1].

Известно, что перевод нерегулируемых ЭП вспо-

Таблица 1

Параметры электродвигателей агрегатов собственных нужд ТЭЦ

Наименование агрегата	Количество, шт.	Диапазон мощностей, кВт	Номинальное напряжение, кВ	Кол-во оборотов, об/мин
Электродвигатели машинного участка				
Циркуляционные насосы (АД)	8	1000–1250	3	500
Питательные электронасосы	7	2000	3	3000
Питательные электронасосы (СД)	3	4000	10	3000
Сетевые насосы (зимние и летние) (АД)	6	400	6	2970
Сетевые насосы (зимние и летние) (АД)	9	200–350–630–1600	3	1470–2960
Конденсатные насосы (АД)	8	100–220	3	980–1475
Насосы сырой воды (АД)	5	160	3	1475
Котельный участок				
Дутьевые вентиляторы (АД) 1А-8Б	16	165–630	3	585–993
Дымососы (АД) 1А-8Б	16	320–800	3	585–743
Мельничные вентиляторы (АД) 1А-8Б	16	300–630	3	1480–1490
Мельницы (АД) 1А-8Б	16	370–630	3	740
Топливо-транспортный участок				
Дробилки	2	200	3	735
Багерные насосы	3	250	3	3000
Эжекцир. насосы	3	500–800	3	2975

Таблица 2

Категории ответственности электроприводов ТЭЦ из условий безостановочной работы

Категория ответственности	Электропривод	Возможные последствия при отключении одного агрегата	Возможные последствия при отключении всех агрегатов
I категория	Циркуляционные насосы, питательные насосы	Снижение давления воды в коллекторе приводит к срыву вакуума	Остановка всей электростанции
	Дутьевые вентиляторы, дымососы	Остановка котла	Опасность для жизни людей
II категория	Сетевые насосы зимние и летние	Снижение давления в распределительной сети, что приводит к снижению температуры тепла, поступающего в жилые помещения	Остановка теплосети с прекращением подачи теплоты населению в зимнее время недопустима
III категория	Шаровые мельницы	В зависимости от времени простоя остановка мельницы приведет к остановке котла	На остановку котлов и турбин не оказывают влияния
	Молотковые дробилки	Не оказывают влияния	

могательных механизмов электрических и тепловых станций на частотное управление обеспечивает ресурсосбережение, улучшение характера протекания переходных процессов, снижение затрат на обслуживание, позволяет отказаться от применения обратных клапанов, заслонок и т.п. [2]. К числу преимуществ ЭП, управляемых от преобразователей частоты, относят и их высокую надежность. Многие производители декларируют среднюю наработку на отказ ПЧ от 40 до 100 тыс. ч и более [3]. Однако эта цифра зачастую завышена и носит рекламный характер, а такой важнейший аспект, как оценка надежности ЭП при внедрении ПЧ чаще всего остается вне зоны внимания организации-потребителя электропривода. Это обусловлено тем, что фирмы-изготовители ПЧ не заинтересованы в объективной оценке и распространении информации о показателях надежности ЭП, которые при внедрении сложного электронного устройства, безусловно, снижаются. В свою очередь, организации, внедряющие ПЧ, не имеют достоверных статистических данных о количествах отказов ЭП до и после их внедрения. Эксплуатационный персонал, заказывающий новую технику и владеющий вопросами технологии, недостаточно осведомлен об ее особенностях, и отрицательные моменты проявляются уже в условиях действующего производства.

Требования к электроприводам ответственных механизмов

В создавшейся ситуации возникла задача сопоставления технологических требований и технических возможностей современной преобразовательной техники и разработки технических требований к ней из условий обеспечения непрерывности производства на примере тепловых электростанций и теплостанций [4]. В первую очередь это относится к устойчивости к нарушениям электропитания и способности восстанавливать регулируемые параметры ответственных электроприводов I и II категорий (см. табл. 2).

Сетевые насосы

Особенность котельного оборудования – необходимость постоянного потока нагреваемого теплоносителя в трубах, расположенных в зоне горения факелов. Изготовителями котлов разрешается прекращение циркуляции воды длительностью до 10 с, по истечении которых факелы должны быть погашены во избежание парового взрыва. На практике установка времени аварийной защиты составляет 4 с из соображения дополнительной страховки от аварии с серьезными последствиями. Последующий пуск станции занимает от 30 мин до 1,5 ч со всеми вытекающими последствиями. Из этих технологических особенностей следует требование восстановления режима котлов по расходу за 4 с (максимум 10 с) после его прекращения.

Второе технологическое требование – восстановление циркуляции теплоносителя в случае его прекращения за минимально возможное время даже при остановленных котлах. При нерегулируемом электроприводе сетевых насосов это выполняется автоматически или персоналом станции. Для частотно-регулируемого электропривода необходим автоматический повторный пуск через останов.

Циркуляционные насосы

Останов циркуляционного насоса не означает однозначного отключения котла, так как установка аварийной защиты по расходу воды через котел допускает его снижение на 25% от номинального значения. Доля расхода, обеспечиваемая циркуляционными насосами, зависит от температуры воды в обратном трубопроводе (чем ниже температура, тем больше расход рециркуляции) и может достигать 30% от номинального через котел. Это означает, что аварийный останов котла возможен, а время восстановления расхода определяется уставкой защиты и является таким же, как для сетевого насоса: 4–10 с. Таким образом, основное техническое требование в условиях кратковременного нарушения электропитания к циркуляционным насосам – автоматический запуск с реализацией функции «пуск в лет». Перезапуск через останов также возможен и не имеет принципиального значения.

Тягодутьевые механизмы котлов

От работы дутьевого вентилятора, подающего воздух в горелки, и дымососа, обеспечивающего разрежение в топке и отвод дымовых газов, зависит стабильность горения факелов. Погасание факелов не восстанавливается автоматически и вызывает срабатывание аварийной защиты. Выдержка времени аварийной защиты по величине давлений дутьевого воздуха и разрежения в топке составляет 3–4 с, по истечении которых прекращается подача газа.

При практически равных уставках времени срабатывания аварийной защиты и АВР электропитания восстановление электропитания за счет общестанционного АВР не способствует сохранению котла в работе. Поэтому следует предпринять только те меры, которые способны компенсировать нарушения электропитания длительностью не более 1 с.

Ввиду особенностей горения факела – отрыв от горелки при избытке подаваемого воздуха или погасание при его недостатке, переключение электродвигателей на сетевое электропитание не является полезным и не практикуется. Поэтому к данным механизмам при нарушении электропитания предъявляется практически только одно требование: подхват вращающегося электродвигателя со временем восстановления регулируемого параметра за 3–4 с.

Групповой электропривод дутьевых вентиляторов котлов

При нарушении электропитания к дутьевым вентиляторам предъявляется требование, как для тягодутьевых механизмов котлов: «пуск в лет» вращающихся электродвигателей. Допустим перевод питания электродвигателей на сетевое с одновременным увеличением давления газа перед горелками. Для низковольтного электропривода со временем срабатывания АВР менее 1 с это является решением проблемы безостановочной работы котла, но ценой перевода его в нерегулируемый режим.

Для восстановления регулируемого режима необходима функция подхвата выбегающего двигателя при отключении его от сети и подключении к преобразователю, при этом величина просадки давления дутьевого воздуха в течение перевода электропитания не должна достичь уровня защиты, а из условия погасания факела – не должна превышать 30%. Поэтому регулируемый

привод дутьевых вентиляторов для безостановочной работы котлов требует функции перевода электропитания на сеть и обратно. Без реализации этой функции построение системы автоматического регулирования тепловой мощности не имеет смысла.

Таким образом, при нарушении электропитания комплектный групповой электропривод должен выполнять:

- подхват вращающегося электродвигателя со временем восстановления давления дутьевого воздуха не более 4 с;
- перевод на сетевое электропитание;
- перевод вращающихся электродвигателей с сетевого электропитания на преобразователь частоты с минимальным отклонением регулируемых параметров.

Сформулированные технические требования к регулируемым электроприводам ответственных механизмов [4, 5] обобщены в табл. 3.

Режимы регулируемых электроприводов при нарушении электропитания

Из сформулированных требований к ответственным регулируемым электроприводам видно, что они отличаются весьма жесткими временными интервалами для восстановления режима. Это является проблемой не только для регулируемого электропривода, но и для нерегулируемого асинхронного с питанием от электросети.

Снижения напряжения в электросети до 70% от номинального, не вызывающие срабатывание АВР, преодолеваются согласно электромеханическим характеристикам электродвигателя за счет временной перегрузки по току и снижения частоты вращения. Так как их длительность не велика, то регулируемый показатель технологического процесса, как правило, не достигает величины уставки аварийной защиты или восстанавливается за меньшее время, чем время ее срабатывания. По этим же причинам остаются без аварийных отключений и глубокие, но кратковременные (до 300 мс) просадки напряжения.

При длительностях нарушения электропитания, вызывающих срабатывание АВР, время которого на стороне подвального напряжения порядка 3 с, выполнение требования безостановочности котлоагрегата становится проблематичным. В этом случае вопрос решается устройствами самозапуска – тот же насос после восстановления электропитания в результате срабатывания АВР при некоторых условиях (например, потеря не более половины частоты враще-

ния) вновь разгоняется прямым пуском от сети и восстанавливает расход воды с прежними параметрами. Такое техническое решение должно предваряться расчетом режима самозапуска и защиты электросети, а также взаимосогласованием уставок времени защиты котлов с суммарным временем срабатывания АВР и самозапуска.

Частотно-регулируемый электропривод вызывает нарушение работы колоагрегатов и усугубляет проблему остановки теплосетей по причине кратковременных нарушений электропитания, так как преобразователи частоты весьма критичны к качеству напряжения. Высоковольтные преобразователи частоты большинством фирм-изготовителей построены по принципу максимального самосохранения, что оправдано высокой стоимостью оборудования. Так, имеются мгновенные защиты от снижения или повышения сетевого напряжения. Даже очень короткие нарушения электропитания длительностью в несколько периодов синусоиды могут привести к отключению электропривода.

Как следует из вышесказанного, практическое решение проблемы бесперебойной работы ответственных высоковольтных регулируемых электроприводов при нарушении электропитания затруднительно. Автоматическое включение резерва со временем 2–3 с не является решением, а создание собственного быстродействующего АВР проблематично как с точки зрения усложнения схемы электроснабжения, так и привнесения проблем в сферу электроснабжения по селективности и равномерности загрузки вводов электропитания.

Более целесообразно решение проблем электропривода средствами самого электропривода. Поэтому рассматривается возможность решения проблемы безостановочной работы ответственных механизмов с использованием электропитания от двух или более вводов, одновременное нарушение по которым маловероятно.

Электропитание частотно-регулируемого электропривода от двух независимых вводов

Использование двух независимых вводов, предложенное в [6], возможно при изменении структуры пре-

Таблица 3

Требования к ответственным регулируемым электроприводам теплостанции

Наименование электропривода	Характеристика, обязательные функции управления				
	Допустимое время восстановления регулируемого параметра (с)	Перезапуск через остав	Подхват вращающегося двигателя	Перевод электропитания с ПЧ на сеть	Перевод электропитания с сети на ПЧ
Сетевые насосы	4÷10	+	+	-	-
Циркуляционные насосы	4÷10	+	+	-	-
Тягодутьевые механизмы котлов	3÷4	-	+	-	-
Групповой электропривод дутьевых вентиляторов котла	3÷4	-	+	+	+

Примечание. Крестиками помечены функции, которые должна обеспечивать система управления частотно-регулируемого электропривода.

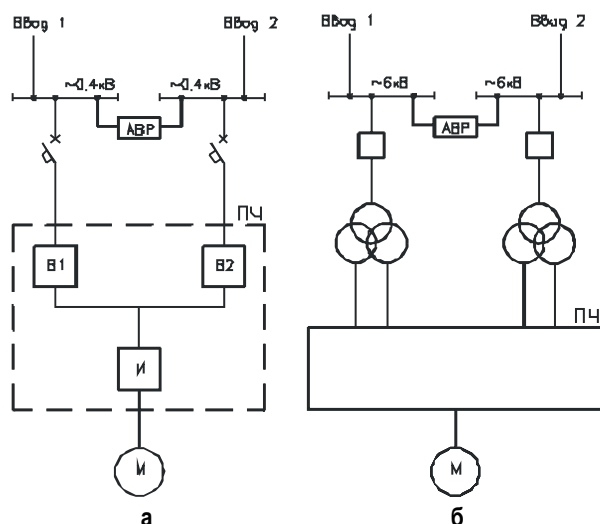


Рис. 2. Схема преобразователя частоты с двумя выпрямителями с возможностью электропитания от двух вводов:

а – бестрансформаторная схема низковольтного электропривода; б – высоковольтный электропривод с многопульсным трансформатором

образователя частоты с добавлением звена постоянного тока. Такая структура (рис. 2, а) со встречно-параллельным включением двух выпрямителей В1 и В2 и питанием каждого из них от независимых вводов 1 и 2 обеспечивала бы общее звено инвертора И постоянным напряжением при всех видах нарушения электропитания. Ввиду отсутствия паузы в переключении питания инвертора с одного выпрямителя на другой нет необходимости в изменении алгоритмов управления и использовании сложной функции «пуск в лет».

Такое предложение приемлемо для низковольтных электроприводов, не имеющих, как правило, силовых разделительных трансформаторов. Усложнение конструкции самого ПЧ за счет дополнительного узла выпрямителя и добавление одного вводного выключателя вполне приемлемо как по стоимости, так и габаритам изделия.

Реализация данного предложения в мощных высоковольтных регулируемых электроприводах представляет определенную сложность. Кроме усложнения самого преобразователя частоты в комплекте электрооборудования необходимы еще один силовой, как правило, многопульсный трансформатор и дополнительный высоковольтный выключатель (рис. 2, б). Сама структура становится неоправданно сложной, изделие дорогим, а необходимые производственные площади для размещения существенно увеличиваются. Тем не менее, эта схема может оказаться перспек-

тивной и для высоковольтного электропривода. Первый отечественный высоковольтный преобразователь типа ВПЧА-630, включающий в себя вместо трансформатора входной дроссель, вполне можно дооснастить еще одним звеном постоянного тока.

Однако для ЭП механизмов собственных нужд ТЭЦ применение таких преобразователей является дорогостоящим решением в связи с большим количеством установленных высоковольтных асинхронных электродвигателей. В качестве оптимального решения следует рассматривать вариант группового подключения инверторов к секции шин постоянного тока, питаемых от основного выпрямителя, с возможностью перевода на резервный, подключенный к отдельной секции системы электропитания ТЭЦ. Подобные схемы питания применяются на ряде современных технологических агрегатов ОАО «ММК», оснащенных асинхронными ЭП с частотным регулированием, в частности на агрегатах непрерывного горячего цинкования и полимерных покрытий, а также на сортовых станах горячей прокатки.

Список литературы

1. Анализ надежности оборудования тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты / А.С. Карандаев, Г.П. Корнилов, О.И. Карандаева и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Энергетика». Вып. 12. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. № 34(167). С. 16–22.
2. Опыт и перспективы модернизации электроприводов в системах жизнеобеспечения города / Н.Ф. Ильинский, А.Н. Ремезов, А.В. Сорокин, Ю.А. Крылов // Электричество. 2007. № 7. С. 28–34.
3. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: Academia, 2004.
4. Ремезов А.Н., Сорокин А.В., Крылов Ю.А. Технические требования к регулируемым электроприводам жилищно-коммунального хозяйства // Промышленная энергетика. 2007. № 7.
5. Тарасов Д.В. Требования к частотно-регулируемым электроприводам насосов и вентиляторов при аварийных режимах в системе электропитания котельных // Электрические станции. 2006. № 1.
6. Пат. 32333 РФ. Устройство регулирования частоты напряжения питания электродвигателей переменного тока / С.Н. Станкевич, Ю.А. Крылов // ИБ. 2003. № 25.

Bibliography

1. Security analysis of the equipment of a thermal power station at a implementing of frequency converters / A.S. Karandaev, G.P. Kornilov, O.I. Karandaeva, etc. // the Bulletin of the South Ural state university. A series «Power engineering». Issue. 12. Chelyabinsk: Publishers JuUrGu, 2009. № 34 (167). With. 16–22.
2. Experience and prospects of upgrading of electric drives in city life-support systems / N.F. Ilinsky, A.N. Remezov, A.V. Sorokin, JU.A. Krylov // the Electricity. 2007. № 7. with. 28–34.
3. Belov M.P., Novikov V. A., Rassudov L.N. Automatic electric drive of sample industrial mechanisms and technological complexes. M.: Academia, 2004.
4. Remezov A.N., Sorokin A.V., Krylov JU.A. Specification to housing and communal services controlled-velocity electric drives // the Industrial power engineering. 2007. № 7.
5. Tarasov D.V. Demand to adjustable-frequency electric drives of pumps and ventilating fans at crash conditions in system of an electrical supply of boiler-houses // Electrical stations. 2006. № 1.
6. The patent. The Russian Federation 32333. The arrangement of frequency control of a supply voltage of electric motors of an alternate current / S.N. Stankevich, JU.A. Krylov // IB. 2003. № 25.

ОГРАНИЧЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА 2000 ПРИ ПРОКАТКЕ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

Решающую роль в освоении новых видов продукции широкополосных станов горячей прокатки играют автоматизированные электроприводы, системы автоматического управления различными уровнями от локальных до автоматизированных систем управления технологическим процессом. При внедрении технологии прокатки трубной заготовки толщиной 300 мм в полосу 18 мм и более на широкополосном стане горячей прокатки 2000 ОАО «ММК» возникает ряд проблем, связанных с низкими скоростями прокатки (до 2-х раз ниже номинальной), высокими обжатиями и неравномерностью их распределения по клетям [1].

Средствами системы мониторинга технологического процесса выполнены экспериментальные исследования нагрузочных и скоростных режимов электроприводов клеток при прокатке полос новых сортов. Выполнен анализ энергосиловых параметров электроприводов при прокатке трубной заготовки из стали марки 22ГЮ, 09Г2Д, 09Г2С, 09ГСФ и 13Г1С-У [2]. Проведены статистическая обработка и обобщение параметров прокатки 1950 слывов (не менее 150 слывов каждой марки стали). Результаты загрузки двигателей по току приведены в табл. 1. На рис. 1 наглядно представлены уровни загрузки главных электроприводов клеток в процентах номинального значения.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что при прокатке трубных заготовок при разработанных технологических программах двигатели главных электроприводов загружены на 34–117%. Наиболее загруженными являются клетки № 4, 5 и 6. При прокатке стали марок 09Г2С, 09ГСФ и 13Г1С-У перегрузка по току двигателей этих клеток достигает 17%. Ударное приложение нагрузки, превышающей номинальную, при низких скоростях прокатки может привести к недопустимому снижению скорости валков и даже к остановке клетки. Снижение скорости рабочих валков ниже допустимой приводит к возникновению на их поверхности сетки разгара, снижающей качество прокатываемого металла и уменьшающей срок службы валков. Остановка одной либо нескольких клеток в условиях непрерывного технологического процесса приводит к аварийной остановке всего стана. Соответственно прокатка металла на скоростях, когда возникает опасность остановки валков при захвате, недопустима. В связи с этим возникла задача анализа минимально возможных скоростей прокатки и разработки способа их ограничения на минимально допустимых уровнях без нарушения технологического процесса.

Для решения поставленной задачи, прежде всего, необходима оценка минимально допустимых скоростей прокатки по клетям расчетным либо экспериментальным

путем. Величина динамической просадки скорости при захвате металла валками зависит от следующих параметров:

- момента прокатки;
- запаса кинетической энергии, накопленной вращающимися валками и двигателем главного электропривода (ЭП) клетки;
- скорости отработки возмущающего воздействия системой регулирования электропривода;
- величины люфта в механизме привода рабочих валков.

В момент захвата металла скорость валков снижается с темпом, определяемым их моментом инерции и статическим моментом прокатки, с учетом того, что этот момент в начале прокатки больше, чем в процессе прокатки основного «тела» полосы за счет пониженной температуры головного участка. После выборки люфтов в механизме привода рабочих валков темп снижения скорости уменьшается за счет подключения момента инерции якоря двигателя главного ЭП. В дальнейшем снижение скорости двигателя отработывается системой регулирования и после окончания переходного процесса устанавливается режим прокатки с известным отклонением скорости.

Величина динамической просадки скорости валков существенно больше величины динамической просадки скорости двигателя главного электропривода. Это объясняется тем, что к моменту начала снижения скорости двигателя из-за наличия люфтов скорость валков уже снижается в течение 60–150 мс. Разница скоростей валков и двигателя приводит к упругой деформации деталей механического оборудования, главным образом шпинделей, и к возникновению колебаний скорости валков и полосы.

Просадки скорости двигателей главных ЭП клеток стана 2000 и просадки скорости рабочих валков определялись путём осциллографирования сигналов

Таблица 1

Эквивалентные токи двигателей клеток стана 2000 при прокатке
трубных марок стали

Марка стали, размер слыва	Эквивалентный ток двигателей по клетям, А								
	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12
22ГЮ, 5900×1250×250	10624	9643	8564	7547	6421	8572	6058	6049	5552
09Г2Д, 5550×1250×250	11110	11231	12591	7808	6019	6750	5376	5691	7095
09Г2С, 9700×1650×250	17418	15777	16464	7864	7865	9695	7623	8009	7801
09ГСФ, 9300×1730×250	16676	14420	15617	13028	11066	13744	11015	10570	8610
13Г1С-У, 6000×1730×250	18356	16806	14947	11736	9685	12351	10490	11409	5736

$n_{\text{двигателя}}$ и $n_{\text{валков}}$ на специально разработанной аналоговой модели (рис. 2). Модель выполнена на базе ана-

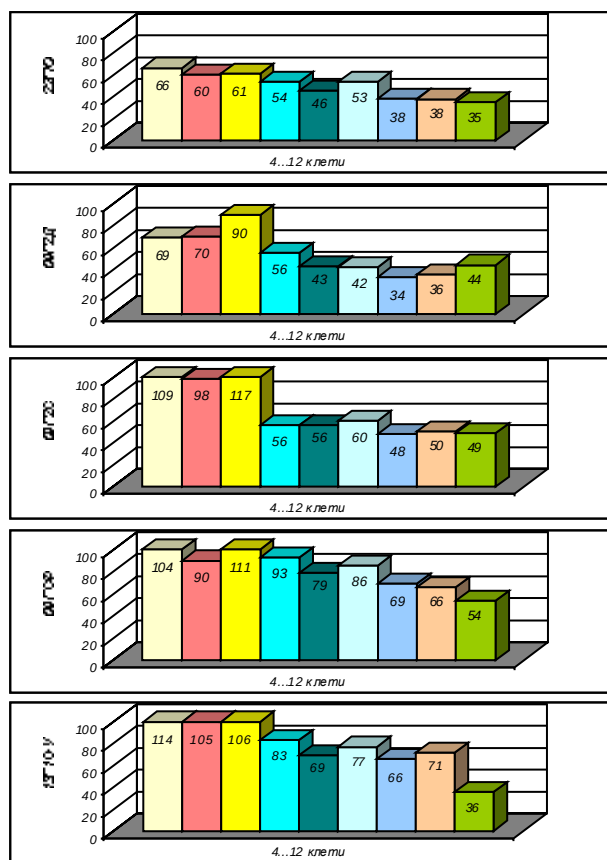


Рис. 1. Диаграммы загрузки двигателей при прокатке трубных марок стали

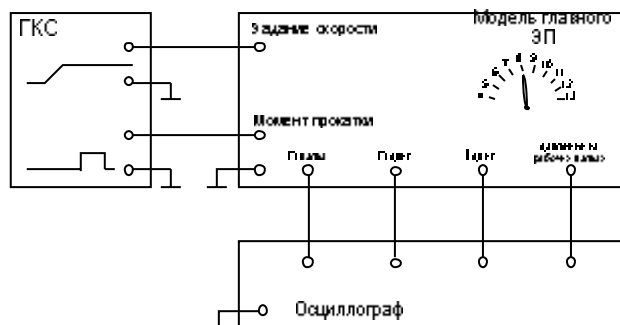


Рис. 2. Функциональная схема аналоговой модели главного ЭП клетки

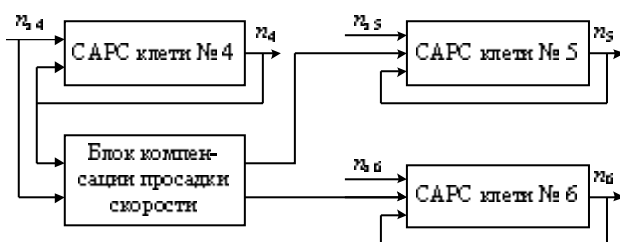


Рис. 3. Функциональная схема системы задания скоростей электроприводов 4-й – 6-й клеток с подразгоном в режиме заправки

логовых ячеек управления ЭКТ и КТЭУ с возможностью выбора параметров для любой клетки с 4-й по 13-ю посредством соответствующих переключений.

Структура модели представляет собой двухмассовую систему с упругой связью и люфтом в механической передаче между двигателем и рабочими валками. Адекватность модели подтверждена путем сравнения частотных характеристик по управляющему воздействию, полученных в реальных электроприводах и на модели, а также в результате сравнения осциллограмм процесса захвата полосы, также полученных на стане и на модели.

Модель позволила снять ЛАЧХ по возмущающему воздействию со стороны рабочих валков для ЭП всех клеток. На реальном электроприводе снятие подобных характеристик оказалось невозможным. На основе полученных ЛАЧХ были синтезированы регуляторы скорости главных ЭП клеток, которые в дальнейшем использовались для управления реальными электроприводами стана без дополнительной настройки.

В табл. 2 представлены результаты моделирования динамических просадок скорости при захвате полосы по клетям чистовой группы. При моделировании не проверялась адекватность таких сигналов, как $n_{\text{валка}}$, $M_{\text{шпинделя}}$, люфт в механической передаче (в связи с невозможностью экспериментальной оценки этих параметров). Кроме того, не учитывалось качество сочленения шпинделя с рабочим валком (так называемый «ласточкин хвост»).

Значения скоростей ($V_{\text{ост.}}$), при которых возникает остановка валков при выборе люфтов по клетям при номинальных нагрузках, приведены в табл. 3.

Исследования, проведенные на модели, и эксперименты подтвердили, что основной причиной возникновения динамических просадок и колебаний скорости при захвате полосы является наличие люфтов в механизме привода рабочих валков. Для качественной прокатки металла необходимо обеспечить захват полосы клетью только при выбранных люфтах. Выборку

Таблица 2

Результаты исследования на модели динамических просадок скорости при захвате полосы

Номер клетки	7	8	9	10	11	12	13
Ток секции, кА	3,6	3,6	4,01	4,01	3,995	3,995	3,165
I_{Σ} нагр., кА	14,4	14,4	16,04	16,04	15,98	15,98	12,66
Δn дв. дин., об/мин	6,25	6,25	7,8	7,8	10	7,5	11,25
Δn дв. дин./ n ном., %	12,5	12,5	6,25	6,25	5	3,75	3,75
Δn валка дин., об/мин	21,25	20	34,4	34,4	15	7,5	18,75
Δn валка дин./ n ном., %	42,5	40	27,5	27,5	7,5	3,75	6,25
$\varnothing$ новых валков, мм	850	850	800	800	800	800	800
ΔV дв. дин., м/с	0,3	0,3	0,32	0,32	0,42	0,314	0,78
ΔV валка дин., м/с	0,945	0,89	1,44	1,44	0,63	0,314	0,78

Таблица 3

Таблица минимально допустимых скоростей клетей чистовой группы

Номер клетки	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
V расшунтирования регуляторов, м/с	0,32	0,32	0,14	0,14	0,14	0,32	0,32	0,52	0,52	0,78
$V_{ост}$ двиг. при захвате полосы с $I_{ном}$ (на модели /при реальном захвате), м/с	0,2 0,25	0,2 0,25	0,25 0,25	0,3 0,37	0,3 0,25	0,32 0,22	0,32 0,23	0,42 0,16	0,31 -	0,47 -
$V_{ост}$ рабоч. валков при захвате с $I_{ном}$ (на модели), м/с	0,98	0,98	0,98	0,95	0,89	1,44	1,44	0,63	0,31	0,78
Минимально возможная скорость прокатки без обеспеч. качества, м/с	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	0,8	1,2
$V_{мин}$ без остановки валков при захвате, м/с	0,38	0,38	0,38	0,95	0,89	1,44	1,44	0,8	0,8	1,2
$V_{мин}$ по технологической инструкции, м/с	0,4	0,55	0,7	0,75	1,0	1,3	2,1	2,7	3,5	4,0
Допустимая минимальная скорость прокатки, м/с	0,4	0,55	0,7	0,75*	0,9	1,3**	1,44	0,8	0,8	1,2
Допустимая минимальная скорость прокатки с подразгоном, м/с	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,8	0,8	1,2
Рекомендуемая минимальная скорость прокатки с подразгоном, м/с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5

* При нагрузке более 80% $I_{ном}$ возможны кратковременные остановки валков в момент захвата полосы.

** При нагрузке более 90% $I_{ном}$ возможны кратковременные остановки валков в момент захвата полосы.

Таблица 4

Динамические просадки скорости при захвате полосы с предварительным выбором люфтов: захват на подразгоне 1 кА на секцию ($I_{\Sigma} = 4$ кА) на модели

Номер клетки	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ток секции, кА	4,01	4,01	3,6	3,6	3,6	4,01	4,01	3,995	3,995	3,165
$\Delta p_{дв. дин.}$, об/мин	3,6	3,6	3,2	3,2	3,2	4,68	4,68	5	5	7,5
$\Delta p_{дв. дин.}/p_{ном.}$, %	2,89	2,89	6,25	6,25	6,25	3,75	3,75	2,5	2,5	2,5
$\Delta p_{валка дин.}$, об/мин	7,8	7,8	6,25	6,25	6,25	7,8	7,8	7,5	5	11,25
$\Delta p_{валка дин.}/p_{ном.}$, %	6,25	6,25	12,5	12,5	12,5	6,25	6,25	3,75	2,5	3,75
$\Delta V_{дв. дин.}$, м/с	0,17	0,17	0,13	0,15	0,15	0,19	0,19	0,21	0,21	0,31
$\Delta V_{валка дин.}$, м/с	0,09	0,09	0,21	0,3	0,3	0,32	0,32	0,314	0,21	0,47
Кратность*	5,82	5,82	3,52	3,15	2,97	4,5	4,5	2	1,5	1,66

* Кратность показывает во сколько раз снижается динамическая просадка скорости валков при выбранных люфтах по сравнению с обычными условиями захвата полосы.

люфтов можно осуществить за счет кратковременно-го, но интенсивного подразгона клетки перед захватом металла. Данные, полученные при проверке этого режима на модели, представлены в табл. 4. Подразгон осуществлялся непосредственно перед захватом металла, время подразгона составляет 100–300 мс.

Сопоставление данных, представленных в табл. 3 и 4, показывает, что в случае прокатки металла с подраз-

гоном перед захватом полосы допустимые минимальные скорости прокатки могут быть значительно ниже существующих.

Функциональная схема, поясняющая способ прокатки с предварительным подразгоном электроприводов клетей непрерывной подгруппы черновой группы, приведена на рис. 3. Отличительной особенностью является применение блока компенсации статической просадки скорости в программе управления режимами скорости. Блок компенсации для каждой из клетей состоит из двух контуров: разомкнутого и замкнутого, а также блока логики управления режимами [3]. Аналогичный принцип регулирования применен для клетей чистовой группы.

С целью снижения динамических просадок скоростей валков и двигателя в систему регулирования электропривода введен сигнал давления на валки, по которому ожидаемый ток захвата металла подается на двигатель еще до начала снижения его скорости. Данные по динамическим просадкам скорости, приведенные в таблицах, полученные как при проверке на модели клетки, так и при анализе реальных условий захвата, определены исходя из условий работы с использованием этого сигнала.

Список литературы

1. Разработка технологии и режимов прокатки высокопрочных сталей для автомобилестроения на широкополосном стане горячей прокатки / М. И. Румянцев, В. В. Галкин, А. В. Горбунов и др. // Труды VIII конгресса прокатчиков. Т. 1. Магнитогорск, 2010. С. 35–45.
2. Алгоритм расчета скоростных и нагрузочных режимов электроприводов клетей прокатного стана при прокатке толстых полос / В. В. Галкин, А. С. Карандаев, В. В. Головин и др. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 2. С. 12–17.
3. Технологические схемы управления электроприводами чистовой группы широкополосного стана горячей прокатки / А. С. Карандаев, В. Р. Храмшин, И. Ю. Андрушин и др. // Труды VII конгресса прокатчиков. Т. 1. М., 2007. С. 71–75.

Bibliography

1. Development of production engineering and a rolling schedule of high-tensile steels for motor industry on the hot rolling broad-strip mill / M. I. Rumjantsev, V. V. Galkin, A. V. Gorbunov, etc. // Works of VIII congress of millmen. T. 1. Magnitogorsk, 2010. With. 35–45.
2. Algorithm of account of high-speed and load regimes of electric drives of roll mill stands at rolling of heavy strips / V. V. Galkin, A. S. Karandaev, V. V. Golovin, etc. // Izvestija TulGu. Engineering science. Issue. 3: in 5 ch. Tula: Publishers TulGu, 2010. Ch. 2. With. 12–17.
3. Flow diagrammes of running of electric drives of finishing train of the broad-strip hot rolling mill / A. S. Karandaev, V. R. Hramshin, I. J. Andrijushin, etc. // works of VII congress of millmen. T. 1. M., 2007. With. 71–75.

УДК 621:62-83

Лукьянов С.И., Суспицын Е.С., Коновалов М.В.

СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЯНУЩИХ РОЛИКОВ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

Обеспечение требуемого качества литой заготовки и высокой производительности машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) возможно лишь при непрерывном, непосредственно во время разливки стали, контроле технического состояния оборудования МНЛЗ и своевременной замене вышедших из строя узлов [1].

Единственным, приемлемым для технологических условий литья заготовки на МНЛЗ, способом оценки технического состояния механического оборудования электроприводов тянущих роликов (ТР) является спо-

соб, основанный на анализе характеристик изменения токов (моментов) нагрузки их электродвигателей [1].

На большинстве российских слывовых МНЛЗ контроль технического состояния электроприводов ТР МНЛЗ осуществляется системами диагностирования роликовой проводки (СДРП) разработки ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ГОУ ВПО «МГТУ») и автоматическими системами токовой диагностики (АСТД) разработки ОАО «Уралмаш», построенными на основе анализа изменения мгновенных значений токов нагрузки электродвигателей ТР. Указанные системы применяются для диагностирования механического оборудования электроприводов ТР с групповой схемой силового питания электродвигателей ТР от одного ТП [1, 2].

Применение методик, используемых в системах АСТД и СДРП, для диагностирования механического оборудования электропривода ТР МНЛЗ № 5 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»), выполненного по индивидуальной схеме силового питания электродвигателей по системе ПЧ-АД, показало, что они не обеспечивают требуемую достоверность выявления основных дефектов электропривода ТР.

Поэтому появилась необходимость разработки и внедрения новой системы технического диагностирования механического оборудования электроприводов ТР МНЛЗ по характеру изменения мгновенных значений моментов нагрузки электродвигателей ТР.

В результате экспериментальных на МНЛЗ № 5 и теоретических исследований изменений моментов нагрузки электродвигателей ТР установлено [3]:

- основными дефектами электропривода ТР, появление которых прямо приводит к снижению качества непрерывнолитых заготовок, являются: прогиб бочки ТР; периодическая буксовка ТР по слитку; случайная буксовка ТР по слитку; износ уплотнительных колец навесного редуктора; износ зубьев шестерней навесного редуктора;
- появление каждого из указанных видов дефектов вызывает специфическое изменение моментов нагрузки электродвигателей;
- в качестве диагностического признака проявления случайной буксовки ТР по слитку в изменении моментов нагрузки можно использовать условие неоднородности дисперсий рассеяния изменения моментов нагрузки, рассчитанных для смежных временных интервалов.

С целью установления общих закономерностей влияния прогиба бочки ТР, периодической буксовки ТР по слитку, износа уплотнительных колец навесного редуктора и износа зубьев шестерней навесного редуктора на частотные характеристики изменения мгновенных значений моментов нагрузки электродвигателей ТР параметрическим способом на основе авторегрессион-

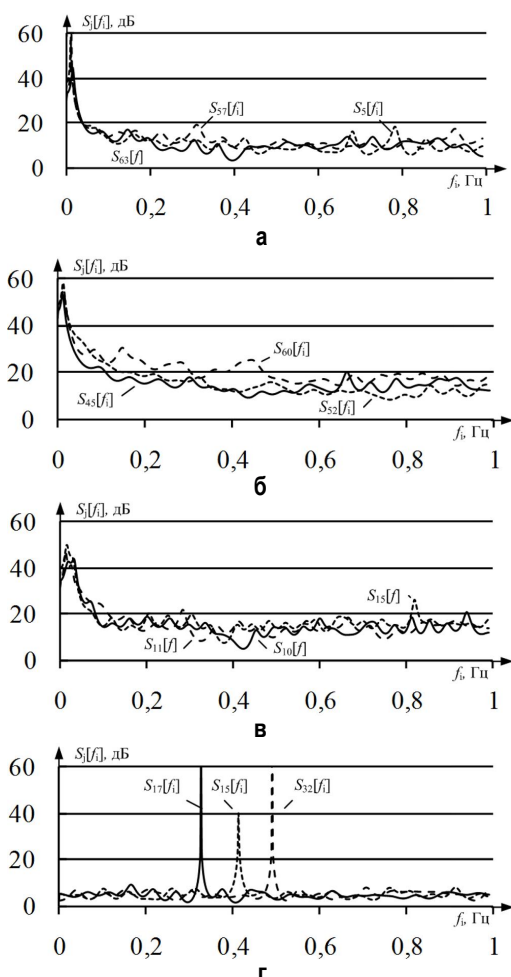


Рис. 1. Графики амплитуд $S[f]$ спектральной плотности изменения мгновенных значений моментов нагрузки электродвигателя ТР при прогибе бочки ТР (а), периодической буксовке ТР по слитку (б), износе уплотнительных колец навесного редуктора (в) и износе зубьев шестерней навесного редуктора (г) в интервале частот 0–1 Гц

ного моделирования выполнен расчет амплитуд компонент спектральной плотности изменения моментов нагрузки для каждой тестовой выборки (рис. 1).

Из анализа графиков рис. 1 сделан вывод: в качестве диагностического признака износа зубьев шестерней навесного редуктора может быть принято появление значимо отличающейся по величине амплитуды компоненты спектральной плотности изменения момента нагрузки в диапазоне частот $\Delta f=0,235-0,848$ Гц. Границы интервала частот Δf рассчитаны для рабочего диапазона скоростей вытягивания заготовки $V_t=0,5-1,2$ м/мин по выражению

$$\Delta f = \left(\frac{Z \cdot (V_{r\min} - 1)}{60 \cdot \pi \cdot D}; \frac{Z \cdot (V_{r\max} - 1)}{60 \cdot \pi \cdot D} \right),$$

где Z – количество зубьев шестерней навесного редуктора; D – диаметр бочки ТР, мм.

В результате статистического анализа амплитудных характеристик компонент спектральной плотности изменения моментов нагрузки электродвигателей ТР доказано: диагностирование прогиба бочки ТР, периодической буксовки ТР по слитку и износа уплотнительных колец навесного редуктора необходимо проводить по совокупности значимых компонент z_1 и z_2 спектральной плотности изменения моментов нагрузки электродвигателей ТР; в качестве диагностического признака указанных дефектов предложено использовать положение вектора значимых компонент $z=(z_1, z_2)$, рассчитанного для конкретной временной диаграммы, в диагностическом пространстве значимых компонент $Z=\{z_1, z_2\}$ (рис. 2), определенном по данным тестовой выборки.

По данным тестовых выборок определены условия наблюдения для каждого вида дефекта механического оборудования электропривода ТР (см. таблицу).

Разработан обобщенный алгоритм диагностирования механического оборудования электропривода ТР (рис. 3) с учетом технологических особенностей вытягивания заготовки на слывовой МНЛЗ. В алгоритме указана последовательность выполнения функций диагностирования дефектов механического оборудования электропривода ТР и вспомогательных алгоритмов.

В блоке 1 выполняется проверка режима работы МНЛЗ. Если установлен флаг «разливка», то осуществляется переход к блоку 2, в противном случае – переход к блоку 1. В блоке 2 выполняется проверка текущего значения скорости вытягивания заготовки V_t . При значении скорости вытягивания заготовки более 0,5 м/мин осуществляется переход к блоку 4. В блоке 4 выполняется заполнение диагностического массива. При изменении скорости вытягивания заготовки формирование диагностического массива начинается заново (блок 5, 6). После заполнения диагностического массива формируется флаг «ДМ заполнен» (блок 7) и выполняется переход к блоку

Диагностические условия наблюдения дефектов механического оборудования электроприводов ТР

Вид дефекта	Диагностические условия
Прогиб бочки ТР	$\Delta M > 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; \frac{(z_1 - 2,77)^2}{2,704 \cdot 10^{-3}} + \frac{(z_2 + 0,259)^2}{0,4 \cdot 10^{-3}} \leq 1$
Периодическая буксовка ТР по слитку	$\Delta M > 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; \frac{(z_1 - 3,87)^2}{0,0121} + \frac{(z_2 + 0,153)^2}{0,1 \cdot 10^{-3}} \leq 1$
Износ уплотнительных колец навесного редуктора	$\Delta M > 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; \frac{(z_1 - 3,1)^2}{2,7 \cdot 10^{-3}} + \frac{(z_2 - 0,408)^2}{0,324 \cdot 10^{-3}} \leq 1$
Случайная буксовка ТР по слитку	$\Delta M > 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}, G_p > 0,2$
Износ зубьев шестерней навесного редуктора	$\Delta M > 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}, \Delta_s > 10,34 \text{ дБ}$

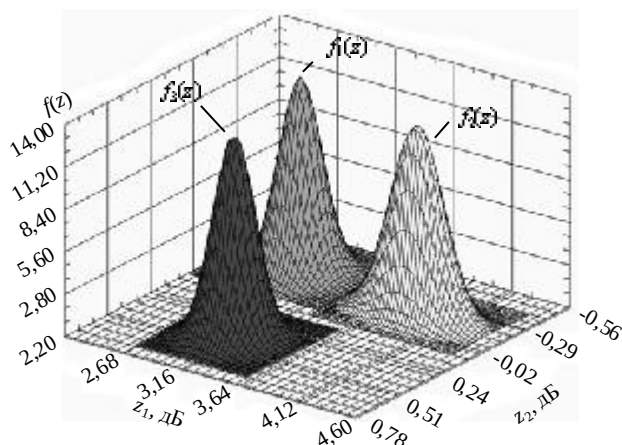


Рис. 2. Графики функций плотности распределения вероятности вектора z при прогибе бочки ТР $f_1(z)$, периодической буксовке ТР по слитку $f_2(z)$, износе уплотнительных колец навесного редуктора $f_3(z)$

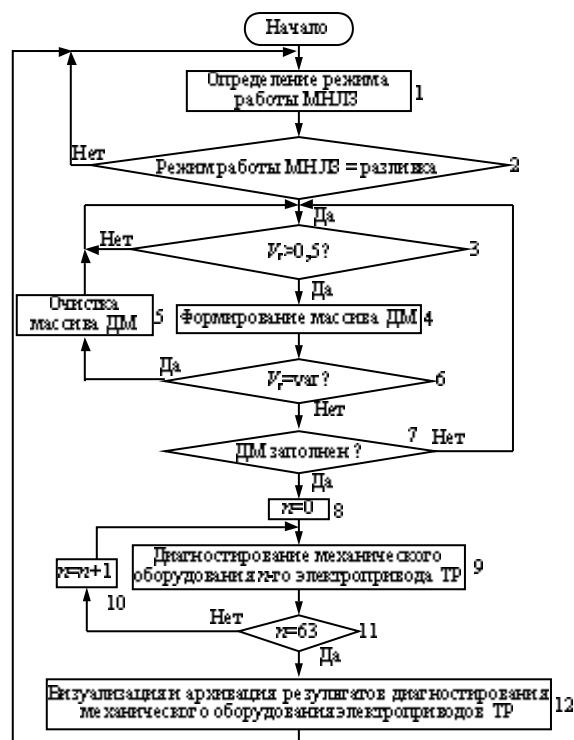


Рис. 3. Блок-схема обобщенного алгоритма диагностирования дефектов механического оборудования электроприводов ТР МНЛЗ

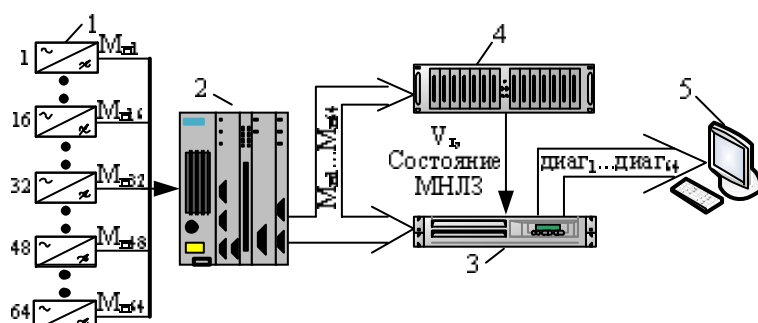


Рис. 4. Функциональная схема системы диагностирования механического оборудования электроприводов ТР:
1 – преобразователи частоты; 2 – контроллер управления электроприводом ТР; 3 – сервер системы диагностирования; 4 – сервер АСУ ТП МНЛЗ; 5 – рабочая станция мастера участка диагностики МНЛЗ

8. В блоке 8 осуществляется сброс счетчика номеров электродвигателей ТР n . Далее в цикле блок 9 – блок 11 осуществляется диагностирование механического оборудования электроприводов ТР. В блоке 12 результаты диагностирования механического оборудования электроприводов ТР визуализируются на мониторе рабочей станции диагностики и архивируются на сервере диагностирования. Далее осуществляется переход к блоку 1.

Разработаны алгоритмы диагностирования отдельных дефектов электропривода ТР и вспомогательные алгоритмы: расчета и формирования массива амплитуд компонент спектральной плотности изменения мгновенных значений моментов нагрузки; расчета значений весовых коэффициентов и величин значимых компонент спектральной плотности изменения моментов нагрузки; расчета разности амплитуд компонент спектральной плотности изменения моментов нагрузки; расчета значений критерия Кохрена; расчета диапазона изменения момента нагрузки электродвигателя ТР.

Для реализации алгоритма диагностирования электроприводов ТР разработана функциональная схема системы диагностирования механического оборудования электропривода ТР (рис. 4).

В системе диагностирования механического оборудования электроприводами ТР (см. рис. 4) использовано штатное оборудование АСУ ТП МНЛЗ: кон-

троллер управления электроприводами ТР 3, сервер АСУ ТП 4, рабочая станция мастера участка диагностики 5. Для реализации системы диагностирования дополнительно установлен сервер системы диагностирования 3.

С целью оценки эффективности разработанной системы диагностирования в июле 2010 года из архивов системы сбора координат работы электродвигателей ТР МНЛЗ № 5 были выбраны данные об изменении моментов нагрузки электродвигателей ТР и поданы на вход системы диагностирования. В результате оценки установлено, что достоверность диагностирования дефектов механического оборудования электропривода ТР МНЛЗ № 5 составляет $A = 93,9\text{--}94,8\%$. Система диагностирования механического оборудования электроприводов ТР (см. рис. 3, 4) внедрена на МНЛЗ

№ 5 ОАО «ММК». Ожидаемый экономический эффект от внедрения системы диагностирования механического оборудования электроприводов ТР составляет 4,515 млн руб. в год.

Список литературы

1. Обобщенная методика диагностирования механического и электрического оборудования металлургических агрегатов / М.В. Коновалов, С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын и др. // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. № 1. С. 38–42.
2. Система диагностирования состояния оборудования электропривода тянущих роликов / М.В. Коновалов, С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын и др. // Изв. ТулГУ. Техн. науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 3. С. 71–76.
3. Коновалов М.В., Лукьянов С.И., Суспицын Е.С. Анализ временных диаграмм изменения моментов нагрузки электродвигателей тянущих роликов МНЛЗ № 5 ОАО «ММК»; ГОУ ВПО «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». Магнитогорск, 2008. 16 с.: ил. 10. Библиогр. 5 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 24.06.08, № 526-B2008.

Bibliography

1. The generalized method of diagnosing mechanical and electrical equipment of metallurgical units / M.V. Konovalov, S.I. Lukyanov, E.S. Suspitsyn, etc. // Electromechanics. 2009. № 1. S. 38–42.
2. The system of diagnosing the state of the equipment of the electric pull reels / M.V. Konovalov, S.I. Lukyanov, E.S. Suspitsyn, etc. // Tula State University. Tech. Science. Vol. 3: 5 hours Tula State Univ. 2010. Part 3. S. 71–76.
3. Konovalov M.V., Lukyanov S.I., Suspitsyn E.S. Analysis of changes in the timing charts of moments electric load pulling roller caster № 5 OJSC «ММК» // GOU VPO «Magnitogorsk. state. tech. Univ». Magnitogorsk, 2008. 16.: il. 10. Bibliography. 5 refs. Eng. Dep. in VINI 24.06.08, № 526-B2008.

УДК 621.771.016

Карандаев А.С., Храмшин В.Р., Петряков С.А.

СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ*

Для снижения продольной разнотолщинности полосы на широкополосном стане горячей прокатки предложен способ прокатки, согласно которому в момент t_1 выхода головного участка полосы из преды-

дущей клетки производится дополнительное разведение валков последующей клетки на величину S_K . Далее при прокатке головного участка осуществляется уменьшение межвалкового зазора по функциональному закону, представленному на рис. 1 [1]. Промежуток $t_1\text{--}t_2$ – это время транспортировки «головы» полосы от предыдущей клетки до текущей, зависящее от скорости прокатки. В интервале $t_2\text{--}t_3$ удерживается

* Работа проводилась при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (государственный контракт № 16.740.11.0072).

максимальное дополнительное разведение, после чего происходит плавное уменьшение коррекции до нуля (интервал t_3-t_4).

Режим формирования продольного профиля проката переменной толщины также является характерным для клеток толстолистовых станов при профилированной прокатке заготовок [2]. Данный режим обеспечивается за счет регулируемого изменения межвалкового зазора в функции длины прокатанного участка с помощью разработанной системы формирования профиля проката, рассмотренной в [2, 3]. Задание на текущую толщину проката на участках переменной толщины вычисляется в специальном функциональном модуле и поступает на вход системы регулирования толщины (САРТ) косвенного типа, структурная схема которой представлена на рис. 2, а.

Составной частью САРТ является система регулирования положения гидравлического нажимного устройства (НУ), включающая пропорциональный регулятор положения (блок 2 на рис. 2), обратную связь по давлению P металла на валки, осуществляемую с помощью мездозы (на рис. 2 не показана) и блока 9, моделирующего кривую жесткости клетки, а также обратную связь по положению S поршня гидроцилиндра, формируемую с помощью блока 8. По данному принципу выполнены все современные системы регулирования толщины, реализующие зависимость Головина-Симса, в том числе САРТ чистовой группы стана 2000 ОАО «ММК» [4, 5].

Однако известные САРТ отечественных и ведущих зарубежных фирм предназначены для автоматического регулирования толщины полосы в режимах малых перемещений с высокой частотой. При этом вопросы точности регулирования положения исполнительного механизма НУ (и соответственно толщины полосы) в динамическом режиме перемещения под нагрузкой исследованы недостаточно. В связи с этим возникла задача проведения исследований названного режима с целью оценки точности регулирования толщины (и соответственно точности формирования профиля проката) в процессе линейного изменения межвалкового зазора.

Очевидно, что одноконтурная система регулирования положения исполнительного органа гидравлического НУ с пропорциональным регулятором положения, применяемая в составе САРТ (см. рис. 2), не обеспечивает астатическое регулирование как по возмущающему, так и по управляющему воздействиям при линейном нарастании сигнала задания на регулирование толщины. В связи с этим возникает задача разработки САРТ, которая обеспечивала бы регулирование положения НУ с точностью не ниже $\pm 1\%$ при отработке заданного перемещения в функции длины полосы, т.е. выполняла функции следящей системы [3].

Исследование точности регулирования толщины в динамических режимах

При построении структурной схемы САРТ косвенного типа, представленной на рис. 2, реализующей зависимость Голови-

на-Симса, использовано линеаризованное уравнение, записанное в операторной форме для заданных значений толщины металла и перемещения НУ [2]:

$$-h_3(p) = -S_3(p) + \frac{P(p)}{M_K}. \quad (1)$$

Основным показателем качества регулирования является суммарная ошибка, для определения которой принята известная из теории автоматического регулирования зависимость [6]

$$\delta h(p) = W_h(p) \cdot h_3(p) + W_p(p) \cdot P(p), \quad (2)$$

где $W_h(p)$ – передаточная функция ошибки регулирования по управляющему воздействию $h_3(p)$; $W_p(p)$ – передаточная функция ошибки регулирования по возмущающему воздействию; $P(p)$ – давление металла на валки.

Управляющим воздействием является сигнал задания на толщину полосы, который при линейном изменении со скоростью V_{3h} описывается операторным выражением

$$h_3(p) = \frac{V_{3h}}{p}. \quad (3)$$

Одновременно с управляющим воздействием возникает возмущающее воздействие (давление металла на

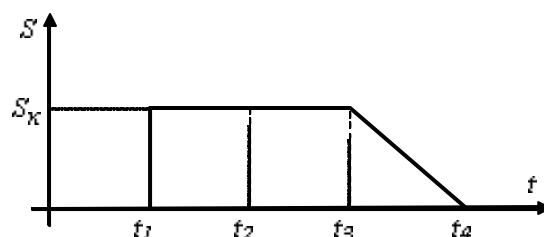


Рис. 1. Диаграмма коррекции задания положения НУ

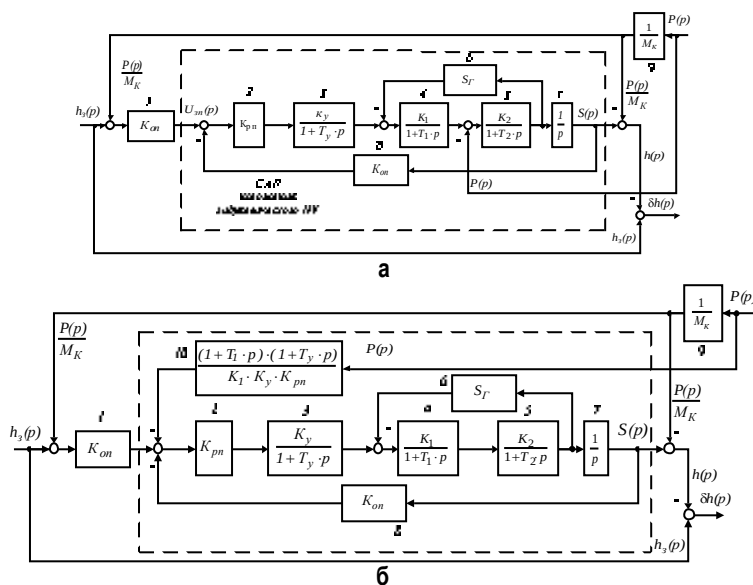


Рис. 2. Структурные схемы САРТ косвенного типа: а – исходная; б – преобразованная

валки), которое является нелинейной функцией абсолютного обжатия: $P = f(\Delta h)$. Однако при известном среднем модуле жесткости полосы за время сведения валков $M_{П\text{СР}}$ данная зависимость с достаточной степенью точности может быть принята линейной:

$$P = M_{П\text{СР}} \cdot \Delta h. \quad (4)$$

При правоммерном допущении, что при линейном изменении задания на толщину проката h_3 скорость $V_{\Delta h}$ изменения задания на абсолютное обжатие Δh_3 равна по модулю и противоположна по знаку скорости V_{3h} , сигнал задания на абсолютное обжатие:

$$\Delta h_3(p) = \frac{V_{\Delta h}}{p} = -\frac{V_{3h}}{p}. \quad (5)$$

В результате получено упрощенное операторное выражение изменения давления металла при линейном перемещении валков:

$$P(p) = \frac{-V_{3h} \cdot M_{П\text{СР}}}{p}. \quad (6)$$

После преобразований структурной схемы **рис. 2, а** к виду, представленному на **рис. 2, б**, получена передаточная функция замкнутого контура положения гидравлического НУ (блоки 2–8):

$$W_{3n}(p) = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_{pn} \cdot K_y}{(T_- \cdot (1 + S_0 \cdot K_1 \cdot K_2) + T_1 + T_2) \cdot p^2 +} \times \frac{1}{(1 + S_0 \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot p + K_1 \cdot K_2 \cdot K_{pn} \cdot K_y \cdot K_{on}}. \quad (7)$$

Передаточная функция ошибки регулирования толщины $\delta h(p)$ по управляющему воздействию $h_3(p)$:

$$W_h(p) = 1 - K_{on} \cdot W_{3n}(p). \quad (8)$$

После подстановки выражения (7) в (8) и пренебрежения членами высших порядков ($p^2, p^3 \dots$), не оказывающими заметного влияния на установившееся значение ошибки регулирования при линейном изменении сигнала задания, получена передаточная функция ошибки регулирования по управляющему воздействию:

$$W_h(p) = \frac{(1 + S_0 \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot p}{(1 + S_0 \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot p + K_1 \cdot K_2 \cdot K_{pn} \cdot K_y \cdot K_{on}}. \quad (9)$$

Для получения передаточной функции ошибки

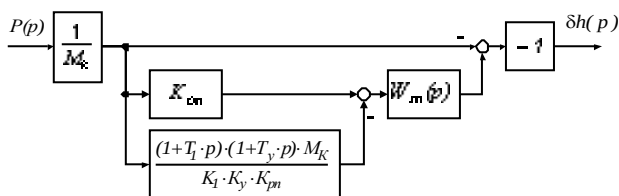


Рис. 3. Структурная схема для получения передаточной функции ошибки регулирования по возмущающему воздействию

регулирования $\delta h(p)$ по возмущающему воздействию $P(p)$ выполнено преобразование структурной схемы **рис. 2, б** к виду, показанному на **рис. 3**.

Соответственно передаточная функция ошибки регулирования толщины по возмущающему воздействию

$$W_p(p) = \frac{1}{M_K} \cdot \left(1 - W_{3n}(p) \times \left(K_{on} - \frac{(1 - T_1 \cdot p) \cdot (1 + T_y \cdot p) \cdot M_K}{K_1 \cdot K_y \cdot K_{pn}} \right) \right). \quad (10)$$

После подстановки (7) в (10) и пренебрежения членами высших порядков получаем:

$$W_p(p) = \frac{1}{M_K} \times \frac{(1 + S_0 \cdot K_1 \cdot K_2 + M_K \cdot K_2(T_y + T_1)) \cdot p + M_K \cdot K_2}{(1 + S_0 \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot p + K_1 \cdot K_2 \cdot K_y \cdot K_{pn} \cdot K_{on}}. \quad (11)$$

Анализ выражений (2), (9), (11) показал, что исследуемая система регулирования толщины полосы будет обладать статической ошибкой регулирования (оператор $p=0$) по возмущающему воздействию, равной:

$$\delta h_e^{cm} = \frac{1}{K_1 \cdot K_{pn} \cdot K_y \cdot K_{on}} \cdot p. \quad (12)$$

При исследуемом линейном изменении сигнала задания толщины полосы по закону (5), когда давление металла на валки изменяется в соответствии с (6), установившаяся ошибка регулирования толщины по возмущающему воздействию определяется выражением:

$$\delta h_e^{min} = -\frac{1}{M_K} \times \frac{(1 + S_0 \cdot K_1 \cdot K_2 + M_K \cdot K_2(T_y + T_1)) \cdot V_{3h} \cdot M_{П\text{СР}}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_{pn} \cdot K_y \cdot K_{on}}. \quad (13)$$

При максимальном изменении толщины раската на 6 мм с максимальной скоростью $V_{3h}=22,5$ мм/с и $M_{П\text{СР}}=0,56$ МН/мм динамическая ошибка регулирования составит $|\delta h_e^{min}|=0,003$ мм или примерно 0,5% указанного изменения толщины.

Таким образом, в исследуемой САРТ значение установившейся ошибки при линейном изменении возмущающего воздействия значительно ниже заданной погрешности регулирования $\pm 1\%$ [2]. Высокие динамические показатели системы в первую очередь обусловлены свойствами быстродействующей одноконтурной системы регулирования положения гидравлического НУ, которая обеспечивает высокую точность регулирования по возмущающему воздействию, в том числе при настройке на технический оптимум.

Несколько иная ситуация возникает при анализе свойств системы по управляющему воздействию. Согласно (9) система обладает астатизмом первого порядка по управляющему воздействию, т.е. статиче-

ская ошибка регулирования равна нулю. При линейном изменении сигнала задания толщины полосы по исследуемому линейному закону (3) установившаяся ошибка регулирования по управляющему воздействию согласно (2), (9) составляет:

$$\delta h_y = \frac{1 + S_r \cdot K_1 \cdot K_2}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_{pn} \cdot K_y \cdot K_{on}} \cdot V_{zh} \cdot \quad (14)$$

При скорости изменения толщины проката $V_{zh}=22,5$ мм/с ошибка регулирования $|\delta h_y|=0,17$ мм, что составляет 2,8% от максимальной глубины профилирования (6 мм), причем ошибка регулирования будет практически постоянной в процессе регулирования зазора.

Ошибка регулирования толщины по управляющему воздействию при линейном изменении сигнала задания на толщину превышает 1% от заданного изменения толщины. Следовательно, исследуемая САР косвенного типа с одноконтурной системой регулирования положения гидравлического НУ, настроенной на технический оптимум, не обеспечивает технологические требования по точности регулирования.

САР положения с комбинированным управлением

Предыдущие рассуждения позволяют сделать вывод, что для обеспечения требуемой точности регулирования толщины при линейно изменяющемся воздействии по каналам управления и возмущения достаточно уменьшить ошибку регулирования толщины по задающему воздействию при сохранении либо снижении ошибки регулирования по возмущению. На основе анализа методов синтеза следящих систем [7], а также методов повышения точности, известных из теории автоматического регулирования, признано целесообразным применение инвариантных систем [6, 8]. Основным принципом, используемым при построении инвариантных систем, является принцип комбинированного управления.

Структурная схема САР положения с комбинированным управлением, осуществляющая регулирование по первой производной задающего сигнала, представлена на рис. 4 [3]. С ее помощью обеспечивается повышение степени астатизма на единицу, что позволяет свести скоростную ошибку при линейном изменении сигнала задания на перемещение НУ к нулю.

С целью вывода передаточных функций ошибок регулирования по управляющему и возмущающему воздействиям были выполнены преобразования структурной схемы данной САР, аналогичные представленным на рис. 2, а, б. При этом были исключены перекрестные связи, а возмущающее воздействие приведено к входу замкнутого контура положения.

Передаточная функция ошибки регулирования по каналу управления предлагаемой комбинированной САР (см. рис. 4):

$$W_{hk}(p) = 1 - K_{on} \cdot (K_{pn} + K_K \cdot p) \cdot W'_{zn}(p). \quad (15)$$

После подстановки передаточной функции объекта регулирования, показанного на рис. 3, и пренебрежения членами высших порядков имеем:

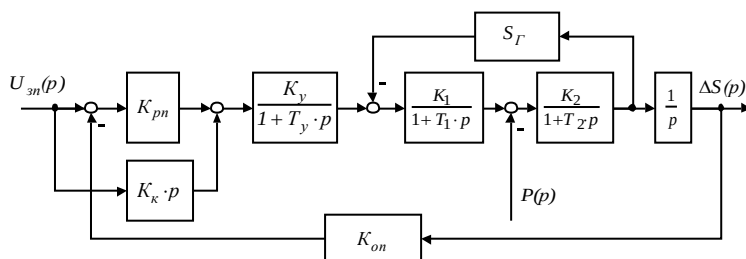


Рис. 4. Структурная схема САР положения с комбинированным управлением

$$W_{hk}(p) = \frac{(1 + S_r \cdot K_1 \cdot K_2 - K_1 \cdot K_2 \cdot K_K \cdot K_y \cdot K_{on}) \cdot p}{(1 + S_r \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot p + K_1 \cdot K_2 \cdot K_{pn} \cdot K_y \cdot K_{on}} \cdot \quad (16)$$

Аналогичным образом получена передаточная функция ошибки регулирования толщины по возмущающему воздействию, которая полностью аналогична выражению (11). Этот вывод подтверждает известное свойство комбинированных систем, согласно которому введение регулирования по задающему воздействию не изменяет характеристического уравнения системы, работающей по отклонению. Это означает, что не изменяются условия устойчивости и показатели качества переходного процесса по отклонению, которые обеспечиваются в исследованной выше исходной системе регулирования и признаны выше удовлетворительными.

Из выражения (16) можно получить значение коэффициента K_K , соответствующее минимуму ошибки регулирования:

$$K_K = \frac{1 + S_r \cdot K_1 \cdot K_2}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_y \cdot K_{on}}. \quad (17)$$

При коэффициенте усиления корректирующего устройства, соответствующем выражению (17), при линейном изменении сигнала задания согласно (16) установившаяся ошибка регулирования толщины по задающему воздействию равна нулю.

Сравнение передаточных функций ошибок регулирования по возмущающему воздействию для САР положения с пропорциональным регулятором (11) и для рассматриваемой САР положения с дополнительным задающим воздействием позволяет сделать следующие выводы:

- статические ошибки регулирования по возмущающему воздействию в данных системах одинаковы;
- установившаяся ошибка регулирования толщины по возмущающему воздействию при линейном изменении давления металла на валки в системе с дополнительным задающим воздействием меньше на величину

$$\delta h_s^{don} = \frac{1}{M_K} \cdot \frac{(1 + S_r \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot V_{zh} \cdot M_{п.ср}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_{pn} \cdot K_y \cdot K_{on}}. \quad (18)$$

Таким образом, введение дополнительного задающего воздействия по первой производной сигнала задания обеспечивает уменьшение ошибок регулирования по возмущающему воздействию и обеспечивает аста-

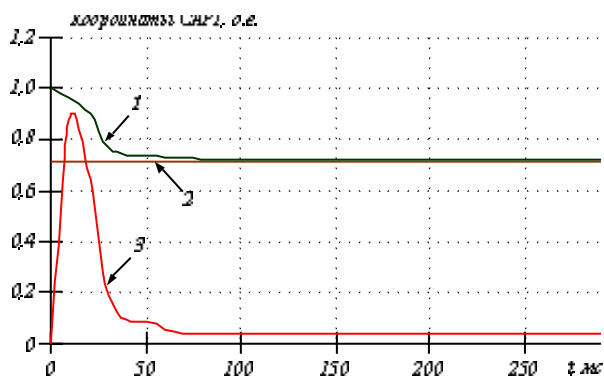


Рис. 5. Результаты моделирования САРТ с дополнительным задающим воздействием

тизм второго порядка по управляющему воздействию, т.е. позволяет свести скоростную ошибку при линейном изменении сигнала задания на перемещение НУ к нулю. При этом нет необходимости в дополнительной проверке полученной системы регулирования с комбинированным управлением на устойчивость.

На рис. 5 в относительных единицах представлены кривые переходных процессов напряжения на выходах регулятора положения (кривая 1), корректирующего устройства (кривая 2) и ошибки регулирования толщины по управляющему воздействию (кривая 3) при линейном изменении сигнала задания с принятой выше скоростью $V_{3n}=22,5$ мм/с. Переходные процессы получены при моделировании САРТ косвенного типа, с комбинированным управлением, структурная схема которой показана на рис. 4.

При моделировании, с целью увеличения устойчивости системы регулирования, передаточная функция корректирующего устройства вместо идеального дифференцирующего звена была заменена реальным дифференцирующим звеном:

$$W_k(p) = \frac{K_k \cdot p}{1 + T_k \cdot p}, \quad (19)$$

где $T_k=0,001$ с — постоянная времени фильтра.

Анализ переходного процесса ошибки регулирования (кривая 3 на рис. 5) показал, что при заданной скорости изменения сигнала задания максимальное значение суммарной ошибки регулирования толщины

в относительных единицах равно 0,9, т.е. не превышает максимально допустимого по технологическим требованиям ($\pm 1\%$ или $\pm 0,06$ мм).

Список литературы

1. Петряков С.А., Карандаев А.С. Коррекция задания на толщину «головы» полосы для САРТ стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» // Материалы 67-й научно-технической конференции: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Т. 2. С. 60–63.
2. Басков С.Н., Карандаев А.С., Осипов О.И. Энергосиловые параметры приводов и система профилированной прокатки слябов стана 2800 // Приводная техника. 1999. № 1–2. С. 21–24.
3. Карандаев А.С. Исследование системы управления профилированной прокаткой слябов в черновой клетке топсоловистового стана. Ч. 1: Описание системы // Научные идеи В.А. Шубенко на рубеже веков: междунар. науч.-техн. конф.: сб. ст. Екатеринбург: УГТУ, 1999. С. 40–47.
4. Hydraulic automatic gauge control // Davy McKee (Sheffield) Ltd. 1987. 10 p.
5. Петряков С.А., Карандаев А.С., Храмшин В.Р. Основные принципы построения САРТ непрерывного стана горячей прокатки // Электротехнические системы и комплексы: междуз. сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. Вып. 15. С. 142–149.
6. Расчет автоматических систем / А.В. Фатеев, А.А. Вавилов, Л.П. Смольников и др. М.: Высш. шк., 1973. 336 с.
7. Терехов В.М. Непрерывные и цифровые системы управления скоростью и положением электроприводов. М.: Изд-во МЭИ, 1996. 100 с.
8. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975. 768 с.

Bibliography

1. Petryakov S.A., Karandaev A.S. correction of the job for a thickness of «head» of a strip for CAPT a mill 2000 hot rolling of open joint-stock company «MМК» // Substances of 67th scientific and technical conference: a Sat. Doc. Magnitogorsk: state educational establishment of the high professional education «МГТУ», 2009. Т. 2. With. 60–63.
2. Baskov S.N., Karandaev A.S., Osipov O. I. Power energy parameters of drives and system shaped slabbings of a mill 2800 // the Power-driven engineering. 1999. № 1/2. with. 21/24.
3. Karandaev A.S. exploration of a management system shaped slabbing in the plate mill roughing stand. Ч.1: the System definition // V.A.Shubenko Scientific ideas on a boundary of centuries: international. tehn. konf.: a Sat. The item. Ekaterinburg: УГТУ, 1999. With. 40/47.
4. Hydraulic automatic gauge control // Davy McKee (Sheffield) Ltd. 1987. 10 with.
5. Petryakov S.A., Karandaev A.S., Hramshin V.R. of construction thickness automatic control system (CAPT) of a continuous hot-rolling mill // Electro-technical systems and complexes: Interhigh school. collected papers. Works. Magnitogorsk: state educational establishment of the high professional education «МГТУ», 2008. Issue. 15. With. 142–149.
6. Account of automatic systems / A.V.Fateyev, A.A.Vavilov, L.P.Smolnikov, etc. M: Hi. School, 1973. 336 with.
7. Terexhov V.M. Continuous and digital management systems of rate and a rule of electric drives. M: Publishers MEI, 1996. 100 with.
8. Besekersky E.A., Popov E.P. Theory of automatic control systems of regulatory type. M: Publishers «Science», 1975. 768 with.

УДК 621.317.31

Коваленко Ю.П., Чернышёв Г.В., Коваленко А.Ю., Корнилов Г.П., Николаев А.А., Иванов В.А.

ВЫЯВЛЕНИЕ НЕИСПРАВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ОАО «ММК»*

Объемы электропотребления промышленного предприятия, его цехов и технологических агрегатов вычисляются по показаниям измерительных комплек-

сов. Технические устройства, из которых они состоят, вносят заметную погрешность в измерения, определяемую более чем тридцатью составляющими [1]. Частичное повреждение или полный отказ в работе аппаратных средств приводят к грубым ошибкам энергоучета.

Это относится, прежде всего, к многочисленному семейству счетчиков электроэнергии с устаревшей

* Работа проводилась при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (государственный контракт № 02.740.11.0755).

электромеханической конструкцией. Они имеют большую нормативную погрешность и весьма невысокую эксплуатационную надежность. Например, в энергоучете ОАО «ММК» используется свыше 6000 электросчетчиков. Из них – 90% являются индукционными. Длительность работы в классе не превышает 1,5–2 года. Но и микропроцессорные счетчики, как показывает практика [2], могут поставлять недостоверную информацию в результате воздействия электромагнитных полей промышленной частоты, электростатических разрядов, а также из-за конструктивных дефектов и функциональных недоработок.

Трансформаторы тока и напряжения приносят свои погрешности в результаты измерения. Причем погрешности, как в коэффициенте трансформации, так и угловая, имеют тренд на увеличение, поскольку магнитоэлектрические характеристики этих устройств ухудшаются со временем, в т.ч. под воздействием аварийных токов короткого замыкания. Но поверка (калибровка) оборудования не всегда выполняется, истинная величина погрешности оказывается неизвестной, а используются ее паспортные или справочные значения.

Точность замеров снижается в нестационарных режимах электроснабжения металлургических агрегатов. Инерционная механика индукционных счетчиков реагирует с запаздыванием на изменения токов от резкопеременной нагрузки, созданной силовыми машинами прокатных станов и электродуговыми установками сталеплавильных цехов.

Все меры, направленные на повышение точности данных, сводятся в настоящее время к техническому обслуживанию, метрологическому контролю и надзору за средствами учета электроэнергии, к периодическим проверкам вторичных цепей. Не умаляя важности каждой из них, считаем целесообразным дополнить эту совокупность профилактических мероприятий непрерывным контролем качества учетной информации. Он позволит осуществить ранее выявление грубых ошибок в измерениях, повысить точность идентификации дефектного измерительного комплекса и, тем самым, создает предпосылки для сокращения времени нахож-

дения поврежденного прибора в системе учета.

Появление ошибочных данных в измерениях можно обнаружить в ранние сроки, если контрольные функции, разработанные на основе балансового метода [3], исполнять неоднократно на протяжении месяца. Такую вычислительную процедуру организовать несложно при наличии у предприятия автоматизированной системы учета электроэнергии. Основные затруднения возникают на этапе поиска неисправного измерительного комплекса. Специалисты не располагают типовой методикой выявления конкретного источника искаженных измерений.

Для выделения аномального значения небаланса мощности и последующего анализа вклада в него каждого из счетчиков используют правило «трех сигм» [4] или топологический метод оценивания состояния энергосистем [5]. Здесь важно отметить, что известные методы обеспечивают приемлемые результаты только в том случае, когда выборка имеет большие размеры и нормальное распределение [6].

Следовательно, перед использованием любого из указанных методов необходимо убедиться в допустимости приложения гипотезы о нормальном законе распределения к временным рядам небаланса мощности.

Такая проверка выполнена в системе учета электроэнергии ОАО «ММК» по трем критериям, а именно: Колмогорова-Смирнова, «омега-квадрат» и «кси-квадрат» при помощи программы «Stadia» [7]. Выборки содержат значения небаланса мощности, усредненные на 30-минутных интервалах в пределах расчетного периода (месяца). Балансовые уравнения составляют для электростанций и подстанций, а также для отдельных секций шин распределительных устройств.

Тестирование показало, что результирующие уровни значимости трех критериев, в основном, не позволяют принять нулевую гипотезу о нормальном распределении (см. **таблицу**). Предварительные преобразования числовых массивов не всегда приводят к нормализации исследуемых распределений. Таким образом, можно констатировать, что условие, определяющее область применения отмеченных выше методов, не находит гаран-

тированного подтверждения в выборках небалансов мощности, подготовленных для узлов внутризаводской сети 10–220 кВ ОАО «ММК». Поэтому не исключена опасность внесения искажений в результаты достоверизации измерительной информации системы учета электроэнергии металлургического предприятия.

Вместе с тем, для формализованного анализа небалансов мощности можно применить другие критерии, не требующие подтверждения соответствия распределения нормальному закону. Они подготовлены на основе трех известных выборочных характеристик эмпирического распределения: среднего, стандартного отклонения и коэффициента парной корреляции между небалансом и нагрузкой каждого из присоединений подстанции, представленных в балансовом уравнении. Сущность предложения заключается в целенаправленном отслеживании показателей динамики этих

Проверка выборок небаланса мощности на соответствие нормальному закону распределения

Электростанция, подстанция	Напряжение номинальное, кВ	Распределение отличается от нормального	Нормализующее преобразование	
			Функция	Критерий
ПС № 4	220кВ	да	не известна	–
ПС № 30	220/110	нет	–	–
ПС № 60	220/110/35/10	да	$\sin(X)$	χ^2
ПС № 64	110/10	да	не известна	–
ПС № 77	110	да	не известна	–
ПС № 86	220/10	да	$\lg(X)$	χ^2
ПС № 87	110/10	нет	–	–
ПС № 90	220/110	нет	–	–
ПС № 96	110/35/10	да	$\sin(X)$	χ^2
ТЭЦ	110/35/10	да	$1/X$	χ^2
ТЭЦ	10	да	$\ln(X)$	Колмогоров
ТЭЦ	35	нет	–	–
ТЭЦ	110	да	не известна	–
ЦЭС	10	да	$\sin(X)$	χ^2
ЦЭС	110	да	$\ln(X)$	χ^2

характеристик во времени по конфигурации графиков скользящих значений.

Необходимость в скользящем усреднении обусловлена тем, что многие временные ряды небалансов мощности в узлах заводской сети металлургического предприятия представляют собой широкие вариации значений при средней за расчетный период величине, равной или меньше допустимого показателя. Например, все энергообъекты, перечисленные в **таблице**, за исключением ТЭЦ и ЦЭС, имеют графики небалансов с коэффициентом вариации, превышающим 0,33. При этом фактический небаланс в отдельные моменты времени (и весьма часто) может быть больше его допустимой величины. Не исключено и обратное, когда текущие значения фактического небаланса, возросшие по причине выхода из строя счетчика, по-прежнему находятся в пределах допустимых границ.

Выделение тренда путем подавления случайных компонент, содержащихся в исходных графиках, достигается вычислением скользящего среднего [8]. Линейная кросскорреляция предназначена для исследования динамики взаимных регуляций временных рядов, т.е. для выявления величины и направления скрытой «шумом» причинно-следственной связи между небалансом и нагрузками.

Остановимся на этом подробнее.

Пусть первичными числовыми рядами X и Y служат временные ряды длиной N , ($l=1, 2, \dots, N$) с равноотстоящими значениями двух переменных: 1) небаланса мощности $\Delta P = \{\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_m, \dots, \Delta P_{N-1}, \Delta P_N\}$; 2) мощности нагрузки одного из присоединений подстанции, показания счетчика которого участвуют в уравнении баланса, $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m, \dots, P_{N-1}, P_N\}$.

Тогда скользящие (i) средние арифметические значения, стандартные отклонения (S) и коэффициент парной корреляции (r_{xy}) при фиксированной ширине k ($1 < k < N$) прямоугольного окна вычисляются по известным формулам [9].

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1}; S_{xj} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_{i+j-1} - \bar{x}_j)^2}; \quad (1)$$

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{i+j-1}; S_{yj} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (y_{i+j-1} - \bar{y}_j)^2}; \quad (2)$$

$$r_{xyj} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{1}{S_{xj} S_{yj}} (x_{i+j-1} - \bar{x}_j)(y_{i+j-1} - \bar{y}_j). \quad (3)$$

Значения коэффициентов парной корреляции r_{xyj} , рассчитанные для всех интересующих нас j ($1 < j < N - k + 1$), составляют функцию кросскорреляции.

Важно отметить, что скользящие значения выборочных характеристик распределения небаланса мощности, в т.ч. и функции кросскорреляции, существенно изменяются при отказе в работе измерительного комплекса. Типичность поведения проявляется в форме монотонного и практически прямолинейного роста параметра по абсолютной величине в течение времени, равного половине или полной ширине окна усреднения, т.е.:

$$\forall j \leq p \leq j + k; x_{p+1} - x_p \geq 0 \vee x_{p+1} - x_p < 0, \quad (4)$$

$$\forall j \leq p \leq j + \frac{k}{2}; S_{x_{p+1}} - S_{x_p} \geq 0; \quad (5)$$

$$\forall j \leq p \leq j + \frac{k}{2}; r_{xy_{p+1}} - r_{xy_p} \geq 0 \vee r_{xy_{p+1}} - r_{xy_p} < 0; \quad (6)$$

$$r_{xy_{j+\frac{k}{2}}} \geq 0,8. \quad (7)$$

Эти формальные признаки (4)–(7) могут быть представлены в качестве единого комплексного критерия для оперативного выявления грубых ошибок в измерениях и места искажения информации в технической системе учета электроэнергии.

Процедура достоверизации данных, проводимая с его помощью, является более строгой, четкой и конкретной, чем в случае применения расчетной величины допустимого небаланса в качестве порогового значения.

Приведем пример отслеживания достоверности данных учета электроэнергии на присоединениях 3 секции 10 кВ подстанции № 70 ОАО «ММК» с использованием (4)–(7).

В каждый t момент текущего времени вычисляются небалансы мощности ($\{\Delta P_l\}$, $1 < l < N$) с дискретностью в 0,5 ч на глубину архива T (ч) по информации, поступившей в автоматизированную систему контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) со счетчиков. Его значения образуют конечный временной ряд $\Delta P = \{\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_l, \dots, \Delta P_{N-1}, \Delta P_N\}$, где $N = 2T$.

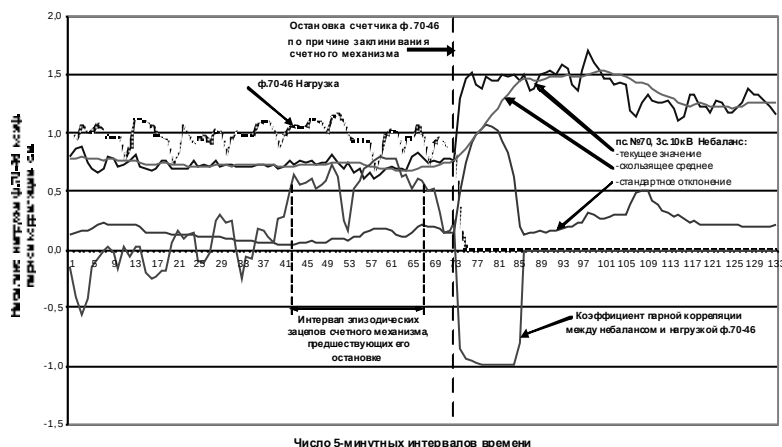
Члены этого ряда используются для расчета двух последовательностей – скользящего среднего и стандартного отклонения небаланса при ширине окна усреднения $k < N$. Размер окна выбирается в пределах от 3 до 12 ч, что соответствует 6–24 интервалам при 30-минутных значениях мощности в графике небаланса. В нашем примере $k = 12$.

Для каждого из 18 присоединений (г) балансируемого узла сети из базы данных АСКУЭ извлекается фрагмент непрерывного графика нагрузки $\{p_i^g\}$, ограниченный рамками того же интервала времени T .

Вычисляется последовательность значений коэффициента парной кросскорреляции между небалансом и нагрузками присоединений.

Если измерительная система соответствует метрологическим правилам и нормам, то графики этих трех последовательностей, построенные вдоль оси времени, фиксируют наличие знакопеременных и малых по величине приращений статистических параметров. Участок графиков, изображенных на рисунке, между метками № 1 и № 40 оси времени, подтверждает исправное состояние технической системы учета. Здесь следует отметить, что теснота корреляционной связи небаланса с нагрузками каждого из присоединений подстанции находится, в основном, на уровне «слабая» и «очень слабая» ($|r| < 0,2$, тогда как критическая величина этого коэффициента находится в диапазоне 0,45–0,55 при числе степеней свободы $\nu = 11$ и доверительной вероятности $q = 0,95$ [9]).

Неисправность, возникшая в измерительном комплексе присоединения ф. 70–46, автоматически отра-



Статистические характеристики при небалансе мощности

жается на динамике скользящих параметров (см. **рисунок**). Среднее и стандартное отклонение небаланса монотонно увеличиваются, начиная с метки 73, при сохранении неизменным знака у приращения. Устойчивое проявление этих количественных и качественных признаков сигнализирует о присутствии грубых ошибок в учетной информации.

Характерные изменения происходят с абсолютной величиной коэффициента парной кросскорреляции между небалансом и нагрузкой этого присоединения. Этот коэффициент возрастает с 0,2–0,4 до 0,8–0,9 и более, тогда как корреляционная связь для других присоединений (с исправными приборами учета) сохраняется на прежнем низком уровне. Переход к «сильной» и «очень сильной» корреляции с последующим ее глубоким ослаблением (вид «шипа» на графике) указывает на возможное место генерации искажений в измерениях расхода электроэнергии.

Контрольный отрезок времени для анализа скользящего среднего равен ширине окна (см. **рисунок**, между метками 73–85), а для стандартного отклонения и коэффициента корреляции — в 2 раза меньше (см. **рисунок**, между метками 73–79).

С высокой вероятностью можно утверждать, что источник грубых ошибок в данных энергоучета окончательно выявлен, если совпадает во времени начало «кризисных» изменений на графиках скользящих значений среднего, стандартного отклонения, коэффициента парной кросскорреляции и нагрузки присоединения предположительно с дефектным измерительным комплексом.

Так был выявлен поврежденный счетчик ф. 70–46. При дефектологическом исследовании этого прибора обнаружена причина его неисправности — заклинивание счетного механизма на переходе с числа 9999,9.

Дополнительно отметим, что первые проявления эпизодических сбоев в работе счетного механизма, предшествующие остановке счетчика, можно увидеть только на графике коэффициента кросскорреляции. Они располагаются между метками 42 и 67 (см. **рисунок**).

Разработанный способ обнаружения источника грубых ошибок в измерениях электропотребления внедрен в технологию ежесуточных проверок досто-

верности данных системы автоматизированного учета электроэнергии ОАО «ММК».

Успешно и в короткие сроки выявлены измерительные комплексы, имеющие следующие дефекты: 1) остановка счетчика под нагрузкой; 2) отказ счетчика в работе в момент подачи напряжения на электроприемник; 3) эпизодические пропуски в генерации импульсных сигналов или избыточное «мерцание» телеметрического блока счетчика; 4) разрушение передающего устройства счетчика; 5) ослабление контактов в измерительных цепях на клеммных сборках; 6) замыкание между витками обмотки трансформатора тока; 7) размыкание одной фазы вторичных измерительных цепей «трансформатор напряжения — счетчик» контактами блокировки КСА и др.

Список литературы

1. Загорский Я.Т., Комкова Е.В. Границы погрешности измерений при расчетном и техническом учете электроэнергии // Электричество. 2001. № 8. С. 14–17.
2. Гуртовцев А., Бордаев В., Чижонков В. Электронные счетчики. Доверять или проверять // Новости электротехники. 2005. № 1 (31); № 2 (32).
3. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении: РД34.09.101-94. М.: Служба передового опыта ОРГРЭС, 1995. 41 с.
4. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. М.: Физматгиз, 1960. 430 с.
5. Гамм А.З. Обнаружение недостаточно достоверных данных при оценивании состояния ЭЭС с помощью топологического анализа // Электричество. 1978. № 4. С. 1–8.
6. Колосок И.Н., Евдокимов Е.Ю. Повышение достоверности измерительной информации в системе учета электроэнергии крупного промышленного предприятия на основе статистических методов обработки данных // Промышленная энергетика. 2009. № 12. С. 27–34.
7. Кулаичев А.П. Методы и средства анализа данных в среде Windows. Stadia 6.0. М.: Инфо НПО «Информатика и компьютеры», 1998. 268 с.
8. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2003. 206 с.
9. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высш. шк., 1982. 224 с.

Bibliography

1. Zagorsky Y.T., Komkova E.V. The boundaries of the measurement error at design and technical account of electricity // Electricity. 2001. No 8. P. 14–17.
2. Gurtovtsev A., Bondarev V., Chizhonok V. Electronic counters. Trusted or verified // News of Electrical Engineering. 2005. No 1 (31); No (32).
3. Typical instructions for electricity metering in its production, transmission and distribution: RD34.09.101-94. M.: The service excellence ORGRES. 1995. 41 p.
4. Nalimov V.V. Application of mathematical statistics in the analysis of the substance. M: Fizmatgiz, 1960. 430 p.
5. Gamm A.Z. Detection of incorrect data when evaluating EPS using topological analysis // Electricity. 1978. No 4. P. 1–8.
6. Kolosok I.N., Evdokimov E.Y. Increasing the reliability of measurement data in the metering of large industrial enterprises on the basis of statistical data processing methods // Industrial power engineering. 2009. № 12. P. 27–34.
7. Kulachev A.P. Methods and data analysis tools in Windows/Stadia 6.0. M.: InCo NGO «Information and Computers. 1998. 268 p.
8. Dubrov T.A. Statistical forecasting methods. M: UNITY-DANA. 2003. 206 p.
9. Lvovsky E.N. Statistical methods for constructing the empirical formulas. M.: Graduate School. 1982. 224 p.

УДК 314.212:620.111.3

Дружинин Н.Н., Ануфриев А.В., Сарлыбаев А.А.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РАБОТУ ТРАНСФОРМАТОРА УСТАНОВКИ «ПЕЧЬ-КОВШ» ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА ОАО «ММК»

В электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) «Магнитогорский металлургический комбинат» установлены три агрегата печь-ковш (АПК). Главной целью процесса обработки стали в печи-ковше является осуществление ряда технологических операций быстрее и эффективнее, чем в обычных сталеплавильных агрегатах. АПК предназначен для доведения плавки до стандартного состояния по химическому составу, температуре и очистке стали от газов и неметаллических включений. АПК также служит своеобразным «амортизатором» между процессом выплавки и разливки металла с высокими требованиями по точности к температуре и допускам в отношении химического состава.

На АПК №2 установлен печной трансформатор ЭТЦНКВ-40000/110-УХЛ4, изготовленный в ОАО Холдингская компания «Электрозавод» в 2005 году. Номинальная мощность трансформатора – 26000 кВА. Номинальное напряжение по высокой стороне 110 кВ, по низкой – 420 В. Номинальный ток по высокой стороне 189 А, по низкой – 35,7 кА. Группа соединения обмоток $Y_n/\Delta-7$.

По проекту трансформатор расположен вблизи сети низкого напряжения. Минимальное расстояние от шин низкого напряжения до корпуса трансформатора составляет 250 мм (рис. 1). Шины низкого напряжения (НН) представляют собой полые трубы, внутри которых течет вода (водяное охлаждение). Расширительный бак трансформатора выступает за корпус трансформатора в сторону шин НН, соответственно наиболее близкая к шинам низкого напряжения часть трансформатора – это стенка расширительного бака.

После монтажа трансформатора и пуска АПК в работу было обнаружено, что при работе трансформатора под нагрузкой стенка расширительного бака

трансформатора со стороны сети низкого напряжения нагревается до 180°C (рис. 2) [1].

Расширительный бак нагревается вихревыми токами (токи Фуко), которые наводятся сетью низкого напряжения. Это замкнутые электрические токи в массивном проводнике, которые возникают при изменении пронизывающего его потока. В отличие от электрического тока в проводах, текущего по точно определенным путям, токи Фуко замыкаются непосредственно в проводящей массе, образуя вихреобразные контуры. Эти контуры взаимодействуют с породившим их потоком. В соответствии с законом Джоуля-Ленца, вихревые токи нагревают проводники, в которых они возникли.

Нагрев расширительного бака влечет за собой нагрев масла до температуры, превышающей 90°C (рабочая температура масла). С повышением температуры происходит старение масла за счет совместного воздействия на масло молекулярного кислорода воздуха и электрического поля при катализирующем воздействии материалов, из которых изготовлен трансформатор. При старении масла ухудшаются электроизоляционные свойства трансформаторного масла (увеличение тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$) [2], что приводит к снижению изоляционных характеристик трансформатора в целом; происходит накопление осадка на активной части трансформатора, что затрудняет отведение тепла от нее. Температура способствует активации окислительного процесса углеводородов масла, ускоряя его примерно в 2 раза при повышении температуры на каждые 10°C [3].

Для решения вышеуказанной проблемы прорабатывались три основных варианта:

1. Применение немагнитных материалов.

Суть метода в создании нового расширительного

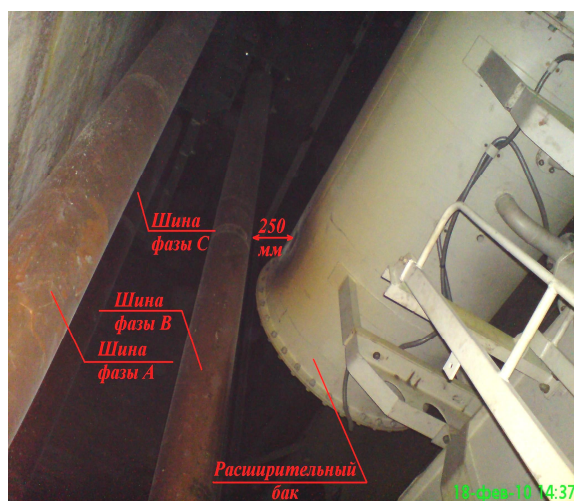


Рис. 1. Монтажное исполнение трансформатора

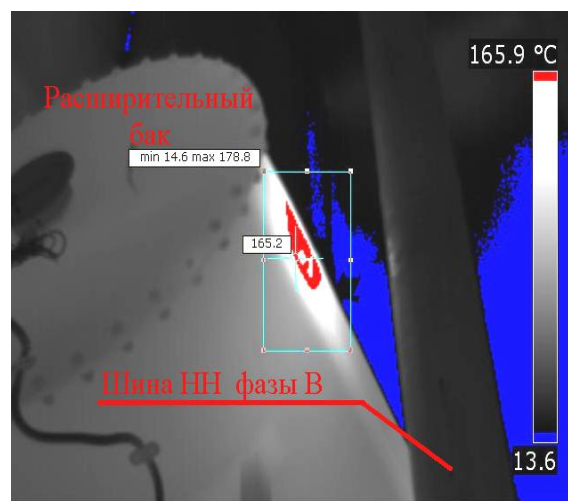


Рис. 2. Термограмма нагрева расширительного бака

бака из немагнитных материалов. С целью эксперимента была создана модель, в которой в магнитное поле размещали пластины немагнитных металлов, в результате нагреву подвергались все предложенные металлы, но с разной интенсивностью. Так как не удалось создать модель, адекватную реальным условиям с соответствующей напряженностью магнитного поля, анализ и расчет нагрева предложенных материалов был практически невозможен. В связи с этим данный вариант не был реализован.

2. Экранирование объектов.

В магнитное поле между шинами сети низкого напряжения и расширительным баком был размещен защитный экран, состоящий из полос алюминия. Было проведено два эксперимента: в одном случае полосы были замкнуты между собой, в другом разомкнуты. Применение экрана с замкнутыми полосами не обеспечило ожидаемого снижения нагрева. Во втором случае нагрев экранированного места снизился, но нагреву подверглись другие части бака, область нагрева сместилась вверх (рис. 3). Избежать смещения области нагрева можно, установив экран больших размеров, но в данном случае это оказалось невозможным из-за сложной конструкции крепления экрана. Данный вариант также не был реализован.

3. Увеличение расстояния между источником возникновения магнитного поля и взаимодействующих с

ним объектов.

Сдвинуть шины низкого напряжения не представляется возможным в связи с тем, что они проходят вдоль стены электропомещения и вмонтированы в верхнее перекрытие. После рассмотрения положения бака на трансформаторе АПК был предложен вариант перемещения бака от сети низкого напряжения в сторону выводов высокого напряжения. Максимально расширительный бак можно подвинуть на 250 мм. В этом случае расстояние между расширительным баком и изоляторами высокого напряжения составит 780 мм, что является минимально допустимым согласно ПУЭ (рис. 4).

Для реализации данного варианта была разработана технология процесса передвижки бака и чертежи на изготовления всех труб и патрубков, подведенных к баку, т.к. при смещении бака относительно трансформатора меняются угол подвода труб и их длина. При этом способе решения проблемы вносятся изменения в конструкцию трансформатора, а это потребовало разработки проекта. Так как не было уверенности в том, что увеличение расстояния между шинами низкого напряжения и баком до 500 мм даст положительные результаты и в связи с необходимостью ожидания проекта на проведение данной работы, этот вариант также не был реализован.

С учетом особенностей фундамента трансформатора АПК представлялось возможным отодвинуть трансформатор от сети низкого напряжения на 400 мм, что, в свою очередь, обеспечит смещение расширительного бака от шин низкого напряжения дальше, чем при реализации предыдущего варианта. Данная операция не вносит никаких изменений в конструкцию трансформатора.

Для осуществления данного способа решения проблемы были изготовлены необходимые приспособления и удлинительные шины для компенсаторов сети низкого напряжения. Шины представляют собой медные пластины длиной около 500 мм и сечением 190×30 мм. Общий вес всех удлинительных шин – около 630 кг, поэтому появилась необходимость установки дополнительной опоры под шины низкого напряжения из-за опасения разрушения токоподводов. Была разработана опора с незамкнутым контуром для исключения замыкания в ней магнитного потока и дальнейшего ее нагрева.

После проведения данного мероприятия и пуска трансформатора АПК в работу были проведены измерения температуры расширительного бака. Температура составила не более 60°C.

Возможно, существуют более рациональные и технически совершенные методы решения данной проблемы, но в условиях ЭСПЦ ОАО «ММК» самым оперативным и наиболее доступным оказалось именно смещение непосредственно самого трансформатора.

Точных регламентов по поводу расположения трансформатора и других его деталей относительно сети низкого напряжения нет, но на практике выяснилось, что при разработке проекта на установку подобных трансформаторов необходимо учитывать и этот факт.

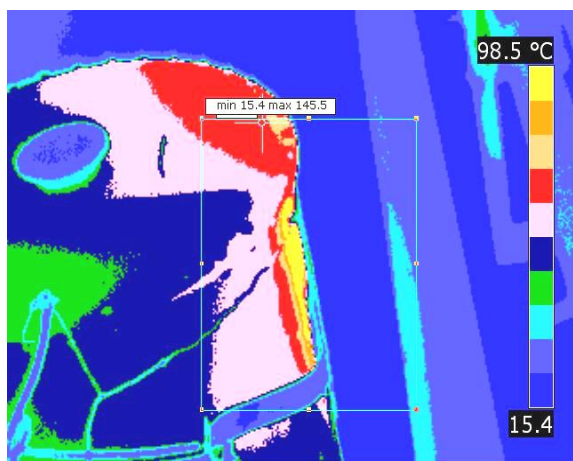


Рис. 3. Смещение области нагрева

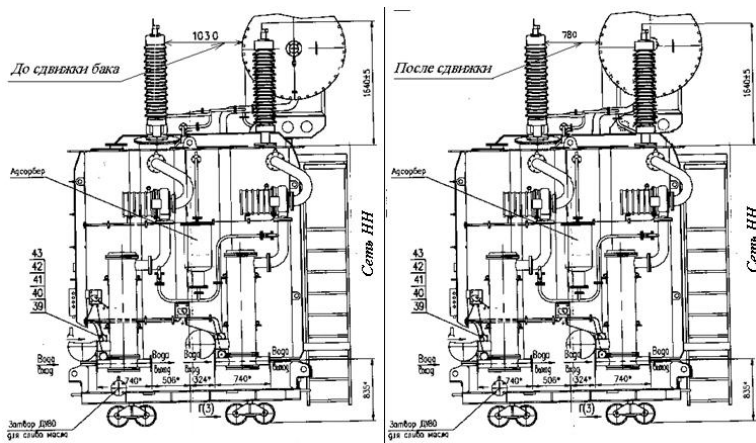


Рис. 4. Схема переноса расширительного бака

Список литературы

1. Журавлев А.Н., Попов Г.В. Технология тепловизионного контроля в диагностике силовых трансформаторов // Энергетик. 2000. № 2. С. 34–35.
2. Киреева Э.А. Диагностика силовых трансформаторов // Электрооборудование. 2008. № 9. С. 59–64.
3. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. 216 с.

Bibliography

1. Zhuravlev A.N., Popov G.V. Thermal control technology in diagnostic of mains transformers // Power engineering. 2000. № 2. with. 34–35.
2. Kireeva E.A. Diagnostic of mains transformers // the Electric equipment. 2008. № 9. With. 59–64.
3. Alexeys B.A. Control states (diagnostic) of large mains transformers. M: Publishers NTS ENAS, 2002. 216 with.

УДК 621.33

Селиванов И.А., Омельченко Е.Я.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Асинхронные электродвигатели занимают главенствующее положение в промышленных электроприводах, интенсивно внедряется система «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» [1]. Переходные процессы в электроприводах переменного тока более колебательные и значительно сложнее в математическом описании по сравнению с электроприводами постоянным током, поэтому вопросы изучения электро-механических свойств асинхронных двигателей при питании от многофазных цепей остаются актуальными.

В статье сделана попытка анализа совместного влияния многофазной питающей сети и асинхронного двигателя, выполнен анализ переходных процессов активной и реактивной мощности, потребляемой в многофазной L - R цепи при различных входных напряжениях и частотах, проанализировано влияние коэффициента мощности на качество электро-механических переходных процессов в различных системах электропривода.

Учебная литература [2] расчет активной и реактивной мощности для трехфазных цепей дает для установившихся режимов при неизменных напряжении и частоте. В специальной литературе [3] дается расширенное понятие реактивной мощности, но только в установившемся режиме и для нужд электро-снабжения. Понятия активной и реактивной мощности связываются с интегральной оценкой за период питающего напряжения. В статье все выводы сделаны для суммарных мгновенных значений активной и реактивной мощности в многофазных цепях [4].

Исходные предпосылки:

1. Питающее напряжение является симметричным трехфазным напряжением прямой последовательности.
2. Нагрузка в виде последовательных L - R цепей соединена в звезду без нулевого провода.
3. Параметры нагрузки по фазам равны и постоянны. Фазное напряжение в j -фазе трехфазной цепи

$$u_j(t) = U_m \sin(\Omega_1 t + \varphi_j),$$

где $\Omega_1 = 2\pi f_1$ – круговая частота питающего напряжения, рад/с; φ_j – начальный угол фазы, рад ($\varphi_a = \Delta\alpha$, $\varphi_b = \Delta\alpha - 2\pi/3$, $\varphi_c = \Delta\alpha + 2\pi/3$); $\Delta\alpha$ – угол включения нагрузки, рад; U_m – амплитуда входного напряжения, В.

Уравнение переходного процесса фазного тока на L - R нагрузку

$$i_j(t) = I_m (\sin(\Omega_1 t + \varphi_j - \varphi_1) - \sin(\varphi_j - \varphi_1) \cdot e^{-t/T}), \quad (1)$$

где $I_m = U_m/Z$ – амплитуда установившегося значения тока, А; $Z = \sqrt{R^2 + (\Omega_1 L)^2}$ – полное сопротивление фазы, Ом; $\varphi_1 = \arctg(\Omega_1 L/R)$ – угол сдвига между фазами напряжения и тока в установившемся режиме, рад; $T = L/R$ – постоянная времени цепи нагрузки, с.

Картина переходного процесса тока (1) при различных частотах входного напряжения претерпевает значительные изменения, так как параметры Z и φ_1 зависят от частоты. Существенные изменения в картину переходного процесса вносит начальный угол включения нагрузки $\Delta\alpha$. Остается неизменным время затухания переходного процесса, зависящее только от постоянной времени T .

Мгновенная активная мощность фазы определяется как произведение мгновенных значений напряжения и тока:

$$P_j(t) = u_j(t) \cdot i_j(t) = 0,5 \cdot U_m^2 / Z \cdot (\cos \varphi_1 - \cos(2\Omega_1 t + 2\varphi_j - \varphi_1) - 2e^{-t/T} \sin(\Omega_1 t + \varphi_j) \cdot \sin(\varphi_j - \varphi_1)), \quad (2)$$

включает в себя постоянную составляющую, переменную составляющую с двойной частотой сети и затухающую переходную составляющую с частотой сети. В общем случае $P_j(t)$ имеет сложный гармонический рисунок и зависит от входной частоты и напряжения, параметров нагрузки, начальной фазы и угла включения.

Мгновенная активная мощность, потребляемая из трехфазной сети, определяется как сумма мгновенных активных мощностей трех фаз (скалярное произведение трехмерного вектора фазного напряжения на трехмерный вектор тока [5]):

$$P_\Sigma(t) = \sum_{j=1}^3 (u_j(t) \cdot i_j(t)) = u_a(t)i_a(t) + u_b(t)i_b(t) + u_c(t)i_c(t) = 3 / 2 \cdot U_m^2 / Z \cdot (\cos \varphi_1 - \cos(\Omega_1 t + \varphi_1) \cdot e^{-t/T}) = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi_1 \cdot (1 - e^{-t/T} \cdot \cos(\Omega_1 t + \varphi_1) / \cos \varphi_1), \quad (3)$$

где $U = U_m / \sqrt{2}$ – действующее значение напряжения,

В; $I = U_m / Z / \sqrt{2}$ – действующее значение тока в установившемся режиме, А; $\cos \varphi_1 = R / Z = 1 / \sqrt{1 + (T\Omega_1)^2}$ – коэффициент активной мощности.

Особенность поведения активной мощности в трехфазной цепи заключается во взаимной компенсации по трем фазам переменных составляющих двойной частоты, что объясняет отсутствие установившейся переменной составляющей. В переходном процессе затухающая составляющая активной мощности определяется частотой питающей сети, а степень затухания зависит от T . Используя уравнение прямого преобразования Лапласа, для уравнения (3) рассчитывается передаточная функция в операторном виде

$$W_{P\Sigma}(s) = \frac{P_\Sigma(s)}{U_m^2(s)} = \frac{3R}{2Z^2} \cdot \frac{(Ts+1)}{(T_0^2s^2 + 2\xi T_0s + 1)}, \quad (4)$$

где s – символ операторного изображения Лапласа; $T_0^2 = T^2 / (1 + (T\Omega_1)^2)$ – постоянная времени колебательного звена; $\xi = 1 / \sqrt{1 + (T\Omega_1)^2}$ – коэффициент колебательности.

Уравнение (4) описывает поведение входной суммарной активной мощности на L - R нагрузке в операторном виде при скачке питающего напряжения и частоты. Характерно, что $P_\Sigma(t)$, $W_{P\Sigma}(s)$ не зависят от начальных углов фаз и момента включения нагрузки $\Delta\alpha$, т.е. уравнения (3) и (4) описывают общие свойства активной мощности в функции входного напряжения, частоты и параметров нагрузки. Уравнение (4) включает в себя реальное дифференцирующее звено с постоянной времени T и колебательное звено второго порядка. По коэффициенту затухания $\xi = 1 / \sqrt{1 + (T\Omega_1)^2} = \cos \varphi_1$ видно, что переходный процесс активной мощности при скачке напряжения всегда носит колебательный характер ($\xi < 1$), вызван особенностью работы многофазной сети на L - R нагрузку, а колебательность или степень затухания определяется коэффициентом активной мощности нагрузки. Звено реального дифференцирования в числителе (4) увеличивает колебательность активной мощности.

Мгновенная активная мощность, рассеиваемая на трехфазной нагрузке, определяется как произведение активного сопротивления R на сумму квадратов токов фаз

$$P_R(t) = R \cdot \sum_{j=1}^3 (i_j(t))^2 = R \cdot (i_a^2(t) + i_b^2(t) + i_c^2(t)) = 3 / 2 \cdot U_m^2 / Z \cdot (1 - 2e^{-t/T} \cdot \cos(\Omega t) + e^{-2t/T}) \cdot \cos \Phi. \quad (5)$$

Уравнение переходного процесса (5) в операторной форме

$$W_{PR}(s) = \frac{P_R(s)}{U_m^2(s)} = \frac{3R}{2Z^2} \cdot \frac{(Ts+1)}{(T_0^2s^2 + 2\xi T_0s + 1) \cdot (0,5Ts + 1)}. \quad (6)$$

Уравнение (6) отличается от уравнения (4) дополнительным аperiодическим звеном с постоянной времени $0,5T$, что говорит о меньшей колебательности $P_R(t)$. Большая переменная составляющая в переходном процессе $P_\Sigma(t)$ объясняется тем, что она дополнительно расходуется на формирование электромагнитного поля в индуктивности [2].

Мгновенное значение реактивной мощности одной фазы [6] прямо пропорционально мгновенному значению тока, первой производной напряжения и обратно пропорционально частоте питающего напряжения:

$$Q_j(t) = -\frac{1}{\Omega_1} u_j^*(t) \cdot i_j(t) = 0,5 \cdot U_m^2 / Z \cdot (\sin \varphi_1 - \sin(2\Omega_1 t + 2\varphi_j - \varphi_1) - 2e^{-t/T} \cos(\Omega_1 t + \varphi_j) \cdot \sin(\varphi_j - \varphi_1)), \quad (7)$$

где $u_j^*(t) = du_j(t) / dt = \Omega_1 \cdot U_m \cos(\Omega_1 t + \varphi_j)$ – первая производная питающего напряжения по времени, В/с.

Мгновенное значение суммарной реактивной мощности трехфазной цепи равно сумме реактивных мощностей фаз:

$$Q_\Sigma(t) = -\frac{1}{\Omega_1} \sum_{j=1}^3 (u_j^*(t) \cdot i_j(t)) = -\frac{1}{\Omega_1} (u_a^*(t) \cdot i_a(t) + u_b^*(t) \cdot i_b(t) + u_c^*(t) \cdot i_c(t)) = 3 / 2 \cdot U_m^2 / Z \cdot (\sin \varphi_1 - \sin(\Omega_1 t + \varphi_1) \cdot e^{-t/T}) = 3 \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi_1 \cdot (1 - e^{-t/T} \cdot \sin(\Omega_1 t + \varphi_1) / \sin \varphi_1), \quad (8)$$

где $\sin \varphi_1 = \Omega_1 L / Z = \Omega_1 T / \sqrt{1 + (T\Omega_1)^2}$ – синус угла нагрузки (коэффициент реактивной мощности).

Особенность поведения реактивной мощности в трехфазной цепи, так же как и активной, заключается во взаимной компенсации по фазам переменных составляющих двойной частоты. Частота переменной составляющей переходного процесса равна частоте сети. Амплитуда определяется частотой и параметрами нагрузки. Затухание колебаний определяет постоянная времени T .

В соответствии с уравнением (8) передаточная функция суммарной реактивной мощности при скачке питающего напряжения в операторном виде

$$W_{Q\Sigma}(s) = \frac{Q_\Sigma(s)}{U_m^2(s)} = \frac{3 \cdot \Omega_1 L}{2 \cdot Z^2} \cdot \frac{1}{(T_0^2s^2 + 2\xi T_0s + 1)} \quad (9)$$

описывается колебательным звеном второго порядка и характеризуется меньшей колебательностью по сравнению с активной мощностью из-за отсутствия звена реального дифференцирования.

В табл. 1 сведены материалы по передаточным функциям активной и реактивной мощностей. В ней отдельно представлены обозначения передаточных функций, выходные переменные, статические коэффициенты передачи и передаточные функции динамических звеньев при скачкообразном изменении входного

напряжения амплитудой U_m . Аналогичные выражения для мощностей получаются в двухфазной неподвижной системе координат α – β , широко применяемой для описания асинхронных и синхронных двигателей [5].

Проведем несложные преобразования над уравнениями (3) и (8):

$$\left. \begin{aligned} P_{\Sigma}(t) &= 3 \cdot U_1 \cdot I \cdot \cos \varphi_1 \cdot h_p(t) = 3 \cdot U_{1m} \cdot i_A(t) / 2; \\ Q_{\Sigma}(t) &= 3 \cdot U_1 \cdot I \cdot \sin \varphi_1 \cdot h_q(t) = 3 \cdot U_{1m} \cdot i_X(t) / 2, \end{aligned} \right\}$$

где $h_p(t)$, $h_q(t)$ – переходные функции активной и реактивной мощности; $i_A(t)$, $i_X(t)$ – значения активной и реактивной составляющих тока.

Таким образом,

$$\left. \begin{aligned} I_A(t) &= 2 \cdot P_{\Sigma}(t) / U_m / 3 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \cos \varphi_1 \cdot h_p(t); \\ I_X(t) &= 2 \cdot Q_{\Sigma}(t) / U_m / 3 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \varphi_1 \cdot h_q(t). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Полный ток нагрузки $I_m(t) = \sqrt{I_A^2(t) + I_X^2(t)}$ является модулем вектора тока в трехфазной вращающейся системе координат с угловой частотой сети. Несложно доказать, что полный ток $I_m(t)$ является уравнением огибающей фазных токов $I_f(t)$.

Со стороны питающей сети асинхронный двигатель представляется симметричной трехфазной L - R нагрузкой с переменными параметрами, зависящими от механической нагрузки или просадки скорости и от частоты питающего напряжения. В основу анализа электро-механических свойств асинхронных двигателей положена Т-образная схема замещения с параллельным подключением сопротивлений потерь в стали [7]. Комплексные сопротивления элементов схемы замещения:

– статорная обмотка

$$Z_1(\Omega_1) = R_1 + jX_1 = \sqrt{R_1^2 + (\Omega_1 L_1)^2};$$

– цепь намагничивания

$$Z_m(\Omega_1) = j\Omega_1 L_m;$$

– роторная обмотка

$$Z_2(\Omega_1, \Omega_2) = R_2 + jX_2 = \Omega_1 / \Omega_2 \sqrt{R_2^2 + (\Omega_2 L_2)^2},$$

где $\Omega_1 = 2\pi f_1$ – угловая частота питающего напряжения, рад/с; $R_{21} = R_2 / s = R_2 \Omega_1 / \Omega_2$ – эквивалентное активное сопротивление роторной обмотки, Ом; $s = (\Omega_1 - p_{\Pi} \omega) / \Omega_1 = \Omega_2 / \Omega_1$ – скольжение асинхронного двигателя; ω – угловая скорость вращения, рад/с; p_{Π} – число пар полюсов статорной обмотки; $\Omega_2 = 2\pi f_2$ – угловая частота ЭДС ро-

торной обмотки, рад/с.

Эквивалентные активные и индуктивные сопротивления, последовательно подключенные к ЭДС главного магнитного потока, равны:

$$\left. \begin{aligned} R_{\Sigma 2} &= (R_{21}^2 + (L_2 \Omega_1)^2 + R_{21} R_C) R_C (L_m \Omega_1)^2 / D_4; \\ X_{\Sigma 2} &= (R_{21}^2 + (L_2 \Omega_1)^2 + L_m L_2 \Omega_1^2) R_C^2 L_m \Omega_1 / D_4; \\ D_4 &= (R_{21} R_C - L_2 L_m \Omega_1^2)^2 + (R_C L_m + R_C L_2 + R_2 L_m)^2 \Omega_1^2; \\ \cos \varphi &= R_{\Sigma 2} / \sqrt{R_{\Sigma 2}^2 + X_{\Sigma 2}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Эквивалентные активные и индуктивные сопротивления, последовательно подключенные к напряжению статорной обмотки, равны:

$$\left. \begin{aligned} R_{\Sigma 1} &= R_{\Sigma 2} + R_1; \\ X_{\Sigma 1} &= X_{\Sigma 2} + X_1; \\ \cos \varphi_1 &= R_{\Sigma 1} / \sqrt{R_{\Sigma 1}^2 + X_{\Sigma 1}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

По уравнениям (11) и (12) для двигателя 4А180М8УЗ ($P_N = 15$ кВт, $s_N = 2.6\%$, $s_K = 13\%$) в формате 3D на рис. 1 построена зависимость коэффициента активной мощности $\cos \varphi_1$ в функции от частоты питающей сети f_1 и частоты роторной ЭДС f_2 . На рисунке выделены зоны: Г – генераторный режим работы; Дв – двигательный режим; Пр – режим противовключения; 1 – первая зона регулирования ($f_1 \leq 50$ Гц); 2 – вторая зона регулирования ($f_1 > 50$ Гц). Зависимость $\cos \varphi_1$ от выделенных частот представляется сложной, изогнутой поверхностью. Максимальные значения функция принимает в диапазоне частот f_2 от 0.26 до 6.5 Гц (двигательный режим работы – рабочий участок характеристики). Минимальные значения функция принимает в генераторном режиме в диапазоне частот f_2 от –0.26 до –6.5 Гц. Пунктирной линией выделено поведение $\cos \varphi_1$ при прямом пуске от сети ($f_1 = 50$ Гц; $0 \leq f_2 \leq 50$ Гц). В табл. 2 приведены значения коэффициента мощности от скольжения для характерных точек механической характеристики, по которым можно сделать вывод, что достаточное демпфирование колебания мощности ($\xi \geq 0.7$) возможно при скольжении от 0.13 до 0.0052 (угловая скорость от 68.3 до 78.1 1/с). В остальных режимах должна наблюдаться повышенная колебательность.

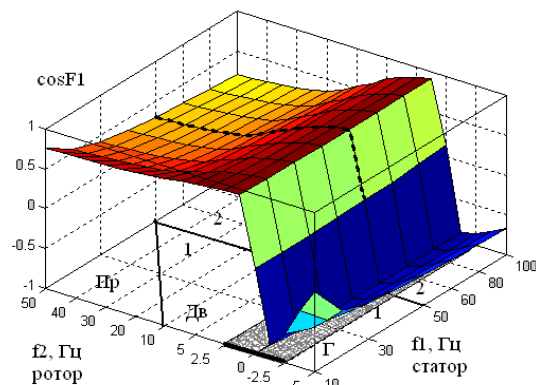


Рис. 1. Зависимость $\cos \varphi_1$ в функции от частоты питающей сети f_1 и частоты роторной ЭДС f_2

Таблица 1

Статические и динамические коэффициенты передачи

Но- мер урав- нения	Обоз- наче- ние	Выход- ная пе- ремен- ная	Статичес- кий коэф- фициент	Передачная функция динамического звена
4	$W_{P_{\Sigma}}(s)$	$P_{\Sigma}(s)$	$3R/(2Z^2)$	$(Ts+1)/(T_0^2 s^2 + 2\zeta T_0 s + 1)$
6	$W_{P_R}(s)$	$P_R(s)$	$3R/(2Z^2)$	$(Ts+1)/(T_0^2 s^2 + 2\zeta T_0 s + 1)/(0.5Ts+1)$
9	$W_{Q_{\Sigma}}(s)$	$Q_{\Sigma}(s)$	$3\Omega L/(2Z^2)$	$1/(T_0^2 s^2 + 2\zeta T_0 s + 1)$

Таблица 2

Значения $\cos\varphi_1$ от скольжения

s, %	100	50	13	2.6	0.52	0
$\cos\varphi_1$	0.3	0.39	0.75	0.82	0.68	0.084
Момент	M_{Π}		M_K	M_N	$0.2M_N$	0

Полное подтверждение выше-сказанному можно найти, анализируя переходные процессы прямого пуска на холостом ходу двигателя 4A180M8Y3 от сети (рис. 2) [8]. Броски момента при пуске (рис. 2, а) доходят до $4M_N$, колебательность момента и угловой скорости существенно снижается в диапазоне угловых скоростей от 60 до 80 1/с (рис. 2, б) и колебательность снова возрастает при малых моментах двигателя.

Снизить колебательность момента при пуске возможно двумя способами:

1. Формирование начальных условий для напряжения и мощности, исключающих переменную составляющую момента.

2. Применение тиристорного устройства плавного пуска, формирующего линейное нарастание напряжения на статорной обмотке при пуске.

Первый способ связан с формированием моментов подключения статорных обмоток к фазам питающего напряжения [8]. На рис. 2, в приведены переходные процессы прямого пуска двигателя 4A180M8Y3 при последовательном подключении обмоток статора к фазам А, В, С с задержками 1.66, 6.66, 1.66 мс. Пуск с 0 до номинальной скорости происходит практически без дополнительных колебаний (рис. 2, г).

Второй способ ограничивает скорость нарастания питающего напряжения во время пуска, тем самым снижает колебательность в начале переходного процесса. Первый способ может быть легко реализован на основе устройств плавного пуска.

Система электропривода «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» формирует на статорной обмотке частоту от 0 до $2-3f_{1N}$ при частоте роторной ЭДС, изменяющейся от 2.5 до -2.5 Гц (см. рис. 1, заштрихованная область). В этом случае при $abs(M) \geq 0.2M_N$, $\cos\varphi_1 \geq 0.7$, т.е. в разомкнутой системе ПЧ-АД со скалярным управлением следует ожидать повышенную колебательность электропривода, вызванную свойствами многофазной питающей сети, только при работе электродвигателя на холостом ходу.

Список литература

1. Ильинский Н.Ф. Электропривод в современном мире // АЭП 2007: Труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу. СПб., 2007.

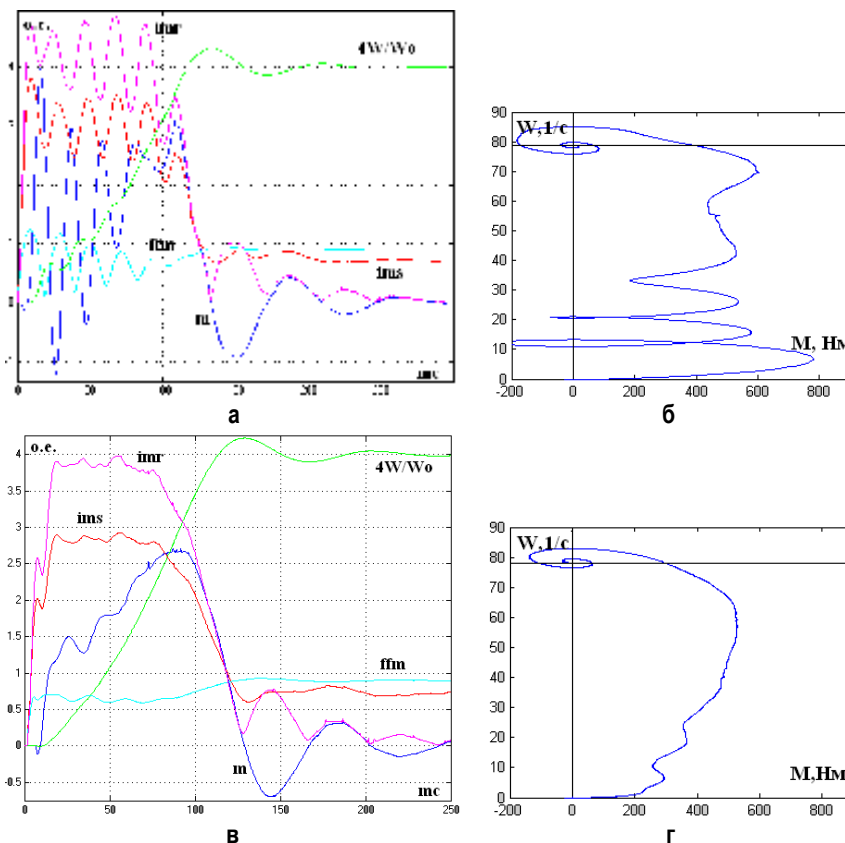


Рис. 2. Переходные процессы пуска на холостом ходу (а, в) и динамические механические характеристики (б, г) двигателя 4A180M8Y3

2. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. Л.: Энергия, 1967.
3. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях. М.: Энергия, 1975.
4. Омелченко Е.Я. Мощность при переходных процессах в трехфазной LR-цепи // Электрика. 2008. № 7.
5. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963.
6. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей. М.: Энергия, 1978.
7. Сарваров А.С., Омелченко Е.Я. Методика расчета потерь в стали при анализе электромагнитных процессов в асинхронных машинах // Изв. вузов. Проблемы энергетики. КГЭУ. 2011. № 1, 2.
8. Омелченко Е.Я. Динамические математические модели асинхронных двигателей: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2010. 194 с.

Bibliography

1. Ilyinskii N.F. Electric drive in the modern world // AEP 2007: Proceedings of V International (XVI All-Russian) conference on an automatic electric drive. St. Petersburg., 2007.
2. Neiman L.P., Demirchan K.S. Theory of electrical engineering. L., «Energy», 1976.
3. Melnikov N.A. Reactive power in electric mains. M., «Energy», 1975.
4. Omelchenko E.Ya. Power in transient processes in a three phase L-R line. Electrica – 2008, #7.
5. Kovach K.P., Pats I. Transient processes in ac machines. M.-L., Gosenergoizdat, 1963.
6. Maevskii O.A. Energy characteristics of valve inverters. M., Energy, 1978.
7. Sarvarov A.S., Omelchenko E.Ya. Calculation procedure of iron losses during the analysis of electromagnetic processes in induction motors // Proceedings of universities. Problems of power engineering. KSEU. 2011. #1.2.
8. Omelchenko E.Ya. Dynamic mathematical models of induction motors: monograph. Magnitogorsk: Publishing house Magnitogorsk. Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov, 2011.

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.013.364

Вохмин С.А., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОРМИРОВАНИЯ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Горными предприятиями, входящими в состав ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», наряду с рудными месторождениями разрабатываются подземным способом и месторождения строительного сырья, продукция которых (ангидрит и известняк) используется в качестве компонентов закладочных смесей.

Рудные месторождения обрабатываются сплошными системами с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, а месторождения строительного сырья – камерно-столбовыми системами с поддержанием выработанного пространства ленточными целиками.

Согласно требованиям ЕПОН [1] горные предприятия обязаны вести учет состояния и движения запасов, потерь и разубоживания полезных ископаемых. При этом применяемые системы разработки, технологические схемы подготовительных и очистных работ должны обеспечивать исключение или сокращение потерь полезного ископаемого. Для чего нормативы потерь и разубоживания полезных ископаемых рассчитываются и устанавливаются с учетом конкретных горно-геологических условий выемочных единиц. В случае изменения горно-геологических условий залегания полезных ископаемых в пределах выемочной единицы или технологии добычных (очистных) работ, а также технико-экономических показателей, учитываемых при нормировании потерь и разубоживания, должны быть своевременно пересмотрены.

Особо отмечено, что для каждой выемочной единицы должен составляться проект на ее отработку, в котором обосновывают извлечение из недр (коэффициент извлечения из недр), разубоживание или изменение качества полезного ископаемого при добыче (коэффициент изменения качества), а также методы определения и учета показателей извлечения полезных ископаемых, обеспечивающие необходимую полноту, достоверность и оперативность установления фактических показателей извлечения.

Показатели извлечения полезных ископаемых при добыче оказывают особое влияние на экономические результаты деятельности горнодобывающих предприятий и результаты освоения месторождений. Потери и разубоживание полезного ископаемого отражают полноту и качество извлечения полезных ископаемых из недр, зависят от технологического уровня ведения горных работ, обоснованности технических решений и применяемых технологий освоения месторождений.

В уровне фактических потерь и разубоживания полезных ископаемых на рудниках комплексно отражаются геологические, технологические, экономические и организационные факторы горного производства.

Авторским коллективом под руководством С.А. Вохмина на протяжении более 20 лет проводятся научно-исследовательские работы на горных предприятиях ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» по общей тематике «Планирование и нормирование показателей извлечения из недр».

На основе проведенных исследований авторами сформулирован общий методический подход нормирования показателей извлечения, который предполагает проведение следующих этапов (рис. 1).

1. Изучение системы разработки, в том числе выделение конструктивных элементов системы, при отработке которых формируются потери и разубоживание; составление перечня эксплуатационных потерь и разубоживания, а также исследование влияния технологических процессов добычи на формирование потерь и разубоживания.

2. Определение исходных данных для расчета нормативов потерь и разубоживания на основе изучения геолого-маркшейдерской документации, технологических параметров системы разработки и результатов экспериментальных работ.

3. Расчет уровней потерь и разубоживания полезного ископаемого производится посредством установления взаимосвязей формирования количественных и качественных потерь, а также определения влияния технических и технологических факторов на их величину.

4. Адаптация расчетных величин потерь и разубоживания полезного ископаемого к технологической схеме отработки запасов, заключающаяся в установлении причин рассогласования в работе системы разработки, вызывающих изменение потерь и разубоживания и нахождение решений, обеспечивающих достижение нормативных уровней извлечения полезного ископаемого из недр без ухудшения технико-экономических показателей отработки запасов.

Для технологических схем подземной отработки месторождений Норильского промышленного района наибольшие потери и разубоживания формируются при отработке запасов в приконтактных зонах вследствие несовпадения контура отработки и поверхности геологического контакта – потери неотбитого

полезного ископаемого по границам контуров залежи и разубоживание вмещающими породами. Данные величины потерь и разубоживания взаимосвязаны друг с другом – при изменении положения контура отработки в приконтактной зоне меняются значения потерь и прирезки вмещающих пород, вследствие чего они влияют на количество извлекаемых балансовых запасов и величину конечной продукции.

В настоящее время основным действующим критерием технико-экономической оценки эффективности технологий добычи и переработки полезных ископаемых является величина прибыли с 1 т погашенных балансовых запасов [2–4].

$$np = C_{\text{б}} K_n I_c - C_{\text{тов}} \frac{K_n}{K_k} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где np – средневзвешенная величина прибыли с 1 т погашенных балансовых запасов полезного ископаемого, руб.; $C_{\text{б}}$ – средневзвешенная ценность полезных компонентов в 1 т погашаемых балансовых запасов, руб.; K_n , K_k – коэффициенты извлечения из недр и изменения качества полезного ископаемого; I_c – сквозной коэффициент извлечения полезных компонентов при переработке руды; $C_{\text{тов}}$ – полная себестоимость добычи, транспортировки и переработки 1 т товарной руды, руб.

Расчет величин потерь и разубоживания сводится к определению по геологическим контактам контура отработки, обеспечивающего максимальную экономическую эффективность отработки запасов по вышеприведенному критерию.

Для условий отработки рудных месторождений, когда ценность полезных компонентов в 1 т погашаемых балансовых запасов зависит от содержания полезных компонентов, а себестоимость от уровня разубоживания вмещающими породами, то явно проявляется экономическая взаимосвязь между потерями руды в массиве и подработкой вмещающих пород. То есть снижение экономического ущерба от подработки пород ведет к увеличению ущерба от потерь руды и наоборот. График изменения величины прибыли имеет экстремум на определенном положении контура отработки запасов в приконтактной зоне, а величины потерь и разубоживания по данному контуру отработки принимаются как нормативные.

Особую сложность при нормировании показателей извлечения из недр представляют месторождения стро-

ительного сырья, таких как, например, гипс, ангидрит и известняк. Качество товарного сырья на подобных месторождениях не влияет на его реализационную стоимость – оно либо устраивает потребителей (при соответствии содержания компонентов), либо нет (если содержание какого-либо компонента не соответствует требованиям).

При этом величина прибыли линейно возрастает по мере прирезки вмещающих пород (рис. 2).

Однако максимум прибыли должен соответствовать контуру отработки по условиям [5–7]:

– содержание полезных компонентов должно быть не менее допустимого:

$$a_{\text{пол}} = \frac{B \varepsilon_{\text{пол}} + B_{\text{и}} c_{\text{пол}}}{B_{\text{и}} + B} \geq a_{\text{доп/пол}}; \quad (2)$$

– содержание вредных примесей не более допустимого уровня:

$$a_{\text{вр}} = \frac{B \varepsilon_{\text{вр}} + B_{\text{и}} c_{\text{вр}}}{B_{\text{и}} + B} \geq a_{\text{доп/вр}}, \quad (3)$$

где $a_{\text{пол}}$ и $a_{\text{вр}}$ – содержание компонента в конечной продукции полезного и вредного соответственно, %; $a_{\text{доп}}$ – допустимое содержание компонента в конечной продукции, %; $\varepsilon_{\text{пол}}$ и $\varepsilon_{\text{вр}}$ – содержание компонента во вмещающих породах полезного и вредного соответственно, %;

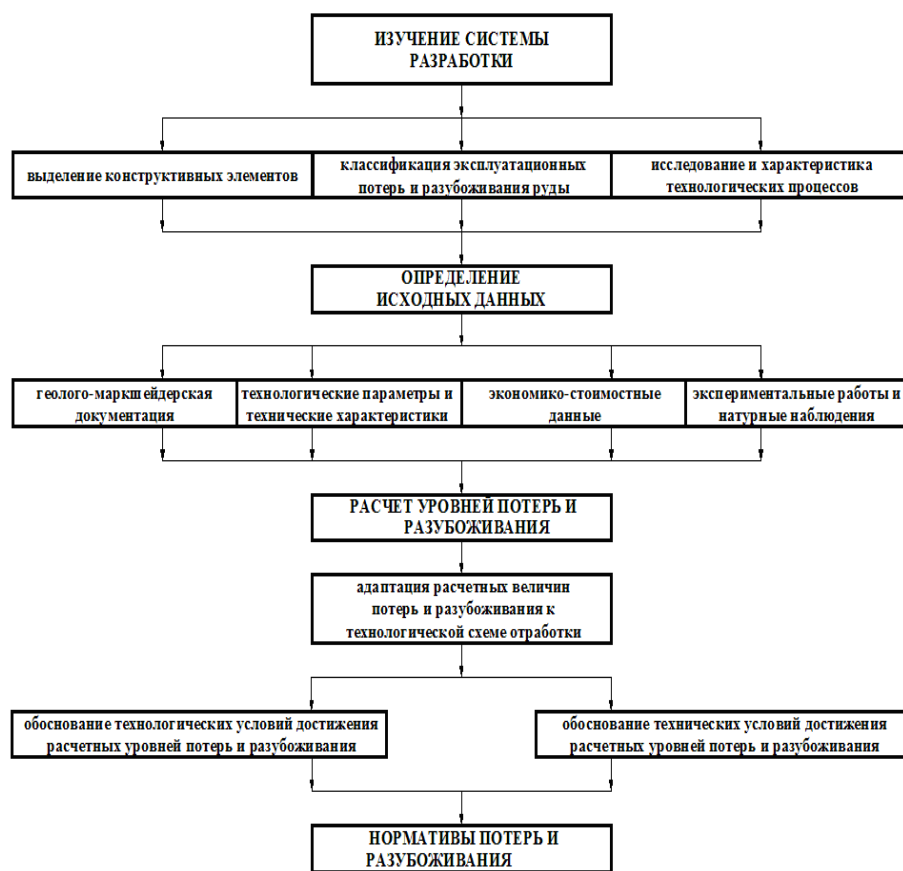


Рис. 1. Структура методики нормирования потерь и разубоживания полезных ископаемых

c – содержание компонента в балансовых запасах, %; B – величина подработанных вмещающих пород, т; B_u – величина извлеченных балансовых запасов, т.

Это позволяет сформулировать систему ограничений – конечную продукцию допустимо разубоживать до максимума при обеспечении требуемого содержания в ней вредных примесей и полезных компонентов. При несоблюдении этих требований товарное сырье теряет потребительскую ценность и вся партия становится неликвидной.

При этом величина потерь неотбитого полезного ископаемого в приконтактной зоне не влияет на экономическую эффективность отработки запасов. То есть расчет эффективности отработки запасов в приконтактной зоне производится по величине предельно допустимого разубоживания полезного ископаемого за счет прирезки вмещающих пород.

Авторами аналитическим путем обоснован коэффициент оптимального содержания компонентов в конечной продукции χ , который для данных месторождений позволяет определять контур отработки запасов при обеспечении допустимого содержания регламентированных компонентов в конечной продукции $a_{доп}$.

При этом численно величина этого коэффициента соответствует значению предельного истинного объемного разубоживания по выражению [5–7]

$$\chi = \frac{c - a_{доп}}{c - \epsilon} \quad (4)$$

Технологически данный коэффициент определяется соотношением площади прихвата примешивающих пород к площади поперечного сечения выработки.

$$\chi = \frac{S_n}{S_{\epsilon}} \quad (5)$$

где S_n – площадь прихвата примешивающих пород на оптимальном контуре отработки, м²; S_{ϵ} – площадь поперечного сечения выработки (нарезной или очистной), м².

Отсюда, при известных параметрах выработки (S_{ϵ} , м²) и значении коэффициента χ , рассчитываются величина подработки вмещающих пород (S_n , м²) и численное значение положения оптимального контура отработки (h_{opt} , м) в приконтактной зоне:

$$S_n = S_{\epsilon} \chi; \quad (6)$$

$$h_{opt} = \sqrt{2S_{\epsilon}\chi \operatorname{tg} \alpha}, \quad (7)$$

где α – угол падения пласта, град.

Величина потерь неотбитого полезного ископаемого определяется прямым расчетом в соответствии с положением рационального контура отработки в приконтактной зоне.

Рассмотрим нормирование потерь и разубоживания полезного ископаемого в условиях подземной добычи известняка Каларгонского месторождения на руднике «Известняков» ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» [8]. Пласты имеют достаточно выдержанную среднюю мощность ~6,2 м и углы наклона контактов 5–7°. Обработка месторождения производится камерно-столбовой системой разработки (рис. 3 и 4).

Расчет показателей извлечения предусматривает нахождение оптимального контура отработки в приконтактной зоне на условия:

- при проходке нарезной выработки – на фиксированные конструктивные параметры выработки (ширина, высота, площадь поперечного сечения выработки);
- при оформлении очистной выработки – на фиксированную величину балансовых запасов, погашаемых очистной выработкой.

Расчетные формулы приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведен перечень мест и источников эксплуатационных потерь и разубоживания при отработке камерных запасов полезного ископаемого.

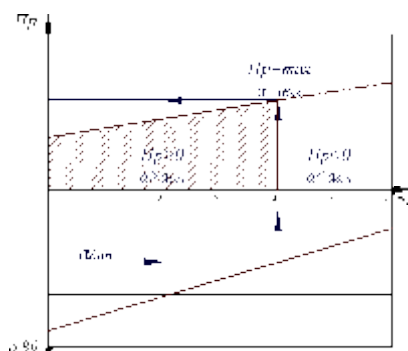


Рис. 2. Зависимость величины прибыли по контурам отработки

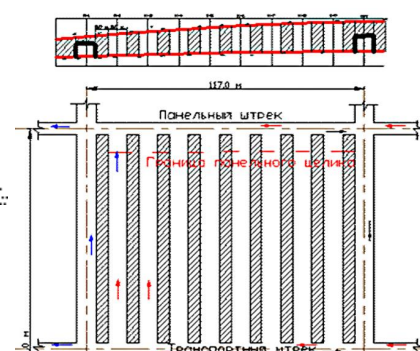


Рис. 3. Камерно-столбовая система разработки на руднике «Известняков»

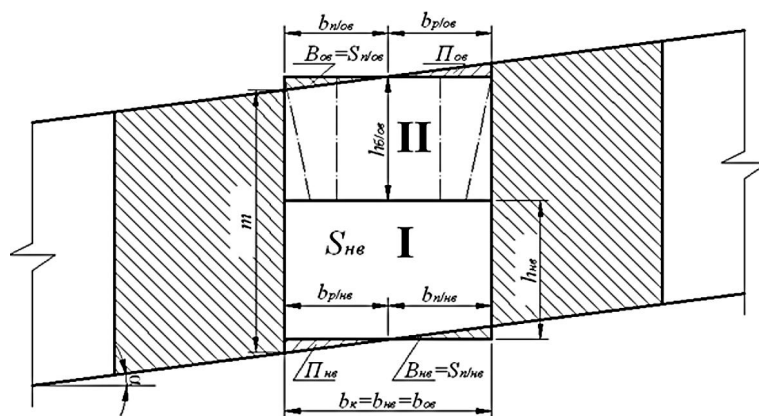


Рис. 4. Схема отработки запасов камеры на руднике «Известняков» с расположением нарезной выработки по почве залежи:

I, II – стадии отработки запасов камеры: I – нарезные работы; II – очистные работы; Пнв, Внв, Пов, Вов – потери полезного компонента в массиве и подработка вмещающих пород соответственно при отработке нарезной и очистной выработок

Таблица 1

Расчет показателей извлечения из недр при нарезных и очистных работах (на выработки одной камеры)

Наименование	Расчетная формула	
	Нарезная выработка	Очистная выработка
Подработка пород при проходке выработки, т	$B_{н/нв} = b_{нв} \cdot h_{нв} \cdot \chi_{нв} \cdot L_{нв} \cdot \gamma_n$	$B_{ов} = \frac{b_{п/ов}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} \cdot L_{ов} \cdot \gamma_n$
Потери в массиве при проходке выработки, т	$\Pi_{н/нв} = \left(S_{нв} \cdot \chi_{нв} + \frac{b_{нв}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{2} - b_{нв} \sqrt{2 \chi_{нв} S_{нв} \operatorname{tg} \alpha} \right) L_{нв} \cdot \gamma_{ни}$	$\Pi_{ов} = \frac{b_{п/ов}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} \cdot L_{ов} \cdot \gamma_{ни}$
Примечания. $b_{п/ов}$ – горизонтальная длина породы на оптимальном контуре отработки по ширине очистной выработки, м; $b_{нв}$ – горизонтальная длина участка полезного ископаемого по ширине выработки, м; γ_n – объемная плотность вмещающих пород породы, т/м³; $\gamma_{ни}$ – объемная плотность полезного ископаемого, т/м³.		

Таблица 2

Перечень мест и источников эксплуатационных потерь и разубоживания

Наименование мест потерь (П) и источников разубоживания (В)	Условные обозначения	Стадия очистных работ	
		Нарезные работы	Очистные работы
Потери полезного ископаемого			
Потери в массиве (в неотбитом виде)			
На контактах с породой при отбойке	Пн	Пн/нв	Пн/ов
Потери в отбитом виде			
На почве нарезной выработки после ее зачистки	По	По/нв	—
Разубоживание			
Первичное разубоживание породой			
На контактах с полезным ископаемым при отбойке	Вп	Вп/нв	Вп/ов

$$b_{н/ов} = (2\chi b_{ов} \cdot \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{4\chi b_{ов} \operatorname{tg} \alpha (\chi b_{ов} \operatorname{tg} \alpha + 2h_{б/ов} - b_{ов} \operatorname{tg} \alpha)}) \times \quad (8)$$

$$\times \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha};$$

$$\left\{ \begin{aligned} b_{п/ов} &= (2b \operatorname{tg} \alpha - 2\chi b_{ов} \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{4\chi b_{ов} \operatorname{tg} \alpha (\chi b_{ов} \operatorname{tg} \alpha + 2h_{б/ов} - b_{ов} \operatorname{tg} \alpha)}) \times \\ &\times \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha}; \\ b_{п/ов} &\geq 0. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Использование коэффициента оптимального содержания компонентов в конечной продукции χ позволило создать программное обеспечение расчета показателей извлечения при добыче. Данное программное обеспечение внедрено на руднике «Известняков» ЗФ ОАО «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» в 2009 г.

Выводы:

1. В результате проведенных исследований авто-

рами разработаны методические основы нормирования и планирования потерь и разубоживания на предприятиях, обрабатывающих месторождения строительного сырья подземным способом.

2. Выявлено принципиальное различие в подходах к нормированию потерь и разубоживания на рудных и нерудных месторождениях полезных ископаемых, заключающееся в том, что для месторождений строительного сырья расчет эффективности отработки запасов в приконтактной зоне производится по величине предельно допустимого разубоживания полезного ископаемого.

3. Обоснован коэффициент оптимального содержания компонентов в конечной продукции χ , который для данных месторождений позволяет определять контур отработки запасов при обеспечении допустимого содержания регламентируемых компонентов в конечной продукции $a_{доп}$.

4. Создана программа для ПК для расчета нормативов потерь и разубоживания при подземной добыче нерудного строительного сырья камерно-столбовой системой разработки. Данная программа внедрена на предприятиях ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель».

Список литературы

1. Единые правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / Госгортехнадзор СССР. М.: Недра, 1987. 60 с.
2. Технико-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр / под общ. ред. М.И. Агошкова. М.: Недра, 1974. 312 с.
3. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания руды и песков на рудниках и приисках Министерства цветной металлургии СССР. М., 1975. 127 с.
4. Временные методические рекомендации по подготовке и рассмотрению материалов, связанных с расчетом нормативов потерь твердых полезных ископаемых при добыче технологически связанных с принятой системой и технологией разработки месторождений и порядком уточнения нормативов при подготовке годовых планов развития горных работ: распоряжение МПР РФ от 05.02.2003 г. № 42-р.
5. Методический подход к определению нормативных величин показателей извлечения нерудного сырья / С.А. Вохмин, Ю.П. Требуш, В.Л. Ермолаев, Е.Г. Малиновский, Г.С. Курчин // Маркшейдерия и недропользование. 2009. № 6.
6. Расчет показателей извлечения при отработке приконтактных зон месторождений нерудного сырья / С.А. Вохмин, Н.Х. Загиров, Г.С. Курчин, Ю.П. Требуш // Маркшейдерия и недропользование. № 2. М., 2010.
7. Методические основы нормирования показателей извлечения из недр при отработке рудных и нерудных месторождений подземным способом / С.А. Вохмин, Н.Х. Загиров, Ю.П. Требуш, Г.С. Курчин // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 2.
8. Регламент технологических производственных процессов по применению камерно-столбовой системы разработки с ленточными междуканальными целиками и использованием самоходного оборудования на руднике «Известняков» рудника «Кайерканский» рудоуправления «Норильск-1» ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». Норильск, 2006. 30 с.

УДК 622.271

Тарасенко Е.А., Кисляков В.Е.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВАЛУНИСТЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Одним из важнейших источников полезных ископаемых были и остаются в настоящий момент россыпные месторождения, положительными моментами при отработке которых являются простота технологических схем и сравнительно небольшие затраты на извлечение ценного компонента (в сравнении с рудными месторождениями).

В настоящий момент большинство разведанных россыпей с простыми горно-геологическими условиями отработаны. Однако на значительной части месторождений имеются не отработанные участки с большим содержанием валунов из-за отсутствия эффективных и доступных технологических решений, позволяющих вести их разработку.

Помимо дероверных технологических схем на сегодняшний день нет эффективных технологий, позволяющих вести работу в условиях валунистых россыпей. В Красноярском крае около 350 разведанных россыпных месторождений, из них 23% – валунистые, следовательно, проблема разработки валунистых россыпей является актуальной и требует новых технических и технологических решений.

Ниже предложены три технологических схемы отработки валунистых россыпей.

1. Комбинированная бульдозерно-скреперная технологическая схема с применением сегрегации песков на откосе

Схема представлена на рис. 1 и 2.

Работа по схеме осуществляется следующим образом. Первоначально производят вскрытие месторождения любым из существующих способов. Затем в нижней части откоса песков предварительно выработанного пространства в плотике вдоль фронта работ проходят траншею 1 (см. рис. 1). Техническое решение данного способа заключается в послойном перемещении и сбросе песков 2 с откоса 3 добычного уступа бульдозером 4 и сегрегации их на откосе 3. Валуну 5, имеющие большую крупность и окатанность, скатываются в траншею, а пески задерживаются на откосе добычного уступа. С учетом этого угол откоса добычного уступа формируют с возможностью устойчивого размещения песков и неустойчивого для валунов (10–15 град).

Если откос добычного уступа сформировать более крутым, то пески и валуны будут скатываться по откосу в

траншею, поэтому смысл данного способа будет утерян. Если откос добычного уступа сформировать более пологим, то пески и валуны будут задерживаться на нем.

Траншею, примыкающую к добычному уступу, выполняют по вогнутой дуге с выполаживанием в нижней части, так как эта форма откоса обеспечивает наибольшую кинетическую энергию скатывающихся валунов и их вынос на большее расстояние от нижней кромки, примыкающей к добычному уступу траншеи. Последнее обеспечивает свободный доступ для отработки нижних горизонтов россыпи. После складирования определенного объема песков на откосе добычного уступа в нижней части откоса закрепляют блок 6 (см. рис. 2), а на верхней площадке этого уступа устанавливают скреперную установку 7. Затем производят скреперование песков на приемную площадку канатного скрепера, с последующим транспортированием к обогательному оборудованию. По мере отработки песков на добычном блоке скреперная установка передвигается вдоль откоса песков [1].

Данную технологическую схему эффективно применять на малообводненных или предварительно осушенных россыпях с низким содержанием глины. Внедрение этой схемы в производство поможет предпринять снизить текущие затраты, связанные с классификацией пород по крупности.

2. Технологическая схема отработки валунистой россыпи бульдозером в комплексе с гидромонитором с дистанционным управлением

Схема представлена на рис. 3.

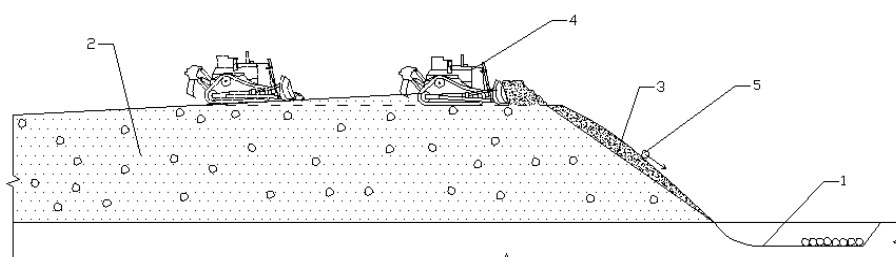


Рис. 1. Схема послойного первичного перемещения песков бульдозером к откосу добычного уступа

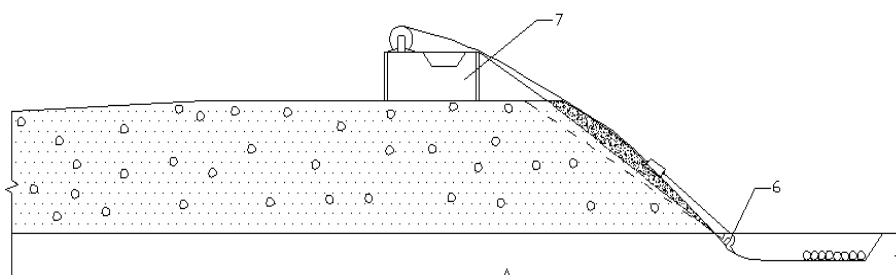


Рис. 2. Схема вторичного перемещения песков скреперным агрегатом

Месторождение разбивается на участки шириной 60–120 м (рациональное расстояние транспортирования песков бульдозерами). Вскрышу транспортируют на борт разреза и (или) в выработанное пространство. При расположении вскрыши в выработанном пространстве необходимо учитывать безопасное расстояние до гидромонитора, зависящее от высоты отвала и пород, слагающих его.

Объем подготовительных работ зависит от выбранной системы разработки.

1. При продольных системах разработки после вскрышных работ вдоль одного борта добычного блока за границей балансовых запасов проходят траншею глубиной, равной мощности отрабатываемых песков. Ширина траншеи зависит от параметров технологической площадки, необходимой для размещения гидромонитора с дистанционным управлением и колосникового грохота. Траншею необходимо постоянно удлинять на величину добычного блока.

2. При поперечных системах разработки траншею проходят на ширину россыпи. Удлинение ее не требуется, так как в дальнейшем гидромонитор и колосниковый грохот располагаются в выработанном пространстве, которое образуется при продвижении добычного фронта.

Для выполнения добычных работ необходимо первоначально установить в торец добычного уступа передвижной колосниковый грохот специальной конструкции. Грохот состоит из колосниковой решетки 1 (см. рис. 3), гидроцилиндров 2, осуществляющих подъем колосниковой решетки для разгрузки от скопившихся валунов и регулирования угла наклона грохота относительно горизонтальной поверхности, упора 3, приемного бункера 4 для подрешетного продукта, грунтового насоса 5. Угол наклона грохота составляет порядка 10–15 град и зависит от окатанности валунов. Гидромонитор устанавливают на ровной платформе с возможностью регулирования его высоты перед колосниковым грохотом, салазки платформы укрепляют.

После окончания всех подготовительных работ, приведенных выше, пески послойно подаются на грохот с помощью бульдозера, где осуществляется их размыв. Когда высота уступа достигает высоты грохота, доработка его осуществляется с постепенным формированием бульдозером временного целика (пандуса) по мере углубления работ.

После классификации песков на грохоте надрешетный продукт (валуны) перемещается по колосникам в выработанное пространство, а подрешетный (песчано-гравийная смесь) – транспортируется на обогащение. Если месторождение имеет достаточный уклон, позво-

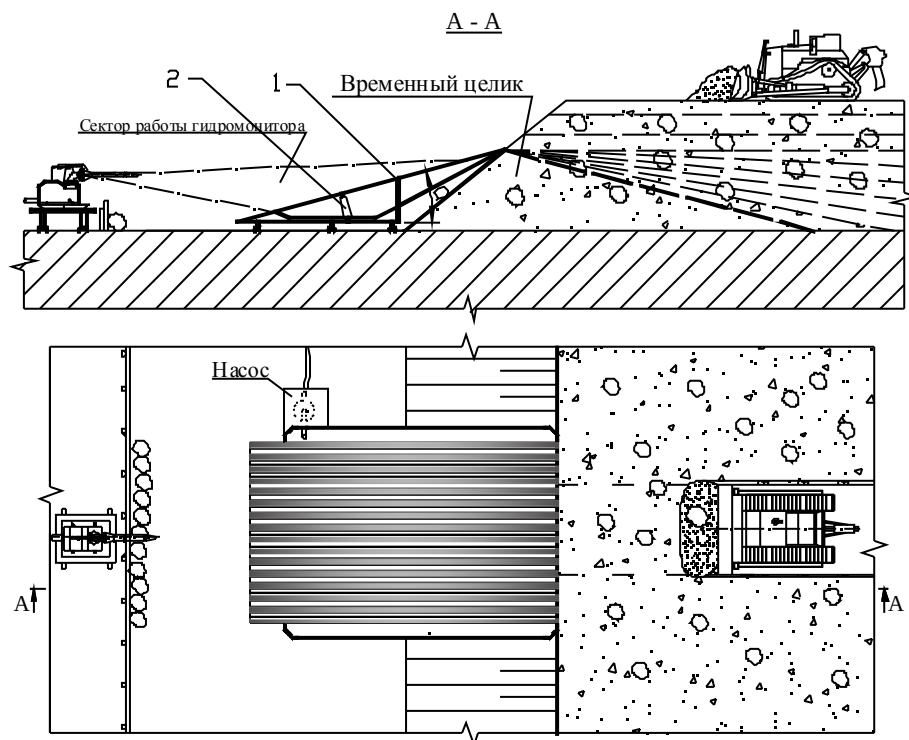


Рис. 3. Технологическая схема отработки валунистой россыпи бульдозером в комплексе с гидромонитором с дистанционным управлением

ляющий осуществить безнапорное транспортирование пульпы на обогащение, грунтовый насос можно не использовать.

В целях безопасного ведения работ угол поворота гидромонитора в горизонтальной плоскости ограничивается шириной колосникового грохота, а верхняя точка размыва ограничивается верхним краем грохота.

По мере накопления валунов в забое с помощью бульдозера осуществляется их перемещение за пределы забоя гидромонитора. Оработка пандуса производится бульдозером продольными заездами.

Достоинством данной схемы является наилучший размыв глинистых песков [2].

Приведенная технологическая схема применима для разработки террасовых, увальных, верховых россыпей с ограниченным притоком подземных и поверхностных вод, имеющих ширину 50–100 м и содержащих глинистые частицы в песках до 10–15%.

Достоинства данной схемы особенно явны при отработке глинисто-валунистых россыпей. Но содержание глины не должно превышать 10–15%. Если данное условие не будет выполнено, то неразмытые глинистые пески на валунах приведут к потерям ценного компонента.

3. Технологическая схема бульдозерной разработки валунистых россыпей в комплексе с земснарядом

Схема представлена на рис. 4.

Работа по данной технологической схеме осуществляется в следующей последовательности.

После проведения вскрышных работ месторождение разбивается на блоки, длина которых составляет

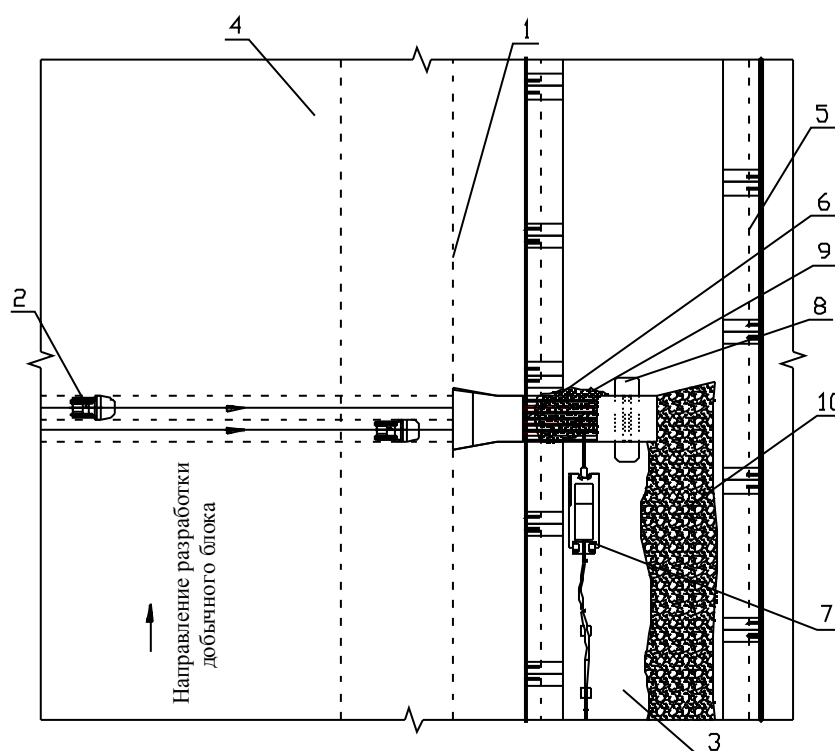


Рис. 4. Технологическая схема бульдозерной разработки валунистой россыпи в комплексе с земснарядом

от 200 до 250 м, а ширина равна ширине разрабатываемой россыпи. Вдоль одного борта добычного блока за контуром балансовых запасов с помощью бульдозерного оборудования в виде траншеи проходят приемный зумпф (см. рис. 4), глубина которой равна мощности обрабатываемых песков.

Длину траншеи принимают исходя из необходимой годовой производительности по промывке песков (но не больше длины обрабатываемого блока) с учетом содержания валунов в песках. Затем траншею заполняют водой и производят монтаж вибрационного грохота и выемочного плавучего оборудования, например землесосного снаряда небольшой производительности (например, МЗ-10).

Понтон грохота условно делит траншею на две части. Первая часть траншеи расположена со стороны подачи песков и предназначена для складирования подрешетного продукта, а вторая часть траншеи – для

валунов.

После окончания всех подготовительных работ, приведенных выше, с помощью бульдозерного агрегата производят обработку добычного блока. При сбросе песков с валунами с пандуса на вибрационный грохот последние под действием возвратно-поступательных движений вибрационного грохота скатываются во вторую часть траншеи, а пески проваливаются в первую часть. Для предотвращения смешивания в траншее подрешетного продукта с надрешетным на грохоте предусмотрен отбойник, направляющий мелкую фракцию в первую часть траншеи.

По мере заполнения песком первой части траншеи землесосного снаряда производят вторичную выемку песков и их транспортирование по пульпопроводу к обогащающему оборудованию.

По мере заполнения второй части траншеи валунами вибрационный грохот перемещают вдоль траншеи. Для облегчения перемещения вибрационный грохот монти-

руют на салазках.

Применение этой технологической схемы позволит снизить затраты, связанные с перемещением валунов в отвал (разваловка), а также затраты, связанные с классификацией пород. Применение этой схемы возможно при содержании валунов не более 10–15% и незначительном содержании глинистых частиц в песках россыпи.

Таким образом, представленные технологические схемы обеспечат повышение эффективности разрабатываемых высоковалунистых россыпных месторождений.

Список литературы

1. Пат. 237446 РФ. Способ разработки валунистых россыпных месторождений полезных ископаемых / В.Е. Кисляков, Е.А. Тарасенко, А.Д. Браузмэн, А.А. Конник. Оpubл. 27.11.2009. Бюл. № 30.
2. Шорохов С. М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений: учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1973. 768 с.: ил.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

УДК 622.22; 628.113

Добровольский А.И., Феофанов Г.Л., Жуков А.Л.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ ОЧИСТНОГО ФРОНТА НА УРГАЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

В настоящее время шахта «Северная» ОАО «Ургалуголь» является самой обводненной шахтой на Дальнем Востоке России. Высокие водоприток в шахту определяются ведением горных работ на небольших глубинах (до горизонта +200 м), на которых происходила подработка приповерхностного водоносного горизонта, а также близостью шахтного поля к долинам рек. В этих условиях постоянное наращивание объемов производства приводит к увеличению водопритока в горные выработки. Так, увеличение объемов добычи в 4 раза (с 576 тыс. т в 2005 г. до 2294 тыс. т в 2009 г.) повлекло увеличение среднегодового водопритока в 2,8 раза (с 192 тыс. м³/ч в 2005 г. до 533 тыс. м³/ч в 2009 г.) (рис. 1).

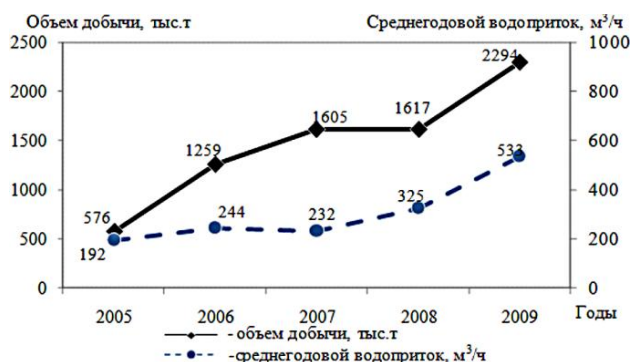


Рис. 1. Объем добычи угля и среднегодовой водоприток на шахте «Северная» ОАО «Ургалуголь»

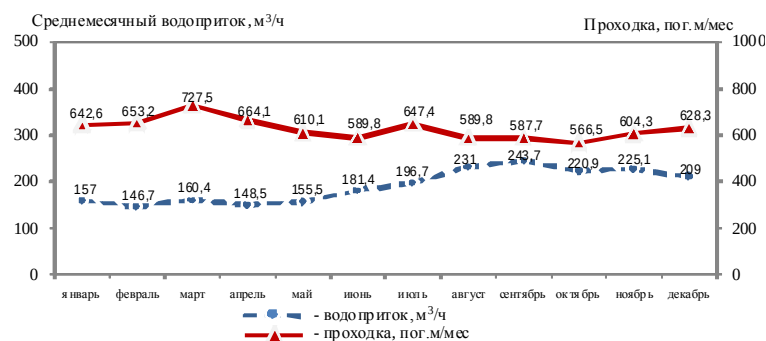


Рис. 2. Динамика среднемесячного водопритока и среднемесячной проходки за период 2000–2009 гг. (Шахта «Северная» ОАО «Ургалуголь»)

Увеличение объемов добычи предопределяет необходимость наращивания темпа подготовки очистного фронта, сдерживающим фактором которого является постоянное увеличение водопритока.

Анализ работы шахты «Северная» показал, что увеличение водопритока приводит к усложнению технологических условий, что уменьшает объем проведения горных выработок. Так, увеличение водопритока на 30–40% вызвало уменьшение объема проведения горных выработок на 20–30% (рис. 2).

Период максимального водопритока в шахту связан с осадками. Реки и ручьи при отработке Ургальского месторождения служат естественными коллекторами для сброса откачиваемых вод. В то же время наиболее крупные водотоки являются важным источником формирования водопритоков в подземные горные выработки. Сумма осадков за год в среднем составляет около 620 мм. При этом минимум осадков наблюдается в период с ноября по март месяцы (рис. 3).

Поток подземных вод на шахтных полях формируется за счет инфильтрации атмосферных осадков. По площади очистных горных работ среднегодовая интенсивность инфильтрации достигает $2 \cdot 10^{-2}$ м/сут. В паводковый период интенсивность инфильтрации увеличивается, о чем свидетельствуют сезонные повышения подземных вод и повышение водопритоков в горные выработки шахт «Северная» и «Ургал» (рис. 4).

Разгрузка подземных вод при сформировавшемся техногенном режиме происходит по долинам близлежащих рек и ручьев, а также в горные выработки шахты. На отдельных участках рек произошла трансформация граничных условий — эти участки при дренировании водоносного комплекса характеризуются как границы питания подземных потоков, разгружающихся в подземных горных выработках.

Эти обстоятельства потребовали на шахте «Северная» создания поверхностного комплекса осушения путем оконтуривания запасов, вовлекаемых в отработку (рис. 5). При строительстве поверхностного комплекса осушения на данном предприятии было затрачено более 100 млн руб. Это позволило уменьшить водоприток на 500 м³/ч. Затраты на строительство насос-

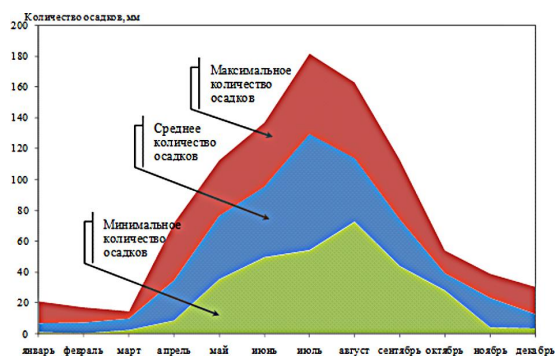


Рис. 3. Распределение среднемесячных осадков в течение года по метеостанции «Чегдомын» (2000–2009 гг.)

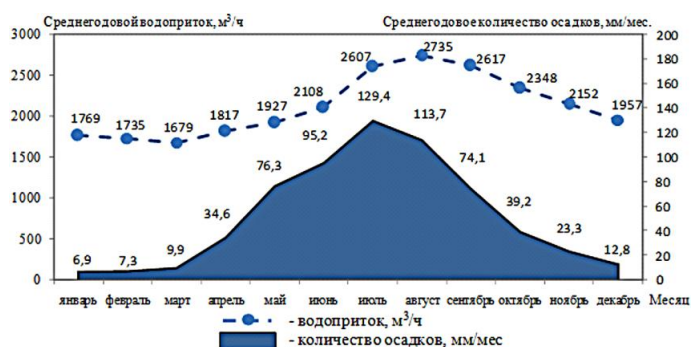


Рис. 4. Среднегодовое количество осадков и среднегодовой водопиток на шахтах «Северная» и «Ургал» ОАО «Ургалуголь» (2000–2009 гг.)

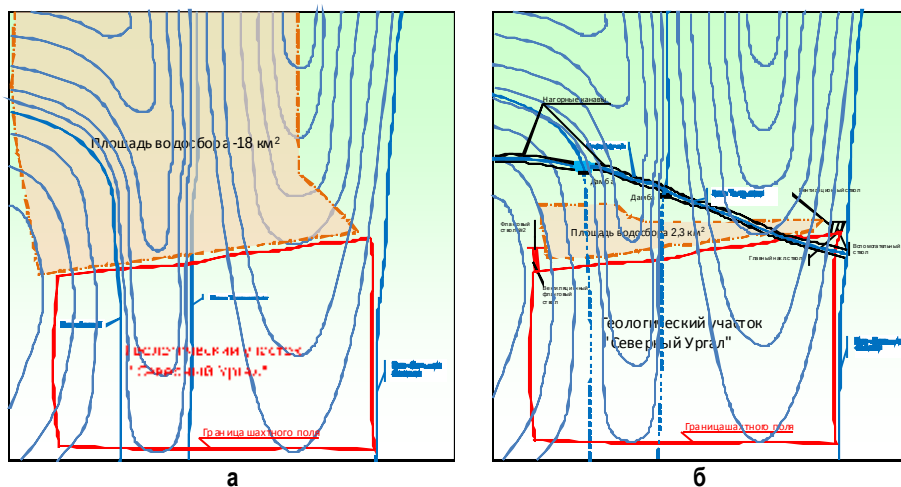


Рис. 5. Схема водосбора поля шахты «Северная» ОАО «Ургалуголь»:

а – до проведения комплекса мероприятий по осушению;
б – после проведения комплекса мероприятий по осушению

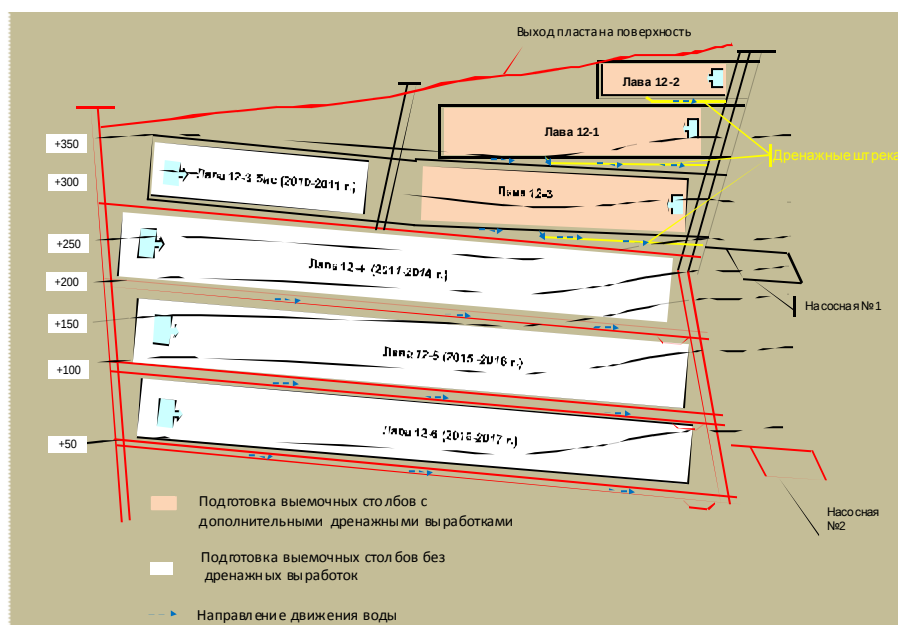


Рис. 6. Схема вскрытия пл. В-12 наклонными стволами с отработкой длинными столбами по простиранию (шахта «Северная» ОАО «Ургалуголь»)

ной по откачке такого объема воды составляют приблизительно 250 млн руб., а ежегодные эксплуатационные расходы – 30 млн руб./год.

При выборе технологической схемы очистных и подготовительных работ на шахте в качестве основного учитывался фактор высокой обводненности. Выемочные столбы длиной 2–4 км при этом были расположены по простиранию, с углом 1–10°. Это позволило пропускать всю воду с отработанного пространства по технологическим выработкам (конвейерные, вентиляционные штреки) на основные горизонты и насосные без проведения дополнительных дренажных выработок и строительства промежуточных насосных (рис. 6). Применение данного подхода на шахте «Северная» позволило сократить объем проведения горных выработок и снизить затраты на подготовку очистного фронта на 15–20% (см. таблицу).

Анализ работы шахты показал, что для своевременной подготовки очистного фронта путем увеличения темпа проходческих работ должны быть реализованы следующие технологические решения:

1. Оконтуривание шахтного поля путем строительства поверхностного комплекса осушения и водоотведения.

Показатели подготовки и отработки лав на шахте «Северная»

Номер очистного забоя	Запасы очистного забоя, тыс.т	Объёмы проведения горных выработок					Удельная проходка, пог. м / 1000 т	Уд. затраты на проведение горных выработок, тыс.руб./1000 т
		Вскрывающие и подготавливающие		Дренажные выработки		Всего		
		пог. м	%	пог. м	%	пог. м		
12/2	550	3987	74,8	1342	25,2	5329	9,7	109,4
12/2 бис	191	2323	100,0	–	–	2323	12,1	209,3
12/1	1220	4459	76,1	1400	23,9	5859	4,8	74,5
12/1 бис	822	3555	83,2	720	16,8	4275	5,2	94,6
12/3	1150	5230	79,8	1320	20,2	6550	5,7	97,7
12/4	3490	14315	100,0	–	–	14315	4,1	91,7

2. Проведение уклонов и вскрывающих горных выработок в период минимальных водопритоков.

3. Расположение выемочных столбов по простира-нию пластов с уклоном 1–10° для пропуска воды по технологическим штрекам.

Реализация перечисленных решений позволяет по-

вышать интенсивность отработки, темп проведения подготовительных работ и сокращать эксплуатацион-ные затраты. Своевременная подготовка очистного фронта способствует повышению эффективности ис-пользования вложенных средств и работы предприятия в целом.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.046.46

Вусихис А.С., Леонтьев Л.И., Кудинов Д.З., Шешуков О.Ю.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ СИДЕРИТОВЫХ РУД*

1. Обогащение сидеритов

В настоящее время единственный реализованный способ переработки сидеритовых руд – доменная плавка. Месторождения сидеритовых руд, применяемых для производства чугуна, имеются по всему миру. Сидериты используют в ряде стран Европы, таких как Чехия, Словакия, Польша, и Америки – это США, Канада и др. [1].

Перед введением в шихту доменной плавки сидериты обогащают. Один из методов – гравитационное обогащение. Например: на горно-обогатительном предприятии Эрцберг (Австрия) фракцию 6–2 мм обогащают в гидроциклонах с тяжелой суспензией, а мелочь крупностью 2–0 мм – на винтовых сепараторах [2]. На предприятии Демир Хисар (Македония) применяют обогащение в тяжелых средах руды крупностью 100–3 мм [3].

Другой из методов подготовки сидеритов для доменной плавки – обжиг-магнитное обогащение. Данный метод предусматривает окислительный обжиг в шахтных и вращающихся печах с последующей магнитной сепарацией. Метод имеет широкое применение и используется в ряде стран Европы [4–7]. Например: на металлургических заводах Тршинец (Чехия) и Рудняны (Словакия), фабрике месторождения Рудобанья (Венгрия) [4], месторождения Нижняя Слана [5] данным методом из исходной руды, содержащей около 30% железа, получен концентрат с содержанием железа порядка 50%.

На горно-металлургическом предприятии Сабинув (Польша) сидеритовую руду Клобуцко-Ченстоховского месторождения обогащают по комбинированной обжиг-магнитно-гравитационной схеме [1].

На Бакальском месторождении в ОАО «Бакальские рудники» используется метод, разработанный в 1960-х годах Челябинским научно-исследовательским институтом металлургии [6–8]. Метод заключается в том, что руда крупностью 60–10 мм обжигается в шахтных печах в течение 8–9 ч, в том числе более двух часов в зоне обжига при температуре 900°C. Средняя скорость об-

жига – 0,18 т/м³·ч. Обоженную руду рассеивают на классы 60–8 и 8–0 мм. Класс 60–8 мм подвергается сухой магнитной сепарации. Концентрат магнитной сепарации содержит 49–50% железа при извлечении его около 75%. Сырой сидерит крупностью (10–0 мм) и обожженный сидерит крупностью (8–0 мм) подвергают агломерации. Шихта для агломерации состоит из 67,7% мелочи сидерита, 24,8% мелочи бурого железняка, 5,3% высевов обожженного сидерита. Химический состав исходного сидерита и обожженного концентрата представлен в таблице [9].

2. Использование бакальских сидеритов в доменной плавке

Одно из основных условий высокой эффективности доменной плавки – выбор оптимального шлакового режима. К конечным доменным шлакам, образующимся при выплавке передельного чугуна, предъявляются следующие требования: шлаки должны обладать низкой вязкостью в горне и на выпусках (<3–3,5 пуаз (1500°C) и <5 пуаз соответственно); легкоплавкостью (температура перехода в жидкоподвижное состояние 1300–1350°C); низкой температурой начала кристаллизации (<1500°C) [10].

Важнейшими характеристиками конечных доменных шлаков является их легкоплавкость и устойчивость. Понятие «устойчивость шлака» введено В.Е. Васильевым [11]. Его сущность заключается в том, что при колебаниях химического состава железорудной шихты и кокса, нарушениях базового технологического режима и других условий ведения плавки физические свойства устойчивых шлаков, такие как вязкость и температура кристаллизации, меняются незначительно, без резких скачков.

Исследование свойств высокомагнезиальных доменных шлаков, проведенные авторами [12–17], показали, что наиболее устойчивы по физико-химическим свойствам шлаки с содержанием MgO ~ 10–15% при основности (CaO/SiO₂) = 0,8–1,0. Данный состав шла-

Химический состав исходного сидерита и концентрата обжиг-магнитного обогащения

Материал	Содержание, %								
	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	S	п.п.п.
Руда	30,56	35,64	3,46	7,59	3,62	10,0	1,06	0,135	32,54
Концентрат	49,64	0,50	70,43	5,70	2,50	14,41	1,77	0,122	2,14

* Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта «Создание новых материалов – металлизированного концентрата и магнезиальных шлаковых смесей путем переработки минерального сырья, содержащего карбонаты железа и магния для применения в сталеплавленном производстве», выполняемого в рамках программы ОХНМ-5 РАН «Создание новых видов продукции из минерального и органического сырья», НШ-5253-2010.3 «Физико-химические основы пирометаллургических процессов переработки комплексных руд и техногенных отходов».

ка является оптимальным при ведении доменной плавки на бакальских сидеритах. Увеличение концентрации MgO до 15–20% при той же основности не должно вызывать больших затруднений в ходе плавки. Такие шлаки кристаллизуются при температурах ниже $1350^{\circ}C$ и имеют низкую вязкость. При основности выше 1,0 увеличение содержания MgO в шлаках до 15% и более приводит к повышению температуры их кристаллизации. Шлаки становятся «короткими», что ухудшает условия доменной плавки. По обессеривающей способности высокомагнезиальные шлаки не уступают обычным маломагнезиальным.

В шихте доменных печей используют сырой сидерит, обожженный в шахтной печи концентрат и агломерат с различной долей сидеритовой мелочи в агломерационной шихте.

Как видно из таблицы, после полного восстановления железа в концентрате в остающейся оксидной фазе содержание оксида магния превышает 50%.

Высокое содержание оксида магния в руде не позволяет вести плавку на моношихте. Сидериты могут использоваться только в качестве добавки, величина которой зависит от основности основной шихты и содержания в ней оксидов магния и алюминия. Эффективность такой смеси будет тем выше, чем больше в последних оксида кремния. В этом случае оксид магния будет являться флюсующим компонентом, заменяющим часть оксида кальция.

Подбор шихты осуществляется таким образом, чтобы конечные доменные шлаки имели основность 0,8–1,0, содержание оксида магния 10–15%, а оксида алюминия – 10–13%. Данный состав является вполне допустимым для работы печей большого объема [18].

Анализ работы различных доменных печей на магнезиальных шлаках [19] показал следующее.

Все доменные печи Европы работают на магнезиально-глиноземистых шлаках, содержащих 5,3–17,1% MgO , 8–12% Al_2O_3 при основности 0,96–1,18.

В СССР и странах СНГ в разные годы сидериты использовались в доменных печах ОХМК, ЧМК, НТМК и других заводов.

На Ашинском и Саткинском металлургическом заводах отработана технология доменной плавки бурых железняков с использованием обожженных сидеритов в шихте и шлаковым режимом доменных печей с высоким содержанием оксида магния (до 18%) [20–22]. Был сделан вывод о том, что оптимальное содержание сидеритов в шихте 50–55%. В этом случае отмечалась хорошая работа печей, шлаки были достаточно текучи [22]. Изучение свойств этих шлаков [23] показало, что на их физические свойства благоприятно влияет наличие 1,5–2,0% закиси марганца, присутствующей в сидеритах.

При плавке в доменной печи большего объема ($1710 м^3$) Челябинского металлургического комбината с использованием руды Соколовско-сарбайского месторождения возможна замена части ее сидеритами (до 15%). Руда имеет повышенное содержание глинозема и пониженное закиси марганца, поэтому максимально возможное содержание магнезии в шлаке 13,5% при его основности 0,9–1,0 [24,25].

В 1995 г. на НТМК проведены опытные плавки, в которых при выплавке передельного чугуна (доменная печь № 1) в шихте использовались обожженные сидериты (до 200 кг/т чугуна) вместо окатышей [19]. Содержание оксида магния в шлаке увеличилось с 9,0 до 11,5% без существенного изменения расхода кокса (с 492,9 до 493,5 кг/т чугуна).

С 1973 г. сырой сидерит в небольших количествах использовался в доменных плавках ОХМК [19] при незначительном повышении содержания MgO в шлаке (с 4,5 до 5,5%). Использование с января 1989 г. обожженного концентрата позволило повысить содержание оксида магния до 8% при увеличении производительности печи и снижении расхода кокса.

Как показывает сравнительный анализ показателей доменной плавки с добавкой в шихту сидеритовых руд при различных вариантах их подготовки [9, 26], эффективность использования обожженного концентрата выше, чем сырого или агломерированного сидерита. Однако обожженный сидерит обладает большим недостатком – низкой прочностью. Показатели прочности по ГОСТ 15137-81: (+5 мм) – 74,0%; (–0,5 мм) – 17,0%. Разрушение концентрата во время транспортировки и перегрузок приводит к образованию большого количества мелочи и пыли, что резко ухудшает экологическую обстановку и снижает эффективность доменной плавки. Это приводит к снижению интереса металлургов к данному виду сырья. Например, в 1992 г. были прекращены поставки обожженного сидерита на ОХМК. Это произошло из-за того, что не удалось организовать его прямую выгрузку в бункера доменных печей, а выгрузка и длительное хранение концентрата на складе привела к образованию большого количества мелочи [19].

Для упрочнения обожженного сидерита, получаемого в шахтных печах ОАО «Бакальские рудники», НИИМ (г. Челябинск) предложил предварительно измельченный концентрат прессовать в брикеты размером $50 \times 50 \times 30$ мм с использованием связующих лигносульфоната и обожженной извести. Прочность брикетов на раздавливание составляет 120–160 кг/см², на сбрасывание – около 90%, пылевыведение из брикета не наблюдается [19].

Для получения прочного кускового обожженного сидерита ИМЕТ УрО РАН предложил поводить декарбонизирующий обжиг на обжиговой машине со скоростью 30–50°С/мин при коэффициенте расхода воздуха $\alpha \sim 0,8$ [27]. В результате обжига получен концентрат с прочностными показателями по ГОСТ 15137-81: (+5 мм) – 80,2%; (–0,5 мм) – 6,9%.

Данные мероприятия потребуют больших капитальных затрат. Однако их необходимость сомнительна. При увеличении прочности концентрата не исчезают основные его недостатки: низкое содержание железа и высокое – оксида магния.

Горно-геологические условия Бакала позволяют добывать до 25 млн т сидерита в год. Производственные мощности предприятия составляют около 4 млн т руды в год. При этом реальная добыча сидеритов значительно меньше, хотя по оценке авторов работы [13] при содержании оксида магния в доменном шлаке

ММК 8–9%, а шлаках ЧМК и ОХМК – 13,5% потребление сидерита может составить около 5 млн т/год.

В то же время черная металлургия Урала испытывает острый дефицит железорудного сырья, который покрывается за счет ввоза его из других регионов страны. Высказывается мнение о том, что производство чугуна, конвертерной и мартеновской стали на Южном Урале должно резко снизиться, а выплавку металла следует вести в электропечах [28]. В связи с этим встает вопрос об обеспечении сталеплавильного производства качественной металлошихтой. Наблюдается тенденция уменьшения металлофонда страны вследствие экспорта проката, в результате уменьшается сбор металлолома, снижается его качество. Поэтому значительный интерес представляет возможность использовать в качестве сырья для электропечей железо, полученное из бакальских сидеритов путем прямого восстановления, тем более, что качество первородной шихты выше качества металлолома, и существует острота социально-экономической ситуации в г. Бакал, где ОАО «Бакальские рудники» является градообразующим предприятием.

Перспективным направлением повышения потребительского качества сидеритовых руд является получение высокометаллизированного концентрата с низким содержанием пустой породы, пригодного для использования в сталеплавильных процессах.

Список литературы

1. Жунев А.Г., Юрьев Б.П., Бланк М.Э. Интенсификация процессов обжига и агломерации сидеритовых руд // Бюл. ЦНИИ информ. и техн.-экон. исслед. черной металлургии. 1988. № 3. С. 2–13.
2. Muhl O. Erfahrungsbericht über die Sowertrübe – Lyk lunge an Steirischen Erzberg // Berg und Hütten – mannische. 1981. Bd. 126. N 8. S. 344–348.
3. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. М., 1977. 272 с.
4. Кармазин В.И., Губин Г.В., Юров П.П. Обжиг-магнитное обогащение железных руд. М.: Недра, 1969. 168 с.
5. Шинкоренко С.Ф., Белецкий Е.П., Ширяев А.А. Справочник по обогащению руд черных металлов. М.: Недра, 1980. 527 с.
6. Жунев А.Г., Колесанов Ф.Ф., Виноградов А.И. Высокотемпературный обжиг бакальских сидеритов // Бюл. ЦНИИЧМ. 1964. № 21. С. 4–7.
7. Окислительный обжиг сидеритовых руд в шахтных печах / А.Г. Жунев, Н.В. Федоренко, В.В. Червоткин и др. // Окускование железных руд и концентратов: тр. Уралмеханобра. Свердловск, 1976. N 3. С. 28–38.
8. Обогащение обожженных бакальских сидеритовых руд / Н.В. Федоренко, А.Г. Жунев, Е.С. Гусев, Л.В. Суркова // Горный журнал. 1976. № 7. С. 58–61.
9. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л.И. Леонтьев, Н.А. Ватолин, С.В. Шаврин, Н.С. Шумаков. М.: Металлургия, 1997. 432 с.
10. Жило Н.Л. Формирование и свойства доменных шлаков. М.: Металлургия, 1974. 120 с.
11. Васильев В.Е. Доменная плавка на устойчивых шлаках. Киев: Укртехиздат, 1956. 260 с.
12. Вязкость высокомагнезиальных доменных шлаков / А.Г. Жунев, Н.Л. Жило, Д.И. Большакова, Б.А. Савельев // Теория и практика металлургии: тр. НИИМ. Вып. 5. Челябинск, 1963. С. 44–47.
13. Жунев А.Г., Шумаков Н.С., Братченко Л.Н. К вопросу об использовании бакальских сидеритов и их подготовки к доменной плавке // Сталь. 1966. N 3. С. 137–149.
14. Вяткин Г.П., Жило Н.Л., Остроухов М.Я. Вязкость высокомагнезиальных шлаков // Теория и практика металлургии: тр. НИИМ. Вып. 4. Челябинск, 1961. С. 26–32.
15. Подготовка бакальских сидеритов к доменной плавке путем обжига / А.Г. Жунев, В.А. Савельев, Ф.Ф. Колесанов и др. // Теория и практика металлургии: тр. НИИМ. Вып. 4. Челябинск, 1961. С. 32–43.
16. Жило Н.Л., Большакова Л.И. Влияние магнезия на вязкость и температуру кристаллизации доменных шлаков ММК // Теория и практика металлургии: тр. НИИМ. Вып. 6. Челябинск, 1963. С. 3–10.
17. Большакова Л.И., Жило Н.Л. Исследования физических свойств доменных шлаков при плавке на бакальских сидеритах // Теория и практика металлургии: тр. НИИМ. Вып. 8. Челябинск, 1966. С. 20–26.
18. Опытные плавки с участием в шихте Бакальских сидеритов

В.П. Вяткин, Л.Я. Гаврилюк, М.Я. Остроухов и др. // Шлаковый режим доменных печей. М.: Металлургия, 1961. 350 с.

19. Эффективность и перспективы применения сидеритовых руд в доменной плавке / В.А. Красноворова, С.Л. Ярошевский, А.А. Денисов, В.С. Рудин, В.И. Бирючев, М.Ф. Полужкин. Донецк, 1996. 88 с.
20. Виноградов А.И. Обжиг шихты из сидеритовых руд Ашихинского завода // Техн.-экон. бюл. Челябинского СНК. 1959. № 11. С. 6–10; № 12. С. 5–11.
21. Доменные плавки с высоким содержанием обожженных сидеритов / А.И. Виноградов, А.М. Юферов, Б.А. Савельев, А.Г. Жунев // Техн.-экон. бюл. Челябинского СНК, 1961. № 6. С. 14–20.
22. Доменные плавки на высокомагнезиальных шлаках / Б.А. Савельев, А.Г. Жунев, А.М. Виноградов, А.И. Юферов // Бюл. ЦНИИЧМ. 1962. № 10. С. 6–9.
23. Вязкость высокомагнезиальных доменных шлаков / А.Г. Жунев, Н.Л. Жило, Л.И. Большакова, Б.А. Савельев // Теория и практика металлургии: тр. НИИМ. Вып. 5. Челябинск. 1963. С. 44–47.
24. Вяткин Г.П., Гаврилюк Л.Я., Жунев А.Г. Использование подготовленных бакальских сидеритов к доменной плавке // Теория и практика металлургии: тр. НИИМ. Вып. 8. Челябинск, 1966. С. 10–19.
25. Опытные доменные плавки подготовленных бакальских сидеритов с получением высокомагнезиальных шлаков / Г.П. Вяткин, Л.Я. Гаврилюк, А.Г. Жунев и др. // Сталь. 1966. № 3. С. 17–21.
26. Сравнительный анализ показателей доменной плавки с добавкой в шихту сидеритовых руд при различных вариантах их подготовки / А.С. Вусихис, А.Н. Дмитриев, Д.З. Кудинов, А.В. Ченцов, Ю.А. Чесноков // Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы: материалы между нар. конф., посвященной 300-летию металлургии Урала, 80-летию металлургического факультета и кафедры «Теплотехника и информатика в металлургии». Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2000. С. 177–182.
27. Пат. 2041963 РФ, МКИ С 22 В1/04. Способ подготовки сидеритов к доменной плавке / Вусихис А.С., Двинин В.И., Леонтьев Л.И., Майзель С.Г. (РФ).
28. Рошин В.Е., Поволоцкий Д.Я., Морозов А.Н. Состояние и пути развития металлургии Челябинской области в начале XXI века // Уральская металлургия на рубеже тысячелетий: тез. докл. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. 1999. С. 10–14.

Bibliography

1. Zhunev A.G. Intensification of processes of roasting and agglomeration of sideritic ores / A.G. Zhunev, B.P. Jurev, M.E. Blank. Bulletin CSRI of the information and technical and economic researches of ferrous metallurgy. 1988, N3, p. 2-13.
2. Muhl O. Erfahrungsbericht über die Swertrübe – Lyklonge an Steirischen Erzberg // Berg und Hütten – mannische. 1981. Bd. 126. N8. p. 344-348.
3. Ostapenko P.E. Enrichment of iron ores. M.: 1977. 272 p.
4. Karmazin V.I. Roasting enrichment of iron ores / V.I. Karmazin, G.V. Gubin, P.P. Jurov. M.: Bowels, 1969, 168 p.
5. Shinkorenko S.F. Director on enrichment of ores of ferrous metals / S.F. Shinkorenko, E.P. Beletsky, A.A. Shiryayev. M.: Bowels, 1980, 527 p.
6. Zhunev A.G. High-temperature roasting of backal siderites / A.G. Zhunev, F.F. Kolesanov, A.I. Vinogradov. Bulletin CSRIBM, 1964, 21, p. 4-7.
7. Zhunev A.G. Oxidizing roasting of sideritic ores in mine furnaces / A.G. Zhunev, N.V. Fedorenko, V.V. Chevotkin, etc. In book. Agglomeration of iron ores and concentrates. Materials of Ural Institute of mechanical treatment. Sverdlovsk, 1976, N3, p. 28-38
8. Fedorenko N.V. Enrichment of burnt Backal sideritic ores / Fedorenko N.V., Zhunev A.G., Gusev E.S., Surkova L.V. Mountain magazine, 1976, 7, p. 58-61.
9. Leontiev L.I. Pyrometallurgical processing of complex ores. / Votolin N.A, Shavrin S.V., Shumakov N.S. M.: Metallurgy, 1997. 432 p.
10. Zhilo N.L. Formation and properties of blast furnace slags. M.: Metallurgy, 1974, 120 p.
11. Vasiliev V.E. Blast furnace operation on steady slags. Kiev: Ukraine technical publishing house, 1956, 260 p.
12. Zhunev A.G. Viscosity of highly magnesium blast furnace slags. / Zhunev A.G., Zhilo N.L., Bodshakova D.I., Savelyev B.A. / The theory and practice of metallurgy. Materials of scientific and research institute of metals, Part 5, Chelyabinsk, 1963, p. 44-47.
13. Zhunev A.G. To the question on use backal siderites and their preparation to blast furnace operation / Shumakov N.S., Bratchenko L.N. Steel, 1966, N3, p. 137-149.
14. Vyatkin G.P. Viscosity of highly magnesium slags / Vyatkin, G.P., Zhilo N.L., Ostrouhov M.J. / In the book The theory and practice of metallurgy. Materials of scientific and research institute of metals, Part 4, Chelyabinsk, 1961, p. 26-32.
15. Zhunev A.G. Preparation of backal siderites to blast furnace smelting by roasting. / Zhunev A.G., Savelyev V.A., Kolesanov F.F., etc. / The theory and practice of metallurgy. Materials of scientific and research institute of metals, Part 4, Chelyabinsk, 1961, p. 32-43.
16. Zhilo N.L. Influence of magnesia on viscosity and temperature of

- crystallization of blast furnace slags of Magnitogorsk metallurgical integrated plant / Zhilo N.L., Bolshakova L.I. / The theory and practice of metallurgy. Materials of scientific and research institute of metals, Part 6, Chelyabinsk, 1963, p. 3–10.
17. Bolshakova L.I. Research of physical properties of blast furnace slags for smelting with backal siderites / Bolshakova L.I., Zhilo N.L. / The theory and practice of metallurgy. Materials of scientific and research institute of metals, Part 8, Chelyabinsk, 1966, p. 20–26.
 18. Vyatkin V.P. Experimental blast furnace operation with backal siderites in the charge / Vyatkin V.P., Gavriljuk L.J., Ostrouhov M.Y. etc. / A slag mode of blast furnaces. M.: Metallurgy, 1961, 350 c.
 19. Krasnoborov V.A. Efficiency and prospects of application of sideritic ores in blast furnace / Krasnoborov V.A., Yaroshesky S.L., Denis A.A., Rudin V.S., Biryuchev V.I., Polushkin. M.F. Donetsk, 1996, 88 p.
 20. Vinogradov A.I. Roasting of charge from sideritic ores on Ashikxinsk factory. The technical and economic bulletin of Chelyabinsk Council of National Economy, 1959, 11, p. 6–10, 12, p. 5–11.
 21. Vinogradov A.I. Blast furnace operation with the high contents of the burnt siderites. / Vinogradov A.I., Yuferov A.I., Saveliev B.A., Zhunev A.G. The technical and economic bulletin of Chelyabinsk Council of National Economy, 1961, 6, p. 14–20.
 22. Savelyev B.A. Blast furnace operation on highmagnesium slags / Savelyev B.A., Zhunev A.G., Vinogradov A.I., Yuferov A.I. Bulletin of Central scientific and research institute of metals, 1962, № 10, p. 6–9.
 23. Zhunev A.G. Viscosity highmagnesium blast furnace slags / Zhunev A.G., Zhilo N.L., Bolshakova L.I., Savelyev B.A. / The theory and practice of metallurgy. Materials of scientific and research institute of metals, Part 5, Chelyabinsk, 1963, p. 44–47.
 24. Vyatkin G.P. Use of prepared backal siderites for the blast furnace. / Г.П. Vyatkin, L.J. Gavriljuk, A.G. Zhunev. // In the book - The theory and practice of metallurgy. Work of scientific and research institute of metals, part 8. Chelyabinsk, 1966, p. 10–19.
 25. Vyatkin G.P. Experimental blast furnace operation on prepared backal siderites with reception of highmagnesium slags / Vyatkin G.P., Gavriljuk L.J., Zhunev A.G. etc. Steel. 1966, N3, p. 17–21.
 26. Vusikhis A.S. Comparative analysis of blast furnace parameters with the additive in sideritic ores charge at various variants their preparation / Vusikhis A.S., Dmitriev A.N., Kudinov D.Z., Chentsov A.V., Chesnokov J.A. // Thermophysics and computer science in metallurgy: achievements and problems. Materials of the international conference dedicated to 300 anniversary of the Urals metallurgy, 80 anniversary of metallurgical faculty and faculty « the Heating engineer and computer science in metallurgy ». Ekaterinburg: Publishing house of Ural state technical institute, 2000, p. 177–182.
 27. Vusikhis A.S., Dvinin V.I., Leontev L.I., Mayzel S.G. The way of siderites preparation to blast furnace smelting. The patent № 2041963. Published. 8/20/1995, C 22B1/04.
 28. Roschin V.E. Condition and ways of metallurgy development in the Chelyabinsk area to the beginning of XXI century / Roschin V.E., Povolotsky D.J., Morozov A.N. / The International scientific and technical conference « the Ural metallurgy on a boundary of millenium ». Theses of reports. Chelyabinsk: Publishing house of South-Ural state university, 1999, p. 10–14.

УДК 669.162.266.44+66.046.46

Харченко Е.М., Жумаев К.Ж.

ТВЕРДОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕДИ И СВИНЦА МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЖЕЛЕЗОМ

Шлаки медеплавильного производства в зависимости от процесса сильно отличаются по составу, но все они содержат значительное количество железа, меди, свинца, никеля и цинка, которые связаны в различные соединения. Изучение их химического и минерального состава показало, что медь в них присутствует в виде

сульфидов, оксидов и ортоарсенатов [1–3].

Известны методы переработки отвальных шлаков медеплавильного производства флотационным обогащением, плавкой на медистый чугун в различных вариантах. В первом случае достигается низкое извлечение, во втором потребность в медистом чугуне

Термодинамические характеристики уравнений реакций восстановления меди и свинца металлическим железом

Номер реакции	Уравнения реакций	Δ G, кДж/моль						Δ G, кДж/г, реакц. смеси при 700 К
		300 К	500 К	700 К	900 К	1100 К	1300 К	
1	$\text{Cu}_2\text{S} + \text{Fe} = \text{FeS} + 2\text{Cu}$	-14,47	-9,71	-2,92	6,89	20,28	37,57	-0,013
2	$\text{CuFeS}_2 + \text{Fe} = 2\text{FeS} + \text{Cu}$	-7,39	-10,05	-21,61	-39,47	-62,19	-88,88	-0,090
3	$2\text{CuFeS}_2 + \text{Fe} = \text{FeS}_2 + 2\text{FeS} + 2\text{Cu}$	10,40	12,26	5,66	-7,07	-24,61	-46,13	0,013
4	$\text{Cu}_2\text{O} + \text{Fe} = \text{FeO} + 2\text{Cu}$	-94,41	-94,37	-91,92	-87,47	-81,08	-72,63	-0,459
5	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + \text{Fe} = \text{Pb} + \text{Pb}_2\text{As}_2\text{O}_7 + \text{FeO}$	37,257	28,66	-5,31	-37,30	-71,30	-105,68	-0,006
6	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 2\text{Fe} = 2\text{Pb} + \text{Pb}(\text{AsO}_3)_2 + 2\text{FeO}$	-8,363	-23,46	-87,13	-145,94	-208,40	-271,28	-0,086
7	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 2\text{Fe} = 3\text{Pb} + 2\text{FeAsO}_4$	-103,133	-106,45	-154,37	-194,47	-236,20	-276,54	-0,153
8	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 3\text{Fe} = 3\text{Pb} + \text{As}_2\text{O}_5 + 3\text{FeO}$	38,279	17,39	-74,67	-158,68	-247,73	-337,07	-0,069
9	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 5\text{Fe} = 3\text{Pb} + \text{As}_2\text{O}_3 + 5\text{FeO}$	-248,01	-269,48	-278,29	-281,33	-282,60	-284,88	-2,308
10	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 8\text{Fe} = 3\text{Pb} + \text{As}_2 + 8\text{FeO}$	-262,19	-345,87	-612,53	-857,21	-1114,78	-1372,79	-0,455
11	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 10\text{Fe} = 3\text{Pb} + 2\text{FeAs} + 8\text{FeO}$	-490,06	-576,12	-576,121	-619,14	-471,81	-705,19	-0,395
12	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 11\text{Fe} = 3\text{Pb} + \text{Fe}_3\text{As}_2 + 8\text{FeO}$	-672,57	-777,72	-777,72	-830,30	-662,81	-935,45	-0,513
13	$\text{Pb}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 12\text{Fe} = 3\text{Pb} + 2\text{Fe}_2\text{As} + 8\text{FeO}$	-436,87	-555,61	-555,6	-614,99	-435,94	-733,74	-0,354
14	$\text{Cu}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 2\text{Fe} = 3\text{Cu} + 2\text{FeAsO}_4$	-355,63	-355,92	-399,56	-436,59	-475,94	-514,66	-0,688
15	$\text{Cu}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 3\text{Fe} = 3\text{Cu} + \text{Fe}(\text{AsO}_3)_2 + 2\text{FeO}$	-945,08	-971,62	-1005,40	-1043,58	-1057,31	-1136,55	-1,579
16	$\text{Cu}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 9\text{Fe} = \text{Cu}_3\text{As} + 8\text{FeO} + \text{FeAs}$	1065,82	1016,99	767,47	544,97	310,76	78,78	0,789
17	$\text{Cu}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 10\text{Fe} = 3\text{Cu} + 2\text{FeAs} + 8\text{FeO}$	-742,56	-789,62	-1064,49	-1313,77	-1580,21	-1848,14	-1,035
18	$\text{Cu}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 11\text{Fe} = 3\text{Cu} + \text{Fe}_3\text{As}_2 + 8\text{FeO}$	-925,07	-981,55	-1287,43	-1564,28	-1859,29	-2155,27	-1,187
19	$\text{Cu}_3\text{As}_2\text{O}_8 + 12\text{Fe} = 3\text{Cu} + 2\text{Fe}_2\text{As} + 8\text{FeO}$	-689,36	-752,53	-1086,68	-1388,36	-1709,20	-2030,51	-0,953

ограничена и необходим поиск других вариантов технологии, с точки зрения увеличения ассортимента выпускаемой продукции и комплексности.

Поэтому в данной работе приведены результаты проверки возможности селективного извлечения меди из такого техногенного отхода путем восстановления железным порошком. Использование порошкообразного железа в качестве восстановителя для цветных металлов, таких как медь, свинец, обосновывается возможностью твердофазного восстановления с их осаждением на поверхности железа. Такой введенный магнитный реагент совместно с восстановленным металлом может быть извлечен в магнитную фракцию, используемую при тех же заводах.

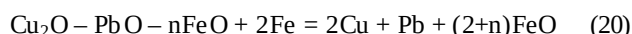
Результаты термодинамического анализа реакций (1)–(19) (см. таблицу) показывают, что в зависимости от массового соотношения компонентов в реакционной смеси в продуктах твердофазного взаимодействия возможно образование различных фаз и соединений [4, 5].

Восстановление меди из сульфидов железом предполагалось по различным уравнениям реакций (1)–(3), приведенным в таблице. Результаты термодинамического анализа также показывают трудность

восстановления меди из состава сульфидных соединений по сравнению с оксидными (4)–(19).

Для изучения кинетики и экспериментального подтверждения присутствия того или иного предполагаемого продукта реакции проводили отдельные выдержки реакционных смесей. В связи с низким содержанием меди и свинца в шлаке (0,57% Cu; 0,11% Pb) и с целью повышения чувствительности и достоверности анализа эксперименты проводили с синтезированными компонентами шлака (оксидный сплав, ортоарсенат меди и свинца).

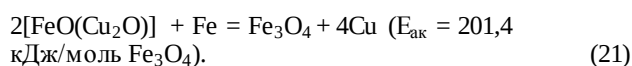
По данным гравиметрического анализа и по предполагаемым уравнениям окислительно-восстановительных реакций восстановления меди и свинца из оксидных соединений



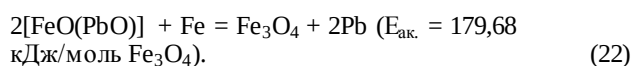
взаимодействие реакционной смеси протекает без изменения массы навески, что затрудняет применение методов, позволяющих постоянно контролировать степень взаимодействия. Поэтому в качестве метода изучения кинетики взаимодействия использован количественный дифференциально-термический анализ по Пилояну. Скорость нагрева образца составляла 20 град в минуту. Атмосфера – очищенный аргон.

Как видно из рис. 1 на кривой ДТА наблюдаются два эндозффекта, находящихся в температурном интервале: 670–690–710 и 710–730–750°C.

Первый максимум 690°C соответствует восстановлению меди железом, так как медь является более «благородным» металлом, чем свинец (стандартные потенциалы φ° при 25°C железа -0,44 В, меди 0,337 В и свинца -0,126 В).



Второй максимум 730°C соответствует восстановлению свинца.



Зависимость восстановления свинца имеет экспоненциальный характер, что можно объяснить наступлением диффузионного затруднения из-за образования плотного слоя меди на поверхности восстановителя – железа. Медь восстанавливается раньше и в связи с избытком восстановителя, видимо, диффузионное затруднение не наступает. РФА магнитной фракции продуктов восстановления показал наличие магнетита и меди (рис. 2), что подтверждает протекание реакции (21).

Анализ поведения мышьяка в медеплавильном производстве показывает сопоставимость эквивалентного соотношения меди, свинца к мышьяку и о возможности образования высокотемпературных форм арсенатов – ортоарсенатов в шлаках. Кроме того, для их образования создается условие при огневом рафинировании черновой меди от примесей, особенно к концу процесса, когда основными окисляющимися элементами являются Pb, Cu и As. Поэтому нами проверялась возможность извлечения меди и свинца твердофазным восстановлением

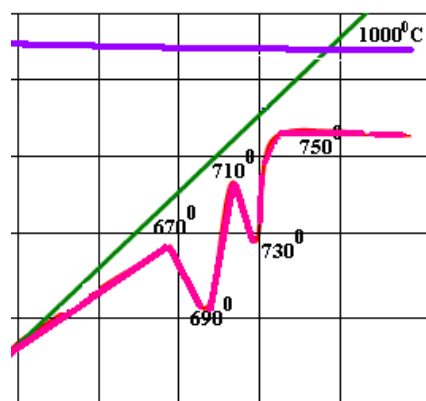


Рис. 1. Дериwаtограмма оксидного спекa ($\text{Cu}_2\text{O}-\text{PbO}-2\text{FeO}$) и $\text{Fe}_{\text{мет}}$ до 1000°C в атмосфере аргона

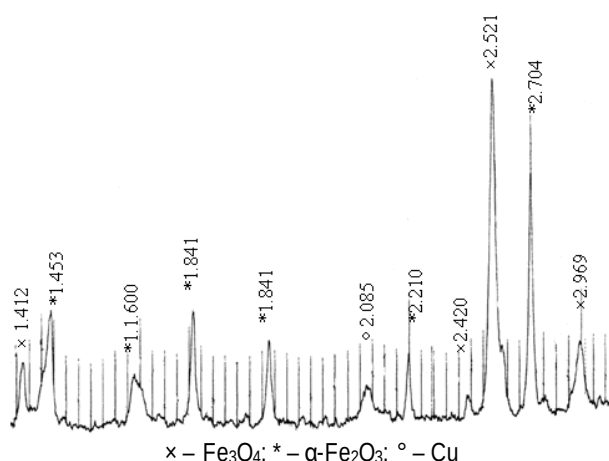


Рис. 2. Рентгенограмма прокаленной смеси оксидного спекa $\text{Cu}_2\text{O}-\text{PbO}-2\text{FeO}$ и $\text{Fe}_{\text{мет}}$ (с поверхности магнитной фракции)

железом ортоарсенатов меди и свинца – основных мышьяк содержащих компонентов шлака.

Результаты термодинамического анализа предполагаемых реакций восстановления меди и свинца из состава их ортоарсенатов металлическим железом приведены в **таблице** (реакции (5)–(19)). Для экспериментального подтверждения присутствия того или иного предполагаемого продукта реакции проводили выдержку реакционной смеси (тщательно подшихтованную) в трубчатой печи при 800°C в атмосфере очищенного аргона. После полного охлаждения содержимое лодочки и возгоны из реакционной трубки подвергались РФА. В случае смеси по реакции (18) образовались белые возгоны в реакционной трубке, которые по составу соответствовали As_2O_3 . Появление триоксида, видимо, связано с термической неустойчивостью метаарсенита железа – $Fe(AsO_3)_2$ (распадается на воздухе до $Fe_2As_2O_7$, As_2O_3 и O_2 [4]):



Дальнейшее повышение расхода железа приводит к

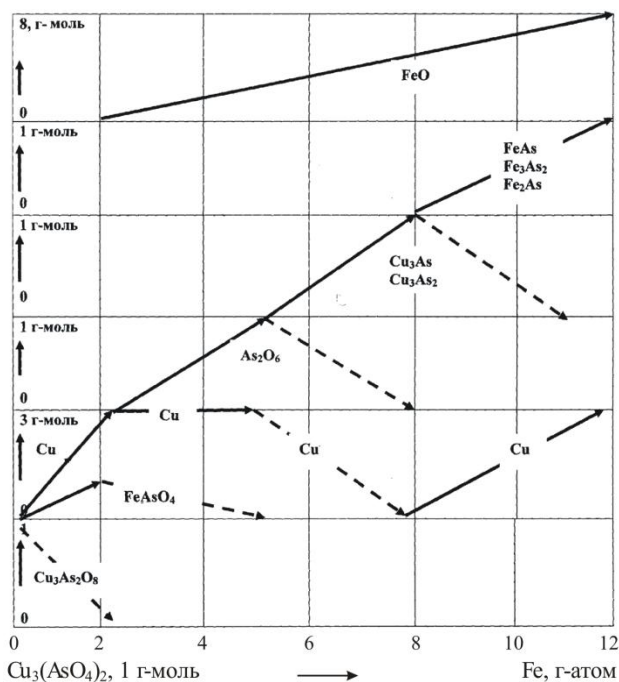


Рис. 3. Диаграмма вероятных областей существования продуктов неравновесного восстановления ортоарсената меди в зависимости от расхода (г-атомов) железа выше 650°C

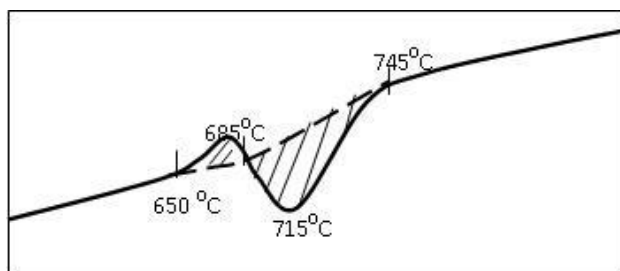
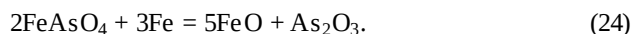


Рис. 4. Кривая ДТА ортоарсената меди и железа (1:12)

появлению темных возгонов, образующих зеркальную поверхность со стеклом, что характерно металлическому мышьяку. Это подтверждается РФА. Однако основная часть мышьяка остается связанной в виде нелетучих продуктов, т.е. в процессе восстановления ортоарсената меди железом возможно образование как арсенидов меди, так и железа при возрастании расхода металлического железа, что подтверждается РФА.

Видимо, полное восстановление мышьяка с образованием арсенидов железа происходит в широком интервале соотношений арсената и железа, равного 1 моль: 9–12 г-атомов (при допущении, что твердофазное восстановление идет идеально, а на самом деле образуется их смесь). Поэтому с учетом тенденции образования продуктов восстановления в зависимости от расхода восстановителя – железа построена диаграмма вероятного образования продуктов, которая приведена на **рис. 3** с учетом ниже перечисленных доводов:

1. Термодинамический анализ (реакции (5)–(19)).
2. Прохождение реакции восстановления арсената железа по уравниванию реакции



3. При дальнейшем повышении содержания металлического железа (выше 5 г-атомов) происходит восстановление триоксида мышьяка:



и его взаимодействие с металлической медью (реакция (16)) с образованием известных арсенидов в зависимости от стехиометрического соотношения от 5 до 11 г-атомов железа на 1 моль арсената.

4. При 8–11 г-атомов железа на 1 моль ортоарсената меди происходит образование арсенидов железа с полным вытеснением меди.

5. Результаты ДТА показывают начало взаимодействия ортоарсената меди с металлическим железом, начиная, примерно, с 650°C.

Для изучения реакции полного восстановления меди и мышьяка из состава ортоарсената меди взяли соотношение 1 моль:12 г-атомов железа.

На кривой ДТА взаимодействие сопровождается экзо- и эндотермическими эффектами (**рис. 4**).

Раздвоение, видимо, связано с восстановлением меди (экзотермический эффект), с переходом в область полного восстановления меди и мышьяка (эндотермический эффект).

Проверка продуктов реакций восстановления ортоарсената свинца по (5)–(13) проводили так же, как с ортоарсенатом меди.

По реакциям (5), (6) летучих возгонов не образуется, также по аналогии в случае с ортоарсенатом меди происходит образование термически устойчивых арсенатов. Появление триоксида мышьяка в возгонах свидетельствует о восстановлении ортоарсената свинца до его арсенидов, которые диссоциируют с выделением в газовую фазу As_2O_3 . Продуктом прокаливания реакционной смеси уравнения (10) является металлический свинец, оксид железа (II) и металлический мышьяк (в возгонах). Выход металлического мышьяка по сравнению с ортоарсенатом меди в 2,7 раза больше по потере массы образца и пере-

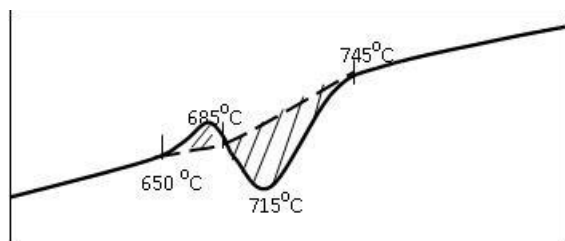


Рис. 5. Кривая ДТА ортоарсената свинца и железа (1:12)

счете на мышьяк. Это связано с тем, что в системе Pb–As не образуются арсениды и только по мере появления избытка железа происходит его связывание в соответствующие арсениды железа. Поэтому для получения кривых ДТА соотношение реакционных смесей составило 1 моль ортоарсената к 12 г-атомам железа.

На кривой ДТА смеси ортоарсената свинца и железа наблюдается раздвоенный эндозэффект (рис. 5).

Первый эндозэффект с пиковой температурой 735°C связан с восстановлением свинца из ортоарсената свинца, а второй – с взаимодействием промежуточных продуктов реакции с образованием арсенидов железа.

Таким образом, результаты исследований с отдельными компонентами шлака показывают возможность селективного восстановления меди и свинца, а также мышьяка из их соединений металлическим железом.

Список литературы

1. Медиханов Д.Г. Вовлечение в переработку сырья техногенных месторождений БГМК // Сборник научных работ по проблемам БГМК, посвященный 10-летию независимости Республики Казахстан. Балхаш. 2001. С. 137–142.
2. Поиск путей повышения комплексности использования сырья корпорации «Казахмыс» / Квятковский А.Н., Бобров В.М., Ситко Е.А., Спицын В.А., Тимофеева С.В. // Сборник научных работ по проблемам БГМК, посвященный 10-летию независимости Республики Казахстан. Балхаш. 2001. С. 19–23.
3. Муканов Д. Metallurgy of Kazakhstan: a condition, innovative potential, trend of development. Алматы, 2005. 290 с.
4. Махметов М.Ж., Горохова Л.Г. Термическая устойчивость и растворимость арсенатов. Алма-Ата, 1988. 109 с.
5. Краткий справочник физико-химических величин. 10-е изд., испр. и доп. / под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. СПб.: «Иван Федоров», 2003. 240 с., ил.

Bibliography

1. Medihanov D. G. Involving in processing of raw materials of technogenic deposits BMMK // The collection of scientific works on problems BMMK devoted to the 10 years of independence of Republic Kazakhstan. Balhasch. 2001. p. 137–142.
2. Kvyatkovskiy A.N., Bobrov V.M., Sitko E.A., Spitsyn V. A, Timofeeva S.V. Search of ways of increase of integrated approach of use of raw materials of corporation «Kazakhmys» // The collection of scientific works on problems BMMK devoted to the 10 years of independence of Republic Kazakhstan. Balhasch. 2001. p. 19–23.
3. Mukanov D. Metallurgy of Kazakhstan: a condition, innovative potential, a development trend. Almaty, 2005. 290 p.
4. Mahmetov M.G., Gorokhova L.G. Thermal stability and solubility arsenates Alma-Ata. 1988. 109 p.
5. The short directory of physical and chemical sizes. The edition the tenth, corrected and added / Under A.A. Ravelja and A.M. Ponomarev's edition. S.P. «Ivan Fedorov», 2003. 240 p. il.

УДК 622.7: 504.063.43

Орехова Н.Н., Чалкова Н.Л.

ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА ИЗ ГИДРОТЕХНОГЕННЫХ ГЕОРЕСУРСОВ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Технологический процесс разработки и переработки рудных месторождений сопровождается образованием значительного количества техногенных вод. Данные воды с учётом больших объемов и высоких концентраций ионов цветных металлов можно классифицировать как техногенное гидроминеральное сырье, переработка которого позволит более полно использовать природные ресурсы, а также улучшить экологическую ситуацию в регионе.

Для кислых подотвалных вод горных предприятий Южного Урала характерны высокие концентрации цинка (до 900 мг/дм³) и значительные объемы (до 15000 м³/сут), что позволяет их отнести к категории «жидких» техногенных цинкосодержащих ресурсов.

Сегодня техногенные воды рассматриваются как система, состоящая из двух подсистем (вода и полезное ископаемое), использование которых в отдельности неэкономично [1]. Извлечение металлов из техногенных вод горных предприятий медно-цинковой подотрасли – одно из неотъемлемых условий реализации безотходного производства. Наиболее сложным вопросом является получение в процессе переработки вод металлосодержащих продуктов, пригодных для

дальнейшей утилизации.

Изучение и анализ различных способов извлечения цинка и сопутствующих металлов из сточных вод горнодобывающих предприятий позволили выбрать наиболее эффективный и экономически целесообразный метод – гальванокоагуляцию.

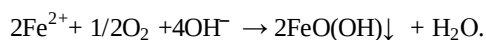
Метод гальванокоагуляции является наиболее перспективным для селективного извлечения ионов Zn²⁺. Он применим в широком диапазоне значений показателя pH обрабатываемого раствора, характеризуется дешевизной расходуемых реагентов (железная стружка из отходов производства, кокс), а также компактностью аппаратного оформления. Однако приведенных в литературе сведений недостаточно для принятия научно обоснованных технических решений управления и оптимизации процесса. Не исследована возможность селективного извлечения ионов цинка из поликатионных водных систем, не указываются оптимальные условия проведения процесса гальванокоагуляции для извлечения цинка, отсутствует характеристика цинкосодержащих осадков.

В связи с этим, мы задались целью разработать эффективную и в то же время экономически выгодную технологию переработки гидротехногенных ге-

оресурсов медноколчеданных месторождений на основании исследований механизма и закономерностей гальванокоагуляционного извлечения цинка из техногенных вод. Основные этапы экспериментальных исследований по разработке технологии селективного извлечения цинка из гидротехногенных георесурсов горных предприятий медноколчеданного комплекса представлены в виде блок-схемы на рис. 1.

Изучение механизма извлечения цинка из растворов

При работе гальванокоагулятора образуются продукты анодного растворения. В случае использования наиболее распространённой гальванопары Fe:C процесс гальванокоагуляции сопровождается растворением железного скрапа. Устройство гальванокоагулятора таково, что за счет вращения полок аппарата обеспечивается равномерное распределение растворяющегося материала анода во всем объеме реакционной смеси. При этом образующийся гидроксид двухвалентного железа под действием растворенного кислорода воздуха окисляется до гидроксида железа трехвалентного по схеме:



В работе в качестве гальванопары железо-углерод использовались железная стружка и кокс в массовом соотношении 3:1 или 1:1, рекомендуемые для извлечения соответственно меди и цинка [2]. Удельный расход железосодержащего компонента составил в среднем 0,32 г/дм³. Лабораторная гальванокоагуляционная установка подробно описана в статьях [4, 5].

Для выявления механизма извлечения цинка проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований. На основании расчетных значений величин Eh обрабатываемых модельных растворов получены графики функций в системе Zn–Fe–O₂ [6]. Проведен теоретический анализ фазообразования в системе CuSO₄, Cu(OH)₂–ZnSO₄, Zn(OH)₂–Fe–C–O₂–H₂SO₄–H₂O [7], а также рентгенофазовый анализ осадков.

Анализ расположения полей устойчивости показывает, что ферриты цинка имеют две области равновесного существования. При повышении значений Eh ферриты переходят в магнетит, а в области значений 0,3–0,8 В в кислой среде, предшествующей ферриту, фазой является оксид цинка [6].

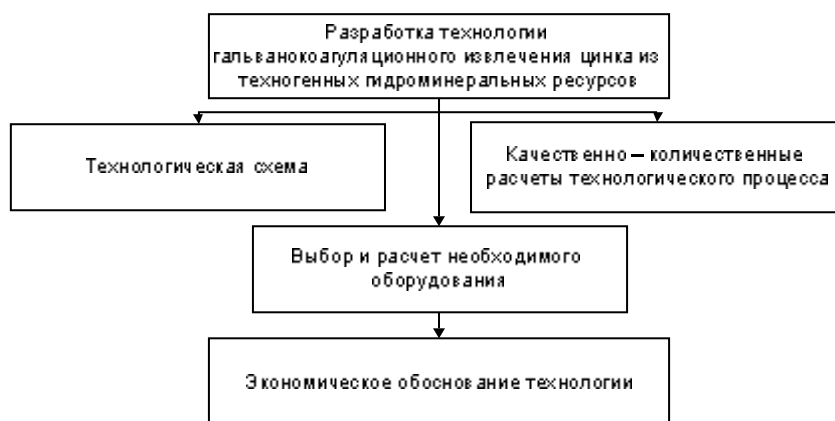


Рис. 1. Общая схема проведения исследований

Проведённым физико-химическим моделированием методом минимизации свободной энергии с использованием программного комплекса «Селектор-С» установили вероятную область значений параметров, позволяющих наиболее полно извлекать цинк, получать богатый по цинку осадок при одновременном связывании железа в гетерогенной многокомпонентной системе CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – ZnSO_4 , $\text{Zn}(\text{OH})_2$ – Fe – C – O_2 – H_2SO_4 – H_2O . Образование нерастворимых цинксо-держающих соединений наиболее вероятно при pH равновесных растворов выше 6,2; E_h 0,57–0,60 В и концентрации сульфатов менее 0,045 моль/дм³. Селективное выделение цинка возможно только после предварительного удаления меди из раствора.

Параметрами избирательного выделения меди из сульфатных растворов, содержащих 0,01 моль/дм³ меди(II) и 0,01 моль/дм³ цинка(II), являются pH 2,6–4,1, E_h 0,16–0,39 В. При этом цинк полностью остается в растворе, а медь осаждается в виде феррита.

Форма выделения цинка из сульфатных растворов в значительной степени зависит как от кислотности растворов, окислительно-восстановительных условий, так и от концентрации сульфат-ионов. В изученной системе при её стремлении к равновесному состоянию цинк переходит в осадок преимущественно в виде феррита. Проведение процесса в режиме ферритизации позволяет связать одновременно и цинк, и железо. Такой режим предпочтителен для извлечения металлов в схемах очистки шахтных и подотвалных вод, так как не приводит дополнительных загрязнений в поток.

Рентгенофазовым анализом осадков, полученных при обработке раствора сульфата цинка в поле гальванопары железо-углерод, фиксируется наличие фаз магнетита Fe_3O_4 , франклинита ZnFe_2O_4 , гематита Fe_2O_3 , лепидокрокита FeOOH , гидроксидов цинка и железа(III): $\text{Zn}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$, вюстита FeO , цинкита ZnO . При сравнении фазовых составов осадков, полученных без предварительной аэрации и с аэрацией сточной воды в течение 20 мин (табл. 1), установлено, что аэрация способствует переходу цинка в осадок в форме оксида (II).

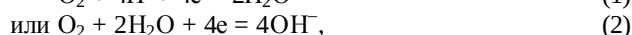
Таблица 1

Фазовый состав осадков

№	Фазовый состав в порядке убывания количества фаз		Но мер	Фазовый состав в порядке убывания количества фаз	
	Формула	Название фазы		Формула	Название фазы
	Без предварительной аэрации			С предварительной аэрацией	
1	Fe ₃ O ₄	магнетит	1	ZnO	цинкит
2	Fe(OH) ₃	гидроксид	2	FeO	вюстит
3	ZnCO ₃	смитсонит	3	Fe ₃ O ₄	магнетит
4	ZnFe ₂ O ₄	франклинит	4	Fe ₂ O ₃	гематит
5	Fe ₂ O ₃	гематит	5	Fe(OH) ₃	гидроксид
6	Zn(OH) ₂	гидроксид	6	ZnFe ₂ O ₄	франклинит
8	FeOOH	лепидокрокит	8	Fe(OH) ₂	гидроксид
9	FeO	вюстит	9	ZnCO ₃	смитсонит
10	ZnO	цинкит			

Полученные результаты позволяют рассматривать в качестве основного механизма извлечение ионов Zn^{2+} перевод его в осадок в виде ZnFe_2O_4 .

Механизмы гальванокоагуляционного извлечения металлов из техногенных стоков определяются процессами, возникающими во время контактирования очищаемой воды и воздуха в пленочном слое на поверхности гальванопары. Из величин стационарных потенциалов углеродсодержащего и железного полуэлементов следует, что при их замыкании на поверхности углеродсодержащей частицы протекает преимущественно катодная реакция, а на поверхности железа – анодная [2]. Основной катодной реакцией, протекающей на поверхности в условиях аэрации, является, в зависимости от интервала pH среды, реакция восстановления кислорода по уравнениям:

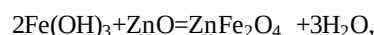


что приводит к подщелачиванию прикатодного пространства.

Анодные реакции описаны уравнениями:



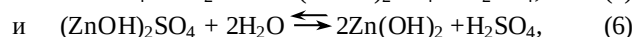
Наиболее вероятной реакцией ферритизации цинка из теоретически возможных по результатам термодинамического расчёта является реакция



для которой разница (ΔG_{f298}^0 реакции – $\Delta G_{f298}^0 \text{ZnFe}_2\text{O}_4$) [3] наименьшая и составляет 241,569 кДж/моль. Образованию же гидроксида железа и оксида цинка в гальванокоагуляционной системе способствует насыщение её кислородом. Предварительная аэрация позволяет ускорить процесс окисления и образования гидроксидных и гидроксооксидных форм железа, обладающих сорбционными свойствами по отношению к ионам Zn^{2+} , ZnOH^+ , и также способствует гидролизу сульфата цинка [8].

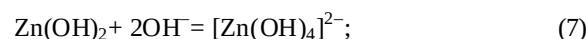
Увеличение доли цинка в форме оксида в осадке при предварительной аэрации раствора, на наш взгляд, является следствием последовательно протекающих процессов:

– двухступенчатого гидролиза сульфата цинка с образованием гидроксида цинка



о чем свидетельствует помутнение раствора при аэрации с образованием аморфных частиц;

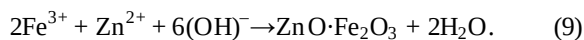
– образования в подщелоченном прикатодном пространстве поля гальванопары гидроцинкатного иона по реакции



– образования оксида цинка по реакции



Исходя из оптимального интервала рН для гальванокоагуляционного извлечения ионов цинка от 6,5 до 7,5, который совпадает с интервалом образования сорбционно-активных форм железа ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), возможна адсорбция ионов цинка на их поверхности [2] или же внедрение ионов цинка в кристаллическую решетку нерастворимых форм оксо- и гидроксосоединений железа с замещением ионов двухвалентного железа по следующей реакции:



Технология извлечения цинка

По результатам теоретических и экспериментальных исследований, в том числе описанных ранее в [3–6], приняты параметры технологического процесса и проведены укрупненные лабораторные испытания на подотвальных и рудничных водах, образующихся на месторождениях Южного Урала. Схема цепи аппаратов для технологии извлечения цинка из техногенных вод представлена на рис. 2.

Кислые подотвальные воды, являющиеся техногенным гидроминеральным сырьем, содержащие ценные компоненты (цинк, медь), собираются в бак 1. Далее насосом 2 подаются в барабан гальванокоагулятора 3 с гальванопарой $\text{Fe}:\text{C}=3:1$, где в течение 5 мин происходит извлечение Cu^{2+} . Поликатионная сточная вода при контакте с гальванопарой образует медьсодержащий осадок, который направляется в отстойник 4, где происходит отделение воды от медьсодержащего осадка, направляемого далее на механическое обезвреживание 10. Обезвреженная вода после отстойника 4 направляется в бак 5, куда для подщелачивания добавляется NaOH . В баке 5 происходит аэрация. Далее при помощи насоса 6 очищаемая

вода направляется в гальванокоагулятор 7, где в течение 12 мин происходит образование цинксо-содержащего осадка при помощи гальванопары $\text{Fe}:\text{C}=1:1$. Слив гальванокоагулятора поступает в отстойник 8, где происходит отделение цинксо-содержащего осадка от воды, направляемой на доочистку на геохимический барьер (карбонатные минералы) 9. Цинксо-содержащий осадок подается в аппарат 11 для механического обезвреживания.

Испытания проводились на рудничной и подотвальной водах Сибайской и Учалинской промплощадок ОАО «Учалинский ГОК». Результаты испытаний представлены в табл. 2.

В результате переработки богатых по меди и цинку подотвальных вод ОАО «УГОК» после первой стадии гальванокоагуляции получены железисто-окисные продукты с массовой долей меди 10,9% и после второй стадии – с массовой долей цинка 6,78%. Продукты такого

Таблица 2

Результаты испытаний

Техногенные воды	Показатель	Концентрация в воде, мг/дм ³				Массовая доля металлов в осадках, %	
		исходная	после первой стадии	после второй стадии	после сорбции	первая стадия	вторая стадия
Подотвальные Учалинской промплощадки	Cu^{2+}	218,10	9,09	9,08	0,001	10,90	0,11
	Zn^{2+}	510,03	414,08	144,45	0,010	1,97	8,47
	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	286,50	336,15	1,90	0,08	49,10	51,2
	pH	3	4,8	7,8	8,1		
Рудничные Сибайской промплощадки	Cu^{2+}	0,11	0,091	0,081	0,0068	0,01	0,00
	Zn^{2+}	7,588	0,307	0,201	0,145	0,50	0,03
	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	0,490	1,277	0,404	0,264	59,54	61,23
	pH	7,650	8,0	8,1	8,25		
Подотвальные Сибайской промплощадки	Cu^{2+}	23,750	2,206	0,570	0,051	1,45	0,09
	Zn^{2+}	31,730	23,300	0,374	0,140	0,57	1,33
	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	12,000	16,100	0,663	0,001	53,00	57,56
	pH	3,6	5,7	7,8	8,3		

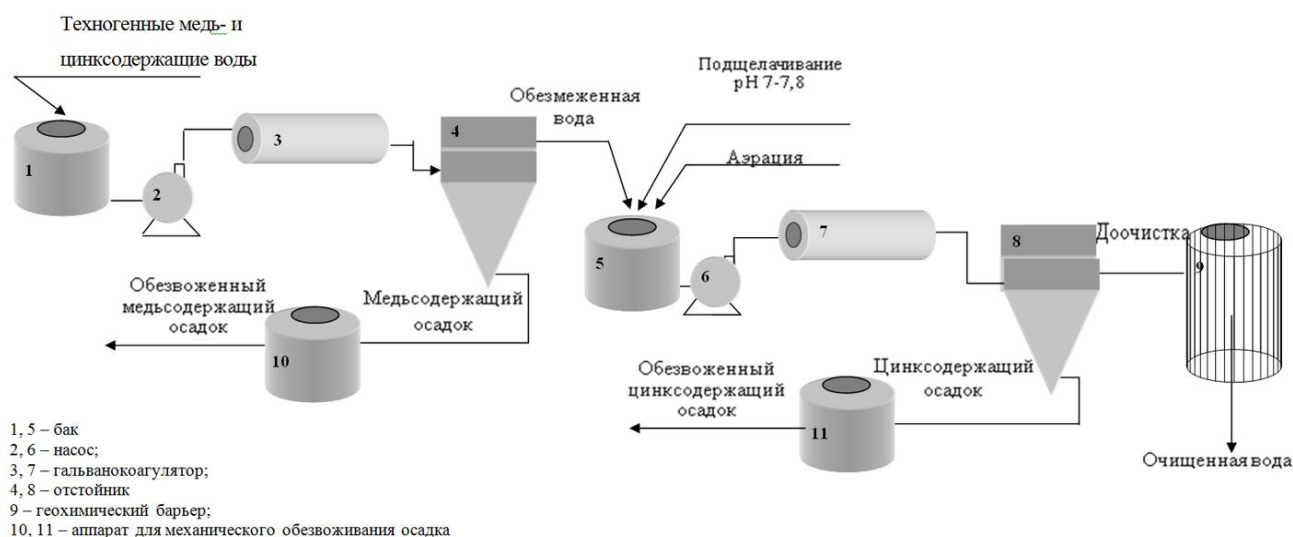


Рис. 2. Схема цепи аппаратов гальванокоагуляционного извлечения цинка из техногенных гидроминеральных ресурсов

качества являются реализуемыми и могут быть целенаправленно утилизированы в составе шихты в плавильном переделе цветной металлургии. Полученный в процессе обработки нейтрального объединённого потока продукт второй стадии (гальванопара железо-углерод) с содержанием железа 61,23%, меди менее 0,001% и цинка менее 0,5% может быть использован при изготовлении строительных материалов и/или пигментов для красителей (ГОСТ 18172-80).

В результате переработки получены нормативно очищенные воды по ПДК водоёмов культурно-бытового и хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Экономический эффект от реализации технологии переработки 730 тыс. м³ в год кислых подотвальных вод с учётом предотвращённого экологического ущерба в конце первого года жизни проекта составит 1825,35 тыс. руб.

Выводы

Установлен комплексный механизм гальванокоагуляционного извлечения ионов Zn (II) из техногенных растворов, заключающийся в образовании $ZnO \cdot Fe_2O_3$ в результате реакции между оксидом цинка и гидроксидом железа, адсорбционного внедрения ионов цинка в кристаллическую решетку нерастворимых форм оксо- и гидроксосоединений железа с замещением ионов двухвалентного железа.

На основании полученных теоретических выводов и практических результатов предложены и опробованы варианты технологических схем переработки цинк содержащих шахтных и подотвальных вод с применением гальванокоагуляционного метода. Получение селективного цинк содержащего продукта методом гальванокоагуляции возможно во второй стадии (после предварительного выделения меди) при исходном pH более 6,2. Получению в осадке более богатой по цинку фазы – цинкита способствует предварительная аэрация.

Предлагаемая схема переработки вод позволяет получать нормативно очищенную воду, медь- или цинк содержащие полупродукты, утилизируемые в металлургическом переделе.

Экономический эффект от реализации технологии

переработки 730 тыс. м³ в год кислых подотвальных вод с учётом предотвращённого экологического ущерба в конце первого года жизни проекта составит 1825,35 тыс. руб.

Список литературы

1. Зелинская Е. В. Теоретические основы изучения и рационального использования подземных рассолов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2002. 98 с.
2. Чантурия В. А., Соложенкин П. М. Гальванохимические методы очистки техногенных вод. Теория и практика. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 204 с.
3. Шадрюнова И. В., Орехова Н. Н. Извлечение цветных металлов из гидроминеральных ресурсов: теория и практика. Магнитогорск: Мини-Тип, ИПКОН РАН, 2009. 180 с.
4. Критерии гальванокоагуляционного извлечения и утилизации меди из техногенных вод / В.А. Феоданов, Ф.А. Дзюбинский, И.В. Шадрюнова, Н.Н. Орехова // Горн. информ. аналит. бюл. 2006. Вып. 12. С. 149–151.
5. Орехова Н. Н. Исследование метода гальванокоагуляции для селективного извлечения меди и цинка из растворов // Горн. информ. аналит. бюл. 2009. Вып. 14. «Обогащение полезных ископаемых-1». С. 329–331.
6. Чалкова Н.Л., Чалков Д.А. Извлечение цинка из модельной воды сорбционными и гальванокоагуляционными методами // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 3. С. 79.
7. Технология извлечения цинка из рудничных и подотвальных вод / В.А. Чантурия, И.В. Шадрюнова, Н.Н. Орехова, Н.Л. Чалкова // Обогащение руд. 2011. № 1. С. 36–39.
8. Журба М.Г. Очистка и кондиционирование природных вод: состояние, проблемы и перспективы развития // Водоснабжение и сан. техника. 2002. № 5. С. 2–8.

Bibliography

1. Ziellinska E.V. Theoretical Foundations of study and rational use of underground brines. Irkutsk: Irkutsk State Technical University Publishing House, 2002. 98 s.
2. Chanturia V.A Solozhenkin P.M. Galvanochemical technogenic waterpurification methods. Theory and practice. M.: ICC Akademkniga, 2005. 204 s.
3. Shadrunova I.V, Orekhova N.N. Extraction of nonferrous metals from hydro resources: theory and practice. Magnitogorsk: MiniTim, IPKON Academy of Sciences, 2009. 180 s.
4. Criteria galvanoagulation recovery and recycling of copper from a man-made water / V.A.Feodanov, F.A Dziubinski, I.V.Shadrunova, N.N. Orekhova. Horn. Inform. analit.byull. 2006. Issue12. S.149–151.
5. N.N Orekhova. Galvanoagulation method for selective extraction of copper and zinc from a misalignment Gorn.inform.analyte. Bull. 2009. Vol. 14 «Mineral-1. With 329–331.
6. Chalkova N.L., Chalkov D.A. Dezincing from model water сорбционными and by гальванокоагуляционными методами // Announcer MGTU the name of And Nosov G.I. 2008. № 3. S. 79.
7. Chanturia V.A Shadrunova I.V, Orekhova N.N. Chalkova N.L. Technology and zinc extraction out of mine and underdump waters. Ore-dressing. 2011, № 1, С. 36–39.
8. Gurba M.G. Sanitation and air-conditioning of natural waters: a condition, problems and development prospects // Water supply and a dignity. Technics. № 5, 2002.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 669.462

Полецков П.П.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОФИЛЯ И ПЛОСКОСТНОСТИ ТОНКОЛИСТОВОГО ПРОКАТА В ПРОЦЕССЕ ПРАВКИ РАСТЯЖЕНИЕМ С ИЗГИБОМ

Процесс исправления дефектов плоскостности горячекатаного тонколистового проката напрямую зависит от параметров настройки изгибо-растяжной машины (ИРМ). Как правило, с увеличением толщины горячекатаного металла уменьшаются величины перекрытия роликов и удлинение полосы в ИРМ (рис. 1 и 2) [1–3].

Произведем оценку представленных параметров удлинения полосы в ИРМ (см. рис. 1 и 2) с точки зрения исправления дефектов неплоскостности. Рассмотрим три основных дефекта: двусторонняя волнистость, коробоватость, односторонняя волнистость.

Во-первых, оценим максимальную высоту не-

плоскостности, исправляемую при данном удлинении, на основании известной формулы [4, 5]:

$$\frac{\Delta L}{L} = \left(\frac{\pi R}{2L} \right)^2. \quad (1)$$

Представленную зависимость (1) поясняет рис. 3. Из (1) следует, что высота неплоскостности R составляет

$$R = \sqrt{\frac{\Delta L}{L} \frac{2L}{\pi}} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{100} \frac{2L}{\pi}}, \quad (2)$$

где ε – удлинение в ИРМ, %.

Расчеты по формуле (2) показывают, что максимальная высота неплоскостности по определениям ГОСТ 19903 на базовой длине $L=1000$ мм, полностью исправляемая при данных параметрах удлинения в ИРМ, составляет от 110 до 45 мм в зависимости от толщины полосы (табл. 1). Эти значения в 3–9 раз превышают нормативы ГОСТ 19903 для горячекатаных полос.

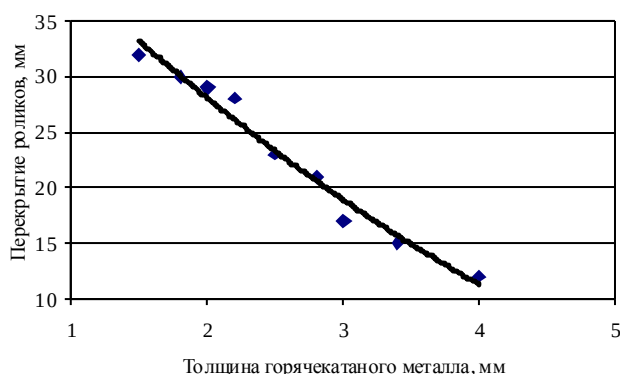


Рис. 1. Перекрытие роликов ИРМ НТА-1 ЛПЦ-5 ОАО «ММК»

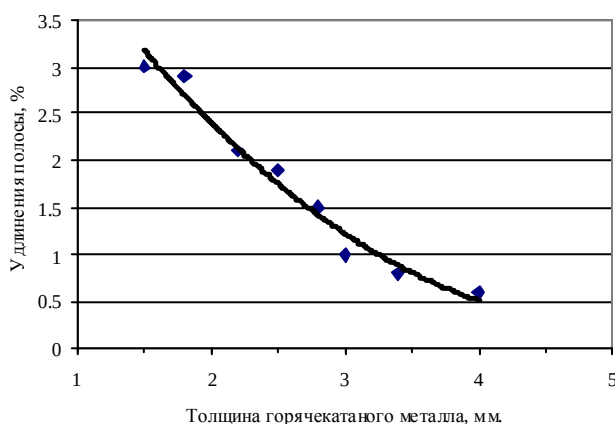


Рис. 2. Удлинение полосы в ИРМ НТА-1 ЛПЦ-5 ОАО «ММК»

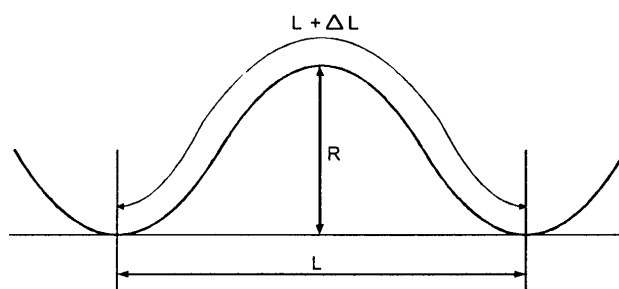


Рис. 3. Определение параметров неплоскостности

Таблица 1

Максимальная исправляемая высота неплоскостности

Толщина, мм	ε , %	R , мм	Нормальная плоскостность по ГОСТ 19903, мм
1,5	3	110,27	15
2,0	2	90,03	
2,5	1,5	77,97	
3,0	1,2	69,74	12
3,5	0,8	56,94	
4,0	0,5	45,02	

Во-вторых, рассмотрим, как изменится профиль поперечного сечения горячекатаного проката δh при исправлении неплоскостности высотой R (см. табл. 1).

А. Дефект «двусторонняя волнистость»

Если значение δh составляет 0,04 мм (как правило, минимальное значение из требований к профилю поперечного сечения подката [6]), то в результате удлинения в ИРМ произойдет некоторое снижение толщины полосы в средней части, что приведет к уменьшению выпуклости профиля поперечного сечения («чечевицы») и выходу за рамки норматива (не менее 0,04 мм). Следовательно, при исправлении «грубых» дефектов неплоскостности минимально допустимое значение «чечевицы» должно составлять от 0,045 до 0,07 мм (табл. 2).

Если значение δh максимально и составляет 0,10 мм, то в результате исправления дефекта «двусторонняя волнистость» уменьшенная выпуклость профиля поперечного сечения останется в рамках требуемых параметров (табл. 3).

Б. Дефект «коробоватость»

Если значение δh минимально и составляет 0,04 мм, то в результате удлинения в ИРМ произойдет некоторое снижение толщины полосы по краям, что приведет к некоторому увеличению выпуклости профиля поперечного сечения («чечевицы»). Однако последняя останется в рамках требуемых нормативов (табл. 4).

Если значение δh максимально и составляет 0,10 мм, то в результате удлинения в ИРМ произойдет

некоторое снижение толщины полосы по краям, что приведет к увеличению выпуклости профиля поперечного сечения («чечевицы») и выходу за рамки норматива (не более 0,10 мм). Следовательно, при исправлении грубых дефектов неплоскостности максимально допустимое значение «чечевицы» должно составлять от 0,07 до 0,095 мм (табл. 5).

В. Дефект «односторонняя волнистость»

Как правило, «односторонняя волнистость» сопровождается клиновидностью профиля поперечного сечения с меньшей толщиной в зоне дефекта. Исправ-

Таблица 4

Параметры коробоватости и профиля поперечного сечения при правке в ИРМ полос с $\delta h=0,04$ мм

Hk , мм	H_o , мм	ε , %	R , мм	Hk после правки, мм	δh после правки, мм	Максимально допустимое значение δh до правки, мм
1,5	1,54	3	110,27	1,47	0,07	0,10
2,0	2,04	2	90,03	1,98	0,06	0,10
2,5	2,54	1,5	77,97	2,485	0,055	0,10
3,0	3,04	1,2	69,74	2,988	0,052	0,10
3,5	3,54	0,8	56,94	3,492	0,048	0,10
4,0	4,04	0,5	45,02	3,995	0,045	0,10

Таблица 5

Параметры коробоватости и профиля поперечного сечения при правке в ИРМ полос с $\delta h=0,10$ мм

Hk , мм	H_o , мм	ε , %	R , мм	Hk после правки, мм	δh после правки, мм	Максимально допустимое значение δh до правки, мм
1,5	1,6	3	110,27	1,47	0,13	0,07
2,0	2,1	2	90,03	1,98	0,12	0,08
2,5	2,6	1,5	77,97	2,485	0,115	0,085
3,0	3,1	1,2	69,74	2,988	0,112	0,085
3,5	3,6	0,8	56,94	3,492	0,108	0,09
4,0	4,1	0,5	45,02	3,995	0,105	0,095

Таблица 6

Параметры односторонней волнистости и профиля поперечного сечения при правке в ИРМ полос с клиновидностью 0,04 мм

$Hk1$, мм	$Hk2$, мм	ε , %	R , мм	$Hk2$ после правки, мм	δh после правки, мм	Максимально допустимое значение δh до правки, мм
1,5	1,54	3	110,27	1,51	0,01	0,07
2,0	2,04	2	90,03	2,02	0,02	0,06
2,5	2,54	1,5	77,97	2,525	0,025	0,055
3,0	3,04	1,2	69,74	3,028	0,028	0,05
3,5	3,54	0,8	56,94	3,532	0,032	0,045
4,0	4,04	0,5	45,02	4,035	0,035	0,045

Таблица 2

Параметры двусторонней волнистости и профиля поперечного сечения при правке в ИРМ полос с $\delta h=0,04$ мм

Hk , мм	H_o , мм	ε , %	R , мм	H_o после правки, мм	δh после правки, мм	Минимально допустимое значение δh до правки, мм
1,5	1,54	3	110,27	1,51	0,01	0,07
2,0	2,04	2	90,03	2,02	0,02	0,06
2,5	2,54	1,5	77,97	2,525	0,025	0,055
3,0	3,04	1,2	69,74	3,028	0,028	0,055
3,5	3,54	0,8	56,94	3,532	0,032	0,05
4,0	4,04	0,5	45,02	4,035	0,035	0,045

Таблица 3

Параметры двусторонней волнистости и профиля поперечного сечения при правке в ИРМ полос с $\delta h=0,10$ мм

Hk , мм	H_o , мм	ε , %	R , мм	H_o после правки, мм	δh после правки, мм	Минимально допустимое значение δh до правки, мм
1,5	1,6	3	110,27	1,57	0,07	0,04
2,0	2,1	2	90,03	2,08	0,08	0,04
2,5	2,6	1,5	77,97	2,585	0,085	0,04
3,0	3,1	1,2	69,74	3,088	0,088	0,04
3,5	3,6	0,8	56,94	3,592	0,092	0,04
4,0	4,1	0,5	45,02	4,095	0,095	0,04

ление в ИРМ повлечет за собой существенное снижение клиновидности профиля поперечного сечения с 0,04 до 0,01–0,035 мм, что, в свою очередь, несколько расширяет границы максимальной клиновидности со стана горячей прокатки до 0,05–0,07 мм (табл. 6).

В результате имеем 2 случая:

- исправление дефекта «двусторонняя волнистость» при минимальном значении выпуклости профиля поперечного сечения (0,04 мм);
- исправление дефекта «коробоватость» при максимальном значении выпуклости профиля поперечного сечения (0,10 мм),

при которых устранение «грубых» явлений неплоскостности накладывает дополнительные ограничения на величину профиля поперечного сечения полосы. В первом случае нижняя граница выпуклости увеличивается до 0,045–0,07 мм, во втором – верхняя граница снижается до 0,07–0,095 мм в зависимости от толщины полосы.

Таким образом, можно отметить, что параметры удлинения в ИРМ (рис. 2) являются достаточными для исправления «грубых» дефектов неплоскостности, превышающих в 3–9 раз нормативы ГОСТ 19903. Однако в ряде случаев такие параметры удлинения ведут к ограничению показателей профиля поперечного сечения горячекатаного подката.

Список литературы

1. Оптимизация параметров настройки машины правки для эффективного разрушения окалины / Корнилов В.Л., Куницын Г.А., Дьяконов В.А., Буда-

- нов А.П., Полецков П.П. // Сталь. 2009. № 10. С. 77–79.
2. Оптимизация параметров настройки ИРМ для эффективного разрушения окалины / Корнилов В.Л., Куницын Г.А., Дьяконов В.А., Полецков П.П., Буданов А.П., Фиронов И.В. / Совершенствование технологий в ОАО «ММК». Вып. 14. Магнитогорск, 2009. С. 237–242.
3. Устройство для правки широких горячекатаных полос и способ их правки: пат. 2390396 РФ, МКИ В 21D 1/02 / Дьяконов В.А., Буданов А.П., Корнилов В.Л., Антипанов В.Г., Полецков П.П., Крюков Д.М.
4. Hormes P., Kneppel G. Der Einsatz von CVC-Walzen in Warm- und Kaltbandstraben // SMS Führend durch Technik.
5. Подразделения станов горячей и холодной прокатки и установок для обработки полосы. Симпозиум, сентябрь 2002. Россия. SMS Demag.
6. Управление качеством горячекатаного проката по профилю и плоскостности на базе использования автоматизированной системы / Салганик В.М., Полецков П.П., Кухта Ю.Б., Егорова Л.Г. // Вестник МГТУ им. Г.И.Носова. 2010. № 1. С. 59–62.

Bibliography

1. Optimization settings for efficient edging machine failure scale / Kornilov V.L., Kunitsyn G.A., Dyakonov V.A., Budanov A.P., Poletskov P.P. // Steel. 2009. № 10. P. 77–79.
2. Optimization settings for efficient edging machine failure scale / Kornilov V.L., Kunitsyn G.A., Dyakonov V.A., Poletskov P.P., Budanov A.P., Fironov I.V. // Improvement of the technology at JSC «MМК». Vol. 14. Magnitogorsk, 2009. P. 237–242.
3. Device for straightening hot rolled wide strips and the way it changes: pat. 2390396 RF, B 21D 1/02 / Dyakonov V.A., Budanov A.P., Kornilov V.L., Antipanov V.G., Poletskov P.P., Kryukov D.M.
4. Hormes P., Kneppel G. Der Einsatz von CVC-Walzen in Warm- und Kaltbandstraben // SMS Führend durch Technik.
5. Unit hot- and cold-rolling and processing plants for the band. Symposium, September 2002. Russia SMS Demag.
6. Quality management on the profile and flatness of hot-rolled based on automated system / Salganik V.M., Poletskov P.P., Kuhta Y.B., Egorov A.L.G. // Bulletin of the MSTU named after G.I. Nosov. 2010. № 1. P. 59–62.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.9

Сергеев С.В., Шаламов В.Г., Сергеев Ю.С., Прошунин Д.В.

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ И ПАЗОВ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ*

Особые затруднения в производственных условиях вызывает получение внутренних поверхностей, например, отверстий и узких глубоких пазов с повышенными требованиями по точности посредством концевых многолезвийных инструментов (КМИ). По заводским данным, например на ОАО «Агрегат» (г. Сим Челябинской области) до 40% обрабатываемых отверстий и пазов точные, и преобладают они в основном в деталях гидрораспределителей и пневморегуляторов аварийно-спасательного инструмента и топливорегулирующей аппаратуры авиационного назначения.

На практике заводские технологи, как правило, при проектировании технологических процессов пользуются различными справочниками, данные в которых являются весьма усредненными и не учитывают особенностей конкретной операции. В частности, режимы обработки для того или иного КМИ назначаются исходя из свойств обрабатываемого материала, вида оборудования, геометрии и стойкости инструмента и т.п. Вместе с тем, в этих руководящих материалах отсутствуют какие-либо сведения о вредном влиянии вибраций на точность формообразования отверстий и пазов, хотя ряд российских и зарубежных авторов [1–3] прямо указывают на то, что неотъемлемым свойством резания металлов как технологического процесса является наличие вибраций, вызванных самим ходом процесса или внешними возмущающими факторами. Поэтому при отладке операции возникают трудности, связанные с достижением требуемой точности обработки, а технолог практически вслепую решает эту задачу на интуитивном уровне либо прибегает к помощи эксперта.

В связи с этим возникает необходимость создания методики проектирования операций с учетом погрешностей обработки отверстий и пазов, возникающих из-за вибраций инструментов.

Такие данные можно получить на основе проведения компьютерных и натурных экспериментов, для чего необходимы математические модели расчета точности формообразования отверстий и пазов КМИ, учитывающие динамические факторы, но для этого сначала нужно понять механизм образования погрешностей.

Как уже неоднократно было показано [4–8], к главным причинам образования погрешностей обработки отверстий и пазов можно отнести то, что вращение стандартного КМИ в частности сверл, зенкеров, разверток и концевых фрез, даже с геометрически симметрично заточенными режущими лезвиями неизбежно сопровождается поступательными поперечными квазикруговыми автоколебаниями с частотой ω и амплитудой A по поверхности резания относительно каждого его зуба. При этом кинематические углы резания, а значит, и режущие свойства на зубьях КМИ будут различны из-за разнонаправленности скоростей вращения и перемещения центра КМИ. А это является главной причиной, по крайней мере, увеличения размера (разбивки) отверстий и пазов.

Другим важнейшим фактором, способствующим образованию погрешностей обработки отверстий, являются осевые и крутильно-осевые колебания ω_0 режущей части КМИ. Поскольку КМИ зачастую имеет пониженную жесткость в наладке и, вместе с тем, склонность к повышенному возбуждению вибраций, которые могут самовозбуждаться [5, 6] и при этом синхронизироваться и рассинхронизироваться [7, 8], поэтому амплитудно-фазочастотные характеристики могут иметь нестабильный характер.

Сами по себе осевые и крутильно-осевые автоколебания КМИ еще не нарушают симметрии его режущей части, но в сочетании с поперечными автоколебаниями могут приводить к нарушениям точности обработки, таким как погрешности поперечной и продольной формы отверстий в различных их проявлениях [9]. Полученные математические модели [8, 10–12], отражающие динамику процесса формообразования отверстий и пазов КМИ, имеют научную ценность в силу объяснения их механизмов. Однако применить их напрямую в инженерных расчетах весьма затруднительно.

* Работа выполнялась в рамках приоритетных направлений научно-исследовательской работы Высшей школы, разработанных Министерством образования и науки Российской Федерации по темам: «Технология переработки промышленных и бытовых отходов» и «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области станкостроения» при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2011–2013 гг. (госконтракт № 14.740.11.1123) и Российского фонда фундаментальных исследований – РФФИ (проекты: «Исследование поведения вращающихся проникающих при движении в твердых средах и формирование принципов моделирования процессов проникновения» № 07-01-96052-р_урал_а на 2007–2008 гг.; «Фундаментальные исследования колебательных процессов при формообразовании поверхностей в твердых средах вращающимися инструментами и разработка принципов управления этими процессами» № 08-08-00517-а на 2008–2009 гг.); «Разработка научных основ вибрационных технологий и создание нового класса оборудования для переработки и утилизации твердых отходов» № 10-08-96040-р_урал_а) на 2010–2012 гг.

Развитие теории резания и разрушения [13], а также численных методов решения задач и компьютерной техники позволяет реализовать компьютерные модели процесса резания с минимальным количеством допущений. Математическое моделирование процесса резания позволяет исследовать непосредственно процесс без проведения дорогостоящих натуральных экспериментов. А это, в свою очередь, существенно снизит затраты на освоение новых технологий. Однако существующие методики исследования дают значительные расхождения с экспериментом по силе резания, по величине усадки стружки, температуре в зоне резания, длине контакта стружки с инструментом и другим показателям.

В настоящее время, из известных методик моделирования динамики процесса резания материала с вибрациями, по мнению специалистов [14] в области информационных технологий в математическом моделировании, наиболее достоверное исследование упомянутых процессов возможно лишь при использовании метода конечных элементов, который является основой программного комплекса Ansys.

Ansys позволяет решать как статические, так и динамические задачи. Для начала был проведен статический расчет с использованием модуля Static Structural в Ansys Workbench, функционал которого позволяет производить прочностной анализ, расчеты линейной прочности, нелинейностей (деформации, упругости, пластичности, текучести, расчеты элементов на растяжение-сжатие и др.).

Для уменьшения объема вычислений и получения универсальных проектных зависимостей, адекватно отражающих реальные физические процессы резания, целесообразно использовать указанный вычислительный аппарат для расчета пластических деформаций и разрушения в зоне резания материала с вибрацией инструмента.

С целью реализации поставленной задачи была разработана следующая структура моделирования процесса резания вращающимся КМИ при обработке отверстий и пазов [15]:

- разработка геометрической модели режущего инструмента и заготовки;
- разбивка геометрической модели на конечные элементы;
- формирование краевых условий модели (частоты вращения, радиальных и осевых колебаний инструмента);
- задание уравнения состояния материала.

В результате расчета получаем динамический процесс формообразования поверхности (формирование ее геометрии) и при этом рассчитываем:

- поле пластической деформации исследуемого материала;
- силы резания;
- траекторию движения инструмента.

В частности, на основе моделирования в рамках задачи были получены деформации КМИ, например сверла и перемещения его режущих кромок.

Программный комплекс Ansys позволяет произ-

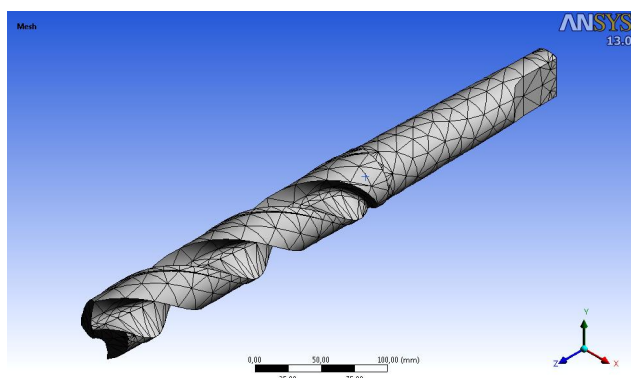


Рис. 1. Сетка конечных элементов

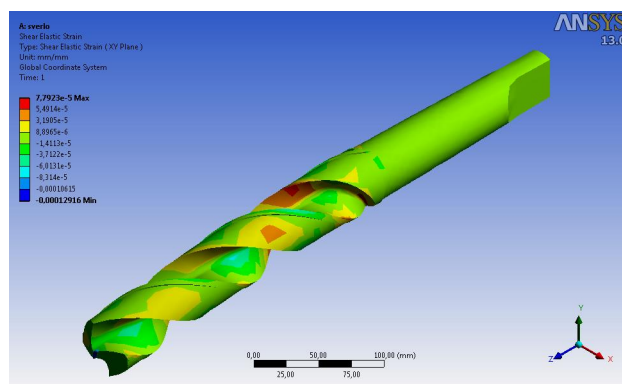


Рис. 3. Сдвиг под действием упругой деформации

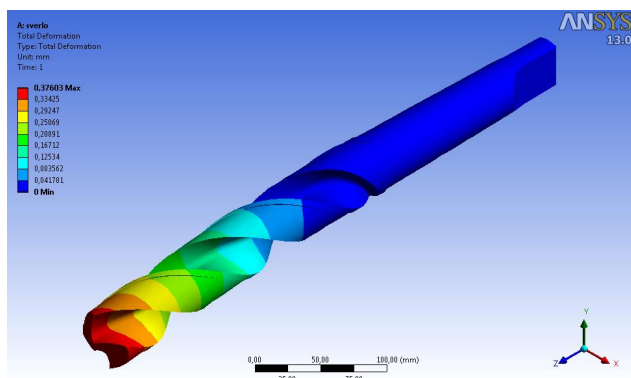


Рис. 2. Поле распределения деформаций

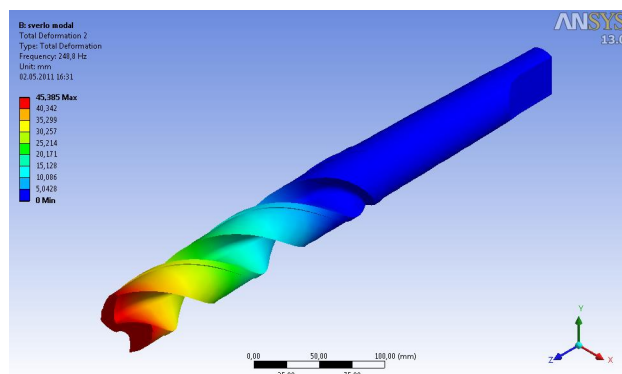


Рис. 4. Первая форма колебаний

водить расчеты задач как в 2D, так и в 3D постановке. Очевидным является тот факт, что расчет погрешностей обработки отверстий при сверлении целесообразно производить в 3D постановке.

Моделирование процесса сверления отверстия производится в 3 этапа: препроцессирование, процессирование и постпроцессирование.

На этапе препроцессирования осуществляется описание исходных данных для задачи, степеней свободы и формирование набора допущений. Этот этап подразумевает:

- построение геометрической модели инструмента;
- задание механических свойств материалов и при-

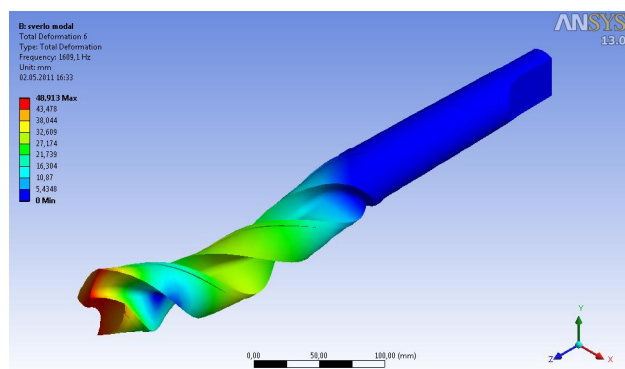


Рис. 5. Пятая форма колебаний



Рис. 6. Блок-схема расчета

- своеение их элементам геометрической модели;
- задание параметров разбиения и собственно разбиение модели на конечные элементы;
- задание контактных площадок или областей закрепления;
- задание усилий и моментов;
- задание рассчитываемых переменных.

На этапе процессирования производится расчет описанной задачи и расчет заданных переменных. На этом этапе никаких действий от расчетчика не требуется.

Этап постпроцессирования заключается в получении рассчитанных данных и последующем их анализе.

Рассмотрим этап препроцессирования более подробно.

Построение геометрической модели можно осуществлять как при помощи самого Ansys (модуль Design Modeller), так и с использованием сторонних CAD систем. Для удобства нами была использована система Autodesk Inventor и с помощью формата sat импортирована в Ansys.

Затем были заданы механические свойства материала сверла, которые были присвоены элементам геометрической модели.

Разбиение модели на конечные элементы было произведено автоматически с использованием метода Tetrahedrons с алгоритмом Patch conforming – модель разбивается на тетраэдры. Результат разбиения представлен в соответствии с рис. 1.

После разбиения на конечные элементы область хвостовика сверла была закреплена. В качестве сил резания были заданы осевая и радиальные составляющие, которые приложены к режущим кромкам. Рассчитываемыми величинами были деформация сверла и сдвиг. Результаты расчета указанных величин представлены в соответствии с рис. 2 и 3.

Для анализа собственных колебаний сверла был произведен его модальный анализ в рамках той же сетки конечных элементов.

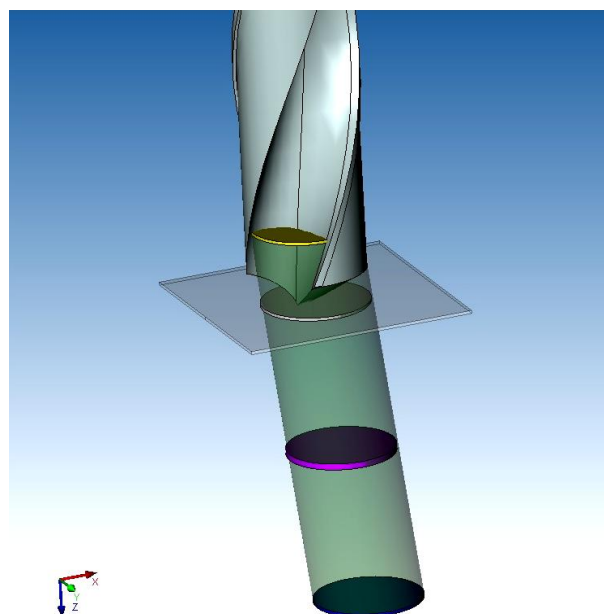


Рис. 7. Визуализация сформированной поверхности

Модальный анализ позволяет определить собственные частоты и формы колебаний. Кроме того, он используется как исходный для других, более подробных динамических расчетов, таких как нестационарный динамический анализ или отклик системы на гармоническое воздействие.

В программе Ansys модальный анализ является линейной процедурой. Любые нелинейности вроде пластичности или элементов зазора-контакта игнорируются, даже если они заданы. Доступны четыре метода выявления собственных форм колебаний, в том числе и с учетом демпфирования.

Модальный анализ может проводиться для предварительно напряженных конструкций. Еще одной полезной особенностью является учет модальной циклической симметрии, что дает возможность свести анализ всей конструкции к анализу ее части.

Нелинейные конечные элементы, если таковые используются в модели, трактуются как линейные. Например, жесткость элементов контакта рассчитывается исходя из их начального положения и затем не изменяется.

При выполнении модального анализа задаются модуль Юнга и плотность материала, который предполагается линейным, изотропным или ортотропным, со свойствами, зависящими или не зависящими от температуры.

При определении собственных форм колебаний можно использовать четыре метода: сокращенный, подпространственный, несимметричный (для задач с несимметричной матрицей, например при взаимодействии жидкости с конструкцией) и декрементный (когда нельзя пренебречь трением, например при анализе движения по опорной поверхности).

Для анализа было выделено 6 форм (мод) собственных колебаний.

Результаты расчета представлены в соответствии с рис. 4, 5.

Блок-схема (рис. 6) полного расчета динамики процесса формообразования внутренних поверхностей включает:

- учет сдвига срезаемого слоя материала каждым лезвием КМИ;
- определение центров мгновенного качения КМИ на лезвии с максимальным усилием сдвига [6, 7];
- расчет траектории поворота геометрического центра КМИ вокруг нового центра вращения, а также величины осевой подачи в конкретный момент времени через заданный временной шаг расчета, например через каждые 0,001 с.

Причем, в процессе расчета, когда сумма возвращающих сил (сил сопротивления изгибу и скручиванию) достигнет величины, достаточной для сдвига слоя металла на подвижном лезвии, происходит возврат центра вращения КМИ в «исходное положение», то есть процесс резания как бы начинается двумя лезвиями с одновременной релаксацией стержня инструмента к его равновесному состоянию.

При этом на каждом этапе итеративного исчисления в программе происходит «сохранение» поверхно-

сти, образуемой лезвиями КМИ для расчета срезаемых слоев с учетом осевых колебаний инструмента.

В конце расчета получаем геометрические параметры сформированной поверхности с визуализацией ее на дисплее (рис. 7).

Полученные результаты расчета для операций сверления, зенкерования и развертывания отверстий, а также для фрезерования узких глубоких пазов концевыми фрезами были сопоставлены с результатами натуральных экспериментов. В итоге, была установлена достаточно высокая сходимость результатов.

На практике данная модель и результаты расчета могут быть использованы для оптимизации режимов резания с точки зрения получения наивыгоднейшего соотношения частот самопроизвольных осевых и радиальных колебаний КМИ, при котором обеспечивается наилучшая точность получаемых поверхностей (а.с. 122088, 1537398 СССР).

Список литературы

1. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970. 350 с.
2. Кумабэ Д. Вибрационное резание / пер. с яп. С.Л. Масленникова; под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. М.: Машиностроение, 1985. 424 с.
3. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. М.: Машиностроение, 1982. 208 с.
4. Сергеев С.В. Повышение эффективности вибрационных процессов при механической обработке различных материалов: монография. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. 262 с.
5. Сергеев С.В. Анализ механизмов возникновения погрешностей обработки при формообразовании отверстий концевым многолезвийным инструментом // Технология машиностроения. М.: Издательский центр «Технология машиностроения», 2010. № 2. С. 14–18.
6. Сергеев С.В. Особенности моделей динамических процессов сверления отверстий // Технология машиностроения. М.: Издательский центр «Технология машиностроения», 2010. № 4. С. 14–19.
7. Сергеев С.В. Влияние радиальных автоколебаний сверла на точность формообразования отверстий многолезвийным инструментом // Технология машиностроения. М.: Издательский центр «Технология машиностроения», 2010. № 8. С. 15–20.
8. Сергеев С.В. Влияние вибрационного радиального перемещения фрез при их кинематической диссимметрии на точность формообразования // Вестник машиностроения. М.: Машиностроение, 2010. № 12. С. 43–48.
9. Сергеев С.В. Научные основы процессов формообразования внутренних поверхностей вращающимися многоэлементными проникающими инструментами // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 43–46.
10. Сергеев С.В. Моделирование точности формирования отверстий при сверлении / СТИН. М., 2010. № 9. С. 33–38.
11. Сергеев С.В. Влияние синхронизации автоколебаний сверла на точность формирования отверстий / СТИН. М., 2010. № 10. С. 19–24.
12. Сергеев С.В. Влияние синхронизации автоколебаний сверла на точность формирования отверстий при многоинструментной обработке / СТИН. М., 2010. № 11. С. 22–28.
13. Залогов В.А., Криворучко Д.В., Хвостик С.Н. О выборе уравнения состояния обрабатываемого материала для моделирования процесса резания методом конечных элементов // Материалы и технологии в машиностроении. Сумы: Вісник СумДУ, 2006. № 12. С. 101–115.
14. Борзунова Т.Л., Ризниченко Г.Ю. Информационные технологии в математическом моделировании // Математика. Компьютер. Образование: сб. трудов XII междунар. конференции. Т. 1. Ижевск: Науч.-издат. центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. С. 277–288.
15. Сергеев С.В., Прошунин Д.С., Сиглаев С.А. Исследование динамики процесса формообразования внутренних поверхностей в программной среде Ansys AutoDyn // Математическое моделирование и крайние задачи: тр. 7 всерос. науч. конф. с международным участием. Ч. 4.: Информационные технологии в математическом моделировании. Самара: СамГТУ, 2010. С. 177–179.

Bibliography

1. Poduraev V.N. Machining with vibrations. Moscow: Mashinostroyeniye, 1970. 350.
2. Kumabe D. Vibration Cutting / trans. with Jap. S.L. Maslennikov; ed. I.I. Portnov, V. Belov. M.: Mashinostroyeniye, 1985. 424 p.

3. Tverskoy M.M. Automatic mode control processing parts on the machines. Moscow: Mashinostroyeniye, 1982. 208 p.
4. Sergeev S.V. Improving the efficiency of vibration processes for machining of various materials: monograph. Chelyabinsk: Izd SUSU, 2004. 262 p.
5. Sergeev S.V. Analysis of the mechanisms of error handling in shaping holes terminal multiblade instrumentum // Mechanical Engineering Technology. Moscow: Publishing Center «Mechanical Engineering», 2010. № 2. P. 14–18.
6. Sergeev S.V. Features of models of dynamic processes drilling // Mechanical Engineering Technology. Moscow: Publishing Center «Mechanical Engineering», 2010. № 4. P. 14–19.
7. Sergeev S.V. Effect of radial oscillations of drills on the accuracy of forming holes multiblade tool // Mechanical Engineering Technology. Moscow: Publishing Center «Mechanical Engineering», 2010. № 8. P. 15–20.
8. Sergeev S.V. Effect of vibration of the radial displacement mills in their kinematic asymmetry in the Accuracy of shaping // Vestnik engineering. Moscow: Mashinostroyeniye Publishing, 2010. № 12. P. 43–48.
9. Sergeev S.V. Scientific bases of forming the internal surface of a rotating multielement pronikatelyami // Vestnik MSTU. them. G.I. Nosov. Magnitogorsk: MGTU them. G.I. Nosov, 2010. № 2. P. 43–46.
10. Sergeev S.V. Simulation accuracy of forming holes for drilling // STIN. M., 2010. № 9. P. 33–38.
11. Sergeev S.V. Effect of synchronization of self-drills on the accuracy of the formation of holes // STIN. M., 2010. № 10. P. 19–24.
12. Sergeev S.V. Effect of synchronization of self-drills on the accuracy of the formation of holes in mnogoinstrumentnoy processing // STIN. M., 2010. № 11. P. 22–28.
13. Zaloga V.A., Krivoruchko D.V., Hvosik S.N. On the choice of equation of state of the material to simulate the cutting process by finite element method // Materialy i tehnologii v mashinobuduvani. Sumi.: Visnik SumDU, 2006. № 12. P. 101–115.
14. Borzunova T.L., Riznichenko G.Yu. Information technologies in mathematical modeling // Math. Computer. Education. Cb. Proceedings XII International Conference. V.1. Izhevsk: Scientific Publishing Center «Regular and Chaotic Dynamics», 2005. P. 277–288.
15. Sergeyev S.V., Proshurin D.S., Sigolaev S.A. Study of the dynamics of the process of forming the inner surfaces of the software environment Ansys AutoDyn // Mathematical modeling and boundary problems: Proceedings of the Seventh All-Russian Scientific Conference with international participation. Part 4.: Information technology in mathematical modeling. Samara: Samara State Technical University, 2010. P. 177–179.

УДК 621.81:538.3

Симонова Ю.Э., Пачевский В.М., Ткаченко Ю.С.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ЧУГУННЫХ ПАР ТРЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ТИПА НАПРАВЛЯЮЩИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

Среди способов нанесения покрытий напылением наиболее широкое распространение получил метод газотермического напыления самофлюсующимися материалами [1]. Данный метод позволяет получать плотные износостойкие коррозионностойкие покрытия с высокой адгезией.

К достоинствам метода можно отнести:

1. Возможность получения износостойкой структуры, основу которой составляют боридные и карбидные фазы высокой твердости.
2. Обеспечение равномерного покрытия как на большой площади, так и на ограниченных ее участках.
3. Возможность использования различных металлов, сплавов, обеспечивающих получение многослойных покрытий со специальными характеристиками, плавящихся при температуре до 2800°C без разложения.
4. Обеспечение толщины покрытия в пределах от 50 мкм до 10 мм и более за один проход.
5. Высокая производительность процесса (до 10 кг/ч) и высокий коэффициент использования материала (0,60–0,95).
6. Относительно малое тепловое воздействие на подложку (в пределах 50–150°C), то есть при напылении основа материала мало деформируется и практически структурно не изменяется.
7. Оборудование отличается простотой и лёгкостью управления, процесс напыления обеспечивает высокую производительность.

Для восстановления рабочих поверхности деталей применяют три вида газопламенного напыления: без оплавления, с последующим оплавлением, с одновременным оплавлением.

Напыление без оплавления применяют для восстановления преимущественно стальных деталей. Служит для восстановления деталей с износом до 2,0 мм на

сторону, не испытывающих деформации, искажения или изменения структуры основного металла, не испытывающих в процессе эксплуатации знакопеременных нагрузок и большого нагрева. Покрытия без оплавления наносят при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при невысоких требованиях к прочности соединения с основным материалом.

Последующее оплавление выполняют для деталей типа вал, в том числе из конструкционных сталей, в случае износа до 2,5 мм на сторону. Восстановленные детали устойчивы к коррозии, абразивному изнашиванию, действию высоких температур. Как правило, нанесенное покрытие оплавляют газокислородным пламенем, в индукторе или другим источником тепла для покрытий толщиной 0,5–1,3 мм. Этот вид оплавления покрытий, полученных газопламенным напылением, используют редко из-за требований к применению дополнительного оборудования, которое ведет к удорожанию производства.

Газопламенное напыление с одновременным оплавлением покрытия используют для восстановления деталей как из стали, так и серого чугуна с местным износом до 5 мм, полученные покрытия устойчивы к абразивному изнашиванию.

Рассматривая проблему износа применительно к направляющим скольжения, выполненным из серого чугуна марки СЧ 21, с местным износом до 0,1 мм [2] при правильной эксплуатации станочного оборудования (вследствие протяженности направляющих в процессе эксплуатации происходит неравномерный износ), жестких требований к структуре металла при тепловом воздействии, приводящему к абразивному износу, можно считать газопламенное напыление с одновременным оплавлением покрытия наиболее эф-

фективным, что и было взято в основу разрабатываемой технологии.

С целью равномерности и регулирования расхода двухкомпонентного напыляемого порошка был разработан питатель, представленный на рисунке [3–5].

В рассматриваемом случае благодаря разработанному бункеру и устройству подачи порошка возможно получать поверхности различного химического состава по длине или глубине восстанавливаемого слоя без переналадки устройства.

Питатель содержит герметичные бункеры 1 и 2, причём бункер 2 снабжён индивидуальным приводом вращения, позволяющим регулировать подачу порошка посредством шнека, проходящего через бункер 2. В нижней части бункера 1, в центральном канале, размещена крыльчатка, вращение которой осуществляется посредством транспортирующего газа. Её применение осуществляет более равномерно перемешивание порошка 1 и порошка 2. Подача сжатого воздуха даёт следующие преимущества: регулирование длины пламени; предохранение от перегрева внутреннего сопла.

При формировании толщины покрытия учитывалось:

- припуск на обработку после напыления;
- возможная усадка напыляемого материала, $\approx 20\%$;
- величина износа восстанавливаемой поверхности (до 0,1 мм).

Таким образом, учитывая вышеизложенные рекомендации, примем величину напыляемого слоя, равную 0,25 мм.

Основные данные режима напыления, используемые для восстановления направляющих скольжения, выполненных из серого чугуна марки СЧ-21, приведены в таблице.

Технологический процесс восстановления изношенной поверхности направляющих скольжения, выполненных из серого чугуна СЧ 21 газопламенным напылением с переменным по длине химическим составом, включает следующие этапы:

1. Дробеобразивная обработка поверхности с целью удаления окисной плёнки с обеспечением однородной матовой поверхности, не допуская наличия проблесков.

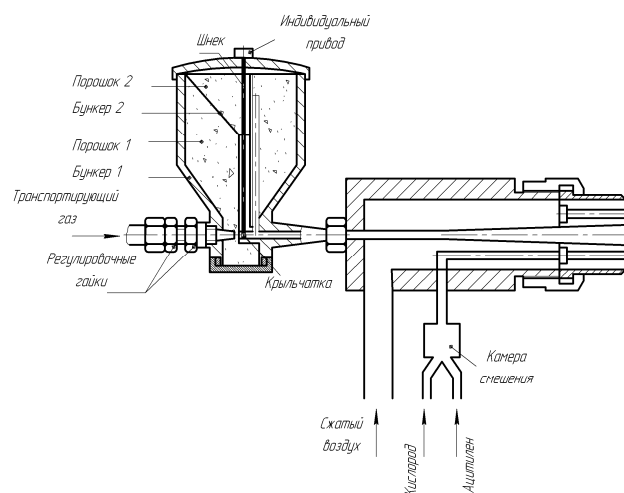


Схема устройства для газопламенного напыления

Подготовленные под напыление пластины должны быть защищены от попадания масла и грязи.

2. Собственно процесс газотермического напыления состоит из следующих переходов: прогрева массива пластины до температуры около 300°C (появление синего цвета побежалости на поверхности) и собственно напыление с оплавлением.

Напыление осуществляется в несколько проходов для получения необходимой толщины наплавки.

В процессе напыления температура контролируется по началу плавления порошка, не допуская перегрева и стекания наплавки, то есть напыление производится с одновременным оплавлением.

3. После завершения напыления пластина погружалась в сухой песок для замедленного остывания.

4. После остывания в песке пластины подвергаются следующей термообработке: нагрев со скоростью 100–150°C в час до температуры 775±10°C, выдержка при этой температуре 2 ч и охлаждение печью. С температуры 150–200°C возможно охлаждение на воздухе.

5. Механическая обработка производилась ручным шлифовальным приспособлением. Шлифование производят торцом чашечных кругов. Наилучшие результаты шлифования были достигнуты при окружной скорости шлифовального круга в пределах 35–40 м/с со скоростью движения стола 6–8 м/мин. Проводилась предварительная и окончательная обработка. На переходе предварительного шлифования величина снимаемого слоя составляла 0,13 мм, при этом окончательное шлифование заканчивают при том проходе, на котором глубина резания менее 0,01 мм.

6. После механической обработки пластин наплавленный слой контролируется методом капиллярной дефектоскопии, позволяющим выявить трещины с помощью индикаторной краски на бензоле шириной 0,005–0,01 мм и глубиной 0,01–0,4 мм.

Оборудование:

1. Горелка типа «ЕВРО-ДЖЕТ XS-8».

2. Питание поста газотермического напыления производится от кислородного типа А и ацетиленового типа Б баллонов по ГОСТ 949-78 через кислородные и ацетиленовые редукторы.

3. Дробеобразивная обработка пластин производилась на установке ЦВ-40.

Материалы, используемые при напылении:

1. Порошки ПР-Н65Х25С3Р2 и ПР-Н77Х15С3Р2 грануляцией 40–100 мкм (ТУ 14-22-33-90).

2. В качестве основных газов использовался ацетилен, растворённый по ГОСТ 5457-78 и кислород по ГОСТ 5583-78.

Расход рабочего газа, л/мин:	
O ₂	16,5
C ₂ H ₂	10,0
Давление сжатого воздуха, МПа	35
Скорость транспортирующего газа, м/с	40
Скорость перемещения горелки, м/мин	15
Шаг напыления, мм	6
Угол наклона горелки к восстанавливаемой поверхности, град	90

3. Для дробеобразивной обработки пластин использовался карбид кремния марки 54С зернистостью 16–25 по ГОСТ 26327-80.

Определение величины интенсивности изнашивания трения при скольжении выявлялось с помощью четырёхшпиндельной машины Т.В. Ларина и Б.М. Асташкевича. Число двойных ходов в минуту регулировалось в пределах 30–800 в зависимости от температуры, которая контролировалась термопарами, установленными на образце неподвижной направляющей. Давление составляло 3 МПа. Силу трения измеряли с помощью тензодатчиков. Контртелом служил образец из серого чугуна марки СЧ15. Интенсивность изнашивания исследуемой направляющей скольжения определяли методом вырезанных лунок. Величина линейного износа определялась как разность глубин лунки до и после работы детали. Результаты исследований показали, что величина износа находится в пределах 0,01–0,015 мм. Режимы подбирались с условием соответствия работы направляющих скольжения реального станка при эксплуатации в условиях 1 год при двухсменной работе.

В результате проведенного комплекса мероприятий по выбору технологического процесса, модернизации оборудования и подборов режимов напыления установлено, что работоспособность направляющих скольже-

ния была увеличена на 15 по сравнению с традиционным методом повышения износостойкости деталей данного типа закалкой токами высокой частоты.

Список литературы

1. Хасуй А., Мориаки О. Наплавка и напыление. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
2. Утенков В.М. Прогнозирование потери точности металлорежущих станков с направляющими скольжения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01. М., 1995. 29 с.
3. Ткаченко Ю.С., Слепцова М.В. Ускоренные методы исследования и испытания конструкционных сталей: учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2001. 81 с.
4. Новожилов Н.М. Способ получения сплава заданного химического состава: а. с. 507428 СССР. БИ. 1976. № 11.
5. Горстин В.Ю. Дозатор шнекового типа для подачи смеси порошков в распылительное устройство: а. с. 1098579 СССР. БИ. 1984. № 23.

Bibliography

1. Khasui A., Morigaki O. Deposition and spraying. Moscow: Mashinostroyeniye, 1985. 240 pages.
2. Utenkov V.M. Prediction of accuracy loss of cutting machines with slide guides: Abstract of the thesis of ... Dr. Sci. Tech.: 05.03.01. Moscow, 1995. 29 pages.
3. Tkachenko J.S., Sleptsova M.V. Accelerated research and trial methods of constructional steel: Manual. Voronezh: Voronezh State Technologic University, 2001. 81 pages.
4. Novozhilov N.M. Deriving method of pre-set chemical compound alloy. Inventor certificate #507428. «Invention Bulletin», 1976, #11.
5. Gorstin V.J. Screw dust mixture feeding system into the dispensing device. Inventor certificate #1098579. «Invention Bulletin», 1984, #23.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.791.927.55

Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П., Морозов А.Н.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЗОНЫ СПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОКРЫТИЯ ТИПА 250Х15Г20С

Плазменно-порошковая наплавка нашла широкое применение для восстановления и упрочнения деталей в случаях, когда необходимо обеспечить заданный химический состав и свойства наплавленного металла в относительно тонком поверхностном слое [1, 2, 5]. При этом определённые свойства наплавленного металла (например, твёрдость, износостойкость или теплостойкость и т.д.) должны быть, как минимум, не ниже свойств основного металла, а зачастую даже превосходить их.

При этом, стремясь получить наплавленный металл с максимально возможно высокими значениями физических и механических свойств, наплавку производят на таких режимах, при которых глубина проплавления металла подложки стремится к минимально возможному своему значению, и доля участия основного металла в наплавленном металле также минимальна. Формирующаяся в этом случае зона сплавления весьма незначительна по толщине по сравнению с толщиной наплавленного металла, и в ней

наблюдается очень сильный градиент химического состава по всем элементам, входящим в состав присадочного порошка. Это приводит к образованию сильных фазовых напряжений по всей толщине зоны сплавления, что нередко способствует образованию трещин, распространяющихся по зоне сплавления.

Таким образом, преследуя цель обеспечить максимально высокие свойства наплавленного металла, приходится использовать зеркально противоположные приёмы: стремясь понизить долю участия основного металла в наплавленном, уменьшать глубину проплавления (каким-либо из технологических приёмов), что нередко приводит к образованию трещин из-за сильных напряжений, а стремясь избежать образования структурных напряжений в зоне сплавления, приходится увеличивать долю участия основного металла в наплавленном и толщину зоны сплавления.

Целью настоящей работы является изучение зоны сплавления, образующейся при плазменно-порошковой наплавке твердосплавных покрытий, а также анализ влияния технологических воздействий и режимов наплавки на состав, толщину и свойства зоны сплавления.

В настоящей работе исследовали особенности структурообразования и свойства износостойкого покрытия типа 250Х15Г20С. Наплавку производили плазмотроном прямой полярности, варьируя силу тока в пределах 80–180 А и применяя модуляцию тока.

На работоспособность наплавленного металла и прочность связи его с основным металлом влияет степень проплавления, характер образующихся промежуточных сплавов и диффузионных процессов, протекающих в приграничных участках сварочной ванны. В связи с неодинаковой интенсивностью конвективных потоков, вызываемых различными температурами жидкости в различных зонах ванны, вблизи границы сплавления возможно образование слоёв, в которых перемешивания, т.е. усреднения состава жидкости практически не происходит. Таким образом, изучение процессов, происходящих в зоне сплавления, и определение рациональных режимов наплавки является весьма актуальной задачей.

Режим наплавки в значительной степени определяет структуру зоны сплавления [2]. При плазменной наплавке подложка быстро прогревается, процесс идет при крутом подъёме кривой теплового насыще-

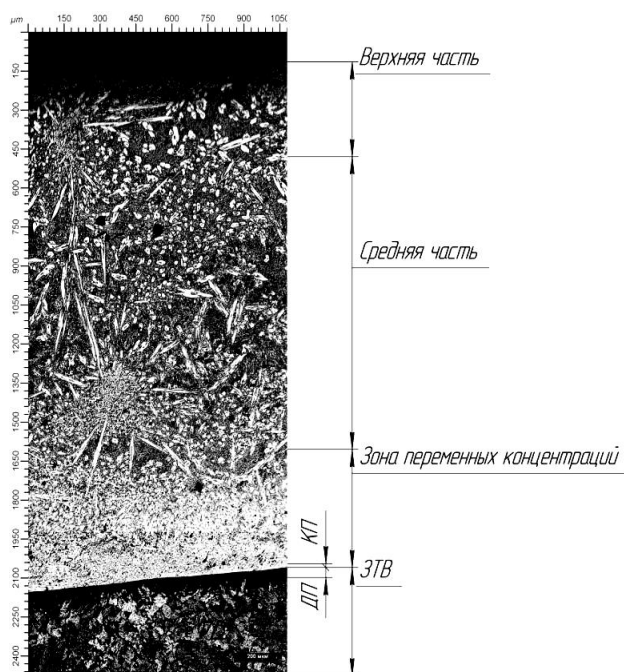


Рис. 1. Панорама строения покрытия 250Х15Г20С, $\times 100$

ния, что приводит к образованию глубокой зоны проплавления и значительному подмешиванию основного металла в наплавленный. Для обеспечения равномерного формирования валика, с плавным переходом структуры и свойств от подложки к наплавленному металлу, наиболее эффективно управление мощностью дуги, величиной тепловложения и расходом присадочного материала. Повышая коэффициент наплавки, при заданном значении силы тока, увеличивается толщина наплавленного металла, а подмешивание основного металла уменьшается. Все исследованные нами образцы наплавлялись при подаче присадочного порошка не менее 5 кг/ч, что обеспечивало долю участия основного металла в наплавленном не более 5%, даже при наплавке на токе 180 А.

В наплавленном металле можно выделить три зоны (рис. 1), а в металле подложки – зону термического воздействия.

При плазменно-порошковой наплавке зона сплавления отличается неоднородностью строения и свойств. При всех режимах наплавки зона сплавления состоит из кристаллизационной прослойки (КП), примыкающей к видимой границе раздела подложка/наплавленный металл со стороны наплавленного металла, и диффузионной прослойки (ДП), примыкающей со стороны подложки. Под диффузионной прослойкой расположена зона термического воздействия (ЗТВ).

При наплавке на токе 120 А образуются правильные валики наплавленного металла, однако сплавление с подложкой не происходит, что может быть объяснено высокой поверхностной энергией наплавляемого металла и его низкой жидкотекучестью.

Металлографические исследования средней части покрытия, наплавленного на токах 120 и 180 А, показали, что металлическая основа наплавленного металла типа 250Х15Г20С, после травления реактивом Марбле, окрашивается в тёмно-коричневый цвет и может быть идентифицирована как высоколегированный аустенит. На тёмном аустенитном поле равномерно распределены частицы упрочняющих фаз: карбидная эвтектика пластинчатого строения и кристаллы первичных карбидов, которые по морфологическим признакам могут быть идентифицированы как карбиды хрома типа M_7C_3 (характерные шестигранные призмы, равномерно расположенные в наплавленном металле и имеющие различную ориентировку оси C). Микротвёрдость аустенитно-

карбидной эвтектики составляет 4314–6145 МПа, а микротвёрдость карбидов хрома вдоль оси C – 8100–8500 МПа, поперёк оси C – 10550 МПа.

Вблизи зоны сплавления структура наплавленного металла характеризуется уменьшением размеров карбидов хрома и межплоскостного расстояния в эвтектике, что может быть объяснено более высокими скоростями кристаллизации металла наплавки на дне сварочной ванны, в связи с теплоотводом в подложку, по сравнению с металлом из средней части ванны.

Характер изменения твёрдости Виккерса через границу раздела подложка/наплавленный металл оценивали на пути в 120 мкм, причем первые три отпечатка производили в металле подложки, а остальные – в наплавленном металле. Угол наклона линии тренда ($\tan \alpha$) твёрдости Виккерса, проведённой на пути в 120 мкм, позволяет судить о напряжённости зоны сплавления, вызванной резким изменением свойств подложки и наплавленного металла.

Микроструктура средней части наплавленного металла и зоны сплавления, а также характер изменения твёрдости Виккерса покрытия 250Х15Г20С, наплавленного на токе 180 А, показаны на рис. 2 и 5.

Наилучшую трещино- и ударостойкость обеспечивает зона сплавления, в которой свойства наплавленного металла и свойства подложки изменяются плавно и без резких скачков, а в микроструктуре отсутствуют мартенситные и ферритные составляющие, а также кристаллиты карбида хрома типа M_7C_3 [2,4]. Дозированный нагрев металла подложки при плазменно-порошковой наплавке, исключая излишний её перегрев и небольшую глубину проплавления, позволяет сформировать оптимальную с точки зрения обеспечения трещино- и ударостойкости структуру зоны сплавления [3]. Однако наличие первичных кристаллов карбида хрома в микроструктуре средней части наплавленного металла предопределяет невысокую ударостойкость такого покрытия. В связи с чем исследовалось влияние модуляции тока на структуру и свойства наплавляемого металла. Модуляцию проводили по двум режимам:

- 1) 120/60 А с частотой 1 Гц;
- 2) 180/80 А с частотой 2 Гц.

При наплавке с модуляцией тока по режиму 1 происходит изменение типа кристаллизации наплавленного металла по сравнению с наплавкой без модуляции. Микроструктура металла, наплавленного с модуляцией

120/60 А и частотой 1 Гц, приобретает эвтектическое строение (рис. 3, а) по сравнению с заэвтектическим типом металла, наплавленного без модуляции тока (рис. 2, а). Изменение характера кристаллизации и подавление выделения первичных карбидов хрома при введении модуляции тока объясняется образованием неравновесного избытка эвтектики при повышении скорости кристаллизации [4]. При этом твёрдость наплавленного металла повышается и достигает 59,2 HRC.

Характер зоны сплавления также

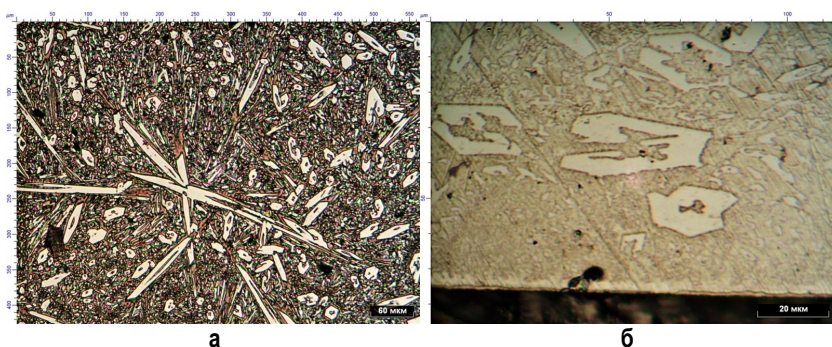


Рис. 2. Микроструктуры средней части (а) и зоны сплавления (б) покрытия, наплавленного по режиму: ток 180 А, расход 6 кг/ч, скорость 0,5 см/с

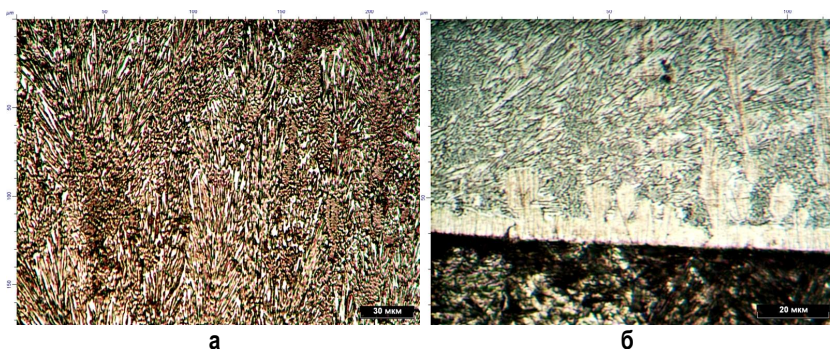


Рис. 3. Микроструктуры средней части (а) и зоны сплавления (б) покрытия, наплавленного по режиму: ток 120/60 А, частота 1 Гц, расход 6 кг/ч, скорость 0,5 см/с

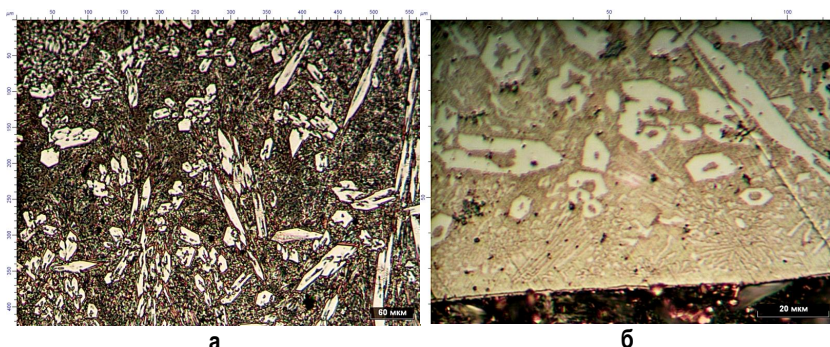


Рис. 4. Микроструктуры средней части (а) и зоны сплавления (б) покрытия, наплавленного по режиму: ток 180/80 А, частота 2 Гц, расход 6 кг/ч, скорость 0,5 см/с

претерпевает значительные изменения: непосредственно к видимой границе раздела со стороны наплавленного металла примыкает кристаллизационная прослойка толщиной 10–15 мкм (рис. 3, б), которая по характеру травления, морфологическим признакам и дюротрическим характеристикам соответствует аустениту [2]. Изменение твёрдости Виккерса в зоне сплавления покрытия 250Х15Г20С наплавленного с модуляцией тока 120/60 А, частотой 1 Гц, показан на рис. 5.

Наплавка по второму режиму, с введением модуляции тока 180/80 А с частотой 2 Гц, приводит к формированию в средней части покрытия заэвтектической структуры наплавленного металла (рис. 4, а), а в зоне сплавления – тонкой кристаллизационной прослойки толщиной 4–6 мкм (см. рис. 3, б), которая по дюротрическим измерениям идентифицируется как легированный аустенит. Изменение твёрдости Виккерса в зоне сплавления показано на рис. 4.

При плазменно-порошковой наплавке толщина зоны сплавления редко превышает 80–100 мкм, а толщина диффузионной прослойки в металле подложки составляет величину в несколько микрометров или даже доли микрометра, поэтому, сравнивая распределение твёрдости Виккерса в зоне сплавления на пути в 120 мкм, можно судить о характере напряжённого состояния зоны сплавления, не затрагивая среднюю часть покрытия. Для определения среднеагрегатной твёрдости наплавленного металла при измерении её по методу Виккерса использовали нагрузку 100 г, а для измерения

твёрдости в тонких слоях (диффузионная и кристаллизационная прослойки) использовали нагрузку 20 г.

Интенсивность набора твёрдости отражает коэффициент при X ($\tan \alpha$) в уравнении линии тренда, приведённом у кривых на рис. 5. Согласно этим данным наиболее интенсивно твёрдость возрастает при наплавке без модуляции при силе тока 180 А. При введении модуляции тока 180/80 А с частотой 2 Гц повышение твёрдости происходит с меньшим темпом, однако это не приводит к плавному изменению её от уровня металла подложки до уровня наплавленного металла. Введение модуляции тока 120/60 А с частотой 1 Гц приводит к изменению твёрдости в зоне сплавления с наименьшей интенсивностью, что косвенно подтверждает меньшую напряжённость зоны сплавления [3].

Результаты металлографического анализа зоны сплавления покрытий при плазменно-порошковой наплавке, в частности измерение толщины и твёрдости кристаллизационной прослойки (если она формируется), позволяют судить о склонности наплавленного металла к образованию трещин и способности противостоять их

образованию при эксплуатации. Анализ полученных данных полностью подтверждают предположение о необходимости наплавки на таких режимах, при которых формируется плотная кристаллизационная прослойка аустенита с твёрдостью средней между твёрдостью металла подложки и покрытия.

Данные, приведённые на рис. 5, показывают, что введение модуляции тока при плазменно-порошковой наплавке износостойких покрытий весьма эффективно. Наилучшие результаты достигаются при наплавке на режимах, при которых не происходит чрезмерный перегрев сварочной ванны и первичные кристаллы карбидов хрома не выделяются. Эвтектический аустенит при этом в значительной степени насыщен хро-

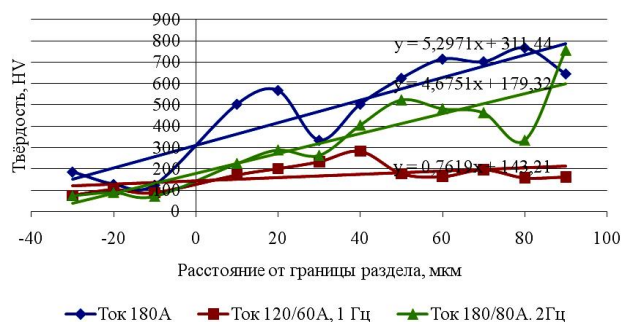


Рис. 5. Характер распределения твёрдости Виккерса по зоне сплавления в зависимости от режима наплавки

мом и марганцем, что повышает его микротвёрдость и прочность в целом, а значит, способствует лучшему закреплению карбидных пластинок и повышению третино- и ударостойкости. Этому же способствует и формирование в зоне сплавления аустенитной кристаллизационной прослойки достаточной толщины (не менее 10 мкм) и оптимальной твёрдости.

Наплавка с введением модуляции тока 120/60 А, частотой 1 Гц позволяет сформировать зону сплавления с плавным переходом свойств от подложки к наплавленному металлу, благодаря формированию кристаллизационной прослойки высоколегированного аустенита. При этом микроструктура средней части наплавленного металла приобретает эвтектический тип, а твёрдость повышается на 1,5–3 единицы Роквелла. Такое строение зоны сплавления и средней части наплавленного металла обеспечивает наилучшую ударо- и третиностойкость покрытия.

Список литературы

1. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Машиностроение, 1987. 192 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением /

3. под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с. Температурный режим обработки сталей плазменным источником тепла / Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П., Шекунов Е.В., Мошкун В.В. // Материаловедение и термическая обработка металлов: межвуз. сб. науч. трудов под ред. А.Н. Емелюшина и Е.В. Петроченко. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С. 115–119.
4. Сомов А.И., Тихоновский М.А. Эвтектические композиции. М.: Металлургия, 1975. 305 с.
5. Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л., Терещенко Н.А. Моделирование разрушения ферритной стали с неоднородной структурой // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 3. С. 53–59.

Bibliography

1. Sidorov A.I. Restoration of details of cars a dusting and наплавкой. M: Mechanical engineering. 1987. 192p.
2. Technology of electric welding of metals and alloys fusion. Under the editorship of acad. B.E.Patona. M: Mechanical engineering. 1974. 768p.
3. Century the Temperature mode of processing of steels a plasma source of heat / Emeljushin A.N., Petrochenko E.V., Nefedeff S.P., Schekunov E.V., Moschkunov V.V. // Materials technology and thermal processing of metals. Intern. collect. of proceedings Works under the editorship of Emeljushin A.N. and Petrochenko E.V. Magnitogorsk: GOU ВПО MGTU. 2009. P. 115–119.
4. Somov A.I., Tihonovsky M.A. Evtektichesky compositions. M: Metallurgy. 1975. 305p.
5. Mirzaev D.A., Jakovleva I.L., Tereshchenko N.A. Modelling of destruction ferrits steels with non-uniform structure // the Bulletin of MGTU of G.I.Nosova. 2008. № 3. P. 53–59.

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 531.43/46

Анцупов А.В., Слободянский М.Г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОПОРНЫХ ВАЛКОВ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ПРОДЛЕНИЯ ИХ РЕСУРСА

В данной работе предложен вариант аналитической методики оценки показателей безотказности и долговечности опорных валков по критерию износоустойчивости и сохранения качества прокатываемых полос. Она представляет последовательность выполнения следующих этапов.

На первом этапе выбраны параметры, контролируемые изменение технического состояния опорного валка. В качестве основного (первого) параметра принята его текущая профилировка Δ_t , которая определяется как разность текущих радиусов валка в центре $R(x=0, t)$ и на краю $R(x=L, t)$ бочки (рис. 1):

$$\Delta_t = R(0, t) - R(L, t), \quad (1)$$

где x – координата сечения по длине бочки валка: $x=0$ – координата сечения на середине бочки валка, $x=L$ – координата сечения на краю бочки валка; t – время непрерывной работы.

Вторым, дополнительным параметром, характеризующим состояние опорного валка, принята величина поперечной разнотолщинности прокатываемых полос Δh_t , определяемая как разность толщин на середине $h(0, t)$ и на кромке $h(L_n, t)$ полосы:

$$\Delta h = h(0, t) - h(L_n, t). \quad (2)$$

где x – координата точки измерения толщины полосы по её ширине и отсчитываемая от её середины: $x=0$ – координата точки на середине полосы, $x=L_n$ – координата точки на кромке полосы.

На втором этапе сформулированы условия работоспособности опорных валков при их изнашивании во время прокатки. В соответствии с выбранными параметрами валка таковыми являются неравенства:

$$\Delta_t > [\Delta]; \quad (3, a)$$

$$\Delta h_t < [\Delta h], \quad (3, б)$$

где $[\Delta]$ – допустимое значение выпуклости бочки опорного валка, определяемое технологической инструкцией прокатного стана или из опыта работы; $[\Delta h]$ – допустимое значение поперечной разнотолщинности полос, регламентируемое ГОСТами.

Нарушение одного из неравенств ((3, а) или (3, б)) приводит к параметрическому отказу опорного валка.

На третьем этапе сформулирован закон изменения величины текущей профилировки Δ_t как разность двух величин: начального профиля $\Delta_0 = R(0, 0) - R(L, 0)$ и его текущего искажения $Y_t = \Gamma_\Delta \cdot t$ из-за изнашивания на момент времени t :

$$\Delta_t = \Delta_0 - Y_t = \Delta_0 - \Gamma_\Delta \cdot t, \quad (4)$$

где Γ_Δ – величина скорости изменения (искажения) текущей профилировки опорного валка; t – произвольный фиксированный момент времени работы опорного валка.

На четвертом этапе разработана методика прогнозирования величины скорости Γ_Δ изменения текущего профиля опорного валка при его изнашивании, которая излагается ниже.

На пятом этапе согласно [1–3] определяем значения вероятности безотказной работы $P(t)$ опорного валка на произвольный момент времени t , полагая что в условии (4) Δ_0 и Γ_Δ являются случайными величинами, распределенными согласно центральной предельной теореме теории вероятностей по нормальному закону. Значения $P(t)$ определяем.

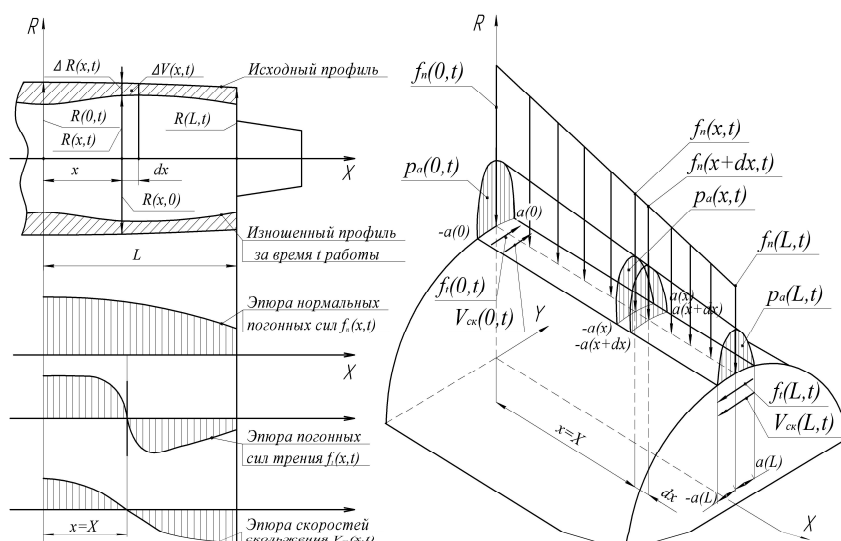


Рис. 1. К определению объемного и радиального износа опорных валков

как значение вероятности выполнения условия работоспособности (3, а) по таблицам квантилей нормального нормированного распределения (или таблицам нормированной функции Лапласа) в соответствии с выражением

$$P(t) = P(\Delta_t > [\Delta]) = P(U_t > [u]) = \Phi(U_t > [u]) = \Phi\left(\frac{\Delta_t - [\Delta]}{\sigma_t^\Delta}\right) = \Phi\left(\frac{\bar{\Delta}_0 - \bar{\gamma}_\Delta \cdot t - [\Delta]}{\sqrt{(\sigma_0^\Delta)^2 + (\sigma_t^\gamma)^2}}\right). \quad (5)$$

где U_t – квантиль нормального нормированного распределения случайной величины Δ_t на момент времени t ,

$$U_t = \frac{\Delta_t - [\Delta]}{\sigma_t^\Delta} = \frac{\bar{\Delta}_0 - \bar{\gamma}_\Delta \cdot t - [\Delta]}{\sqrt{(\sigma_0^\Delta)^2 + (\sigma_t^\gamma)^2}}. \quad (6)$$

В условиях (5) и (6) значения числовых характеристик $\bar{\Delta}_0$ и σ_0^Δ определяем по рабочим чертежам опорного валка, а значения $\bar{\gamma}_\Delta$ и σ_γ – по известным отклонениям исходных данных в соответствии с правилами теории вероятностей.

Одновременно с оценкой $P(t)$ необходима обязательная проверка дополнительного условия работоспособности (3, б). Текущее значение Δh_t определяли по известной методике В.М. Салганика [4]. При нарушении условия работоспособности валка по критерию поперечной разнотолщинности полос (3, б) отказ опорного валка определяется условием невозможности прокатки некачественной полосы.

На шестом этапе оцениваем уровень ресурсных характеристик:

– математического ожидания ресурса (среднего значения)

$$\bar{t} = \frac{\bar{\Delta}_0 - [\Delta]}{\bar{\gamma}_\Delta}; \quad (7)$$

– гарантированного ресурса

$$t_F = \frac{\Delta_{0\min} - [\Delta]}{\gamma_{t\max}} = \frac{(\bar{\Delta}_0 - 3 \cdot \sigma_0^\Delta) - [\Delta]}{\bar{\gamma}_\Delta + 3 \cdot \sigma_\gamma}; \quad (8)$$

– гамма-процентного ресурса для заданного допустимого значения вероятности безотказной работы $[P(T_\gamma)] = \gamma = 0,9$, считая, что опорные валки относятся к первому классу надежности и определяя его решением уравнения для квантили:

$$[u_{np(\gamma)}] = \frac{\Delta_t - [\Delta]}{\sigma_t^\Delta} = \frac{\bar{\Delta}_0 - \bar{\gamma}_\Delta \cdot t - [\Delta]}{\sqrt{(\sigma_0^\Delta)^2 + (\sigma_t^\gamma)^2}} = \frac{\bar{\Delta}_0 - \bar{\gamma}_\Delta \cdot t - [\Delta]}{\sqrt{(\sigma_0^\Delta)^2 + \sigma_\gamma^2 \cdot t^2}}, \quad (9)$$

относительно времени t в виде

$$t_{1,2} = \frac{-(\bar{\Delta}_0 - [\Delta]) \cdot \bar{\gamma}_\Delta \pm \sqrt{\left((\bar{\Delta}_0 - [\Delta]) \cdot \bar{\gamma}_\Delta\right)^2 - \left([u_{np}]^2 \cdot (\sigma_\gamma^2 - \bar{\gamma}_\Delta^2) \cdot [u_{np}]^2 \cdot \sigma_0^2 \cdot (\bar{\Delta}_0 - [\Delta])^2\right)}}{[u_{np(t)}]^2 \cdot \sigma_\gamma^2 - \bar{\gamma}_\Delta^2}; \quad (10)$$

– остаточного гамма-процентного ресурса

$$t_{ост\gamma} = t_\gamma - \frac{\Delta_0 - [\Delta] - u_{np(t)} \cdot \sigma_t^\Delta}{\bar{\gamma}_\Delta}. \quad (11)$$

Если отказ опорного валка определен нарушением условия (3, б), то предельная наработка валка определяется моментом времени $t=t_{np}$, при котором $\Delta h_t = \Delta h_{np} = [\Delta h]$.

Совокупность уравнений (1)–(11) представляет собой методику оценки показателей надежности опорных валков по критерию их износостойкости при одновременном сохранении поперечной разнотолщинности прокатываемых полос, которая позволяет предсказать ещё на стадии их проектирования: вероятность безотказной работы опорного валка в любой фиксированный момент времени t по условию (5) будущей эксплуатации валков, их ресурсные характеристики по условиям (6)–(11).

Однако для прогнозирования указанных показателей надежности необходимы числовые характеристики $\bar{\gamma}_\Delta$ и σ_γ , входящие в выражения (5)–(11). Ниже представлена методика их определения.

С этой целью скорость изменения текущей профилировки опорного вала, как детерминированной величины, выразили согласно условию (4) в виде:

$$\gamma_\Delta = \frac{\Delta_0 - \Delta_t}{t}. \quad (12)$$

Значения Δ_0 и Δ_t определяли согласно (1):

$$\Delta_t = R(0, t) - R(L, t) = (R(0, 0) - \Delta R(0, t)) - (R(L, 0) - \Delta R(L, t)), \quad (13)$$

где $\Delta R(x, t)$ – радиальный текущий износ в точках опорного вала на середине $\Delta R(x=0, t)$ и на краю $\Delta R(x=L, t)$ бочки (см. рис. 1).

Распределение текущего радиального износа $\Delta R(x, t)$ опорного вала по длине бочки определяли с использованием модели процесса изнашивания [5], построенной на основе термодинамического анализа процесса трения как процесса двойственной молекулярно-механической природы:

$$\Delta R(x, t) = \int_0^{t_p} \left(\int_{-a(x)}^{a(x)} \frac{v_{on} \cdot N_{mp(mex)}^{y0}(x, y, t)}{\Delta u_e^*(x, y, t)} dt \right) dy, \quad (14)$$

где x, y – координаты точки поверхности контакта валков вдоль оси вала и перпендикулярно ей, отсчитываемые от центра зоны контакта валков; $a(x, t)$ – половина ширины зоны контакта рабочего и опорного валков, которую рассчитывали по методике Р.В. Виравова [6]; v_{on} – коэффициент поглощения внешней энергии материалом поверхностного слоя опорного вала; $\Delta u_e^*(x, y, t)$ – распределение значений критической энергоемкости материала поверхностного слоя опорного вала; $t_p = a(x) \cdot t / (\pi R(x))$ – время нахождения точки поверхности опорного вала с координатой x в зоне контакта валков шириной $2a(x)$ в течение полного времени его работы t ; t – суммарное время непрерывной работы опорного вала, определяемое массой прокатываемых полос G и скоростью прокатки V_{np} с учетом опережения.

Значение v_{on} находили с помощью коэффициента ε распределения энергии между опорным и рабочим валком, предложенного в работе [6]:

$$v_{on} = \varepsilon / (1 + \varepsilon), \quad (15)$$

где $\varepsilon = \frac{((1 - \mu_{on}^2) / E_{on})^{2/3} \cdot R_{a(on)}^{1/3}}{((1 - \mu_p^2) / E_p)^{2/3} \cdot R_{a(p)}^{1/3}}$; $\mu_{on}, \mu_p, E_{on}, E_p$ – коэффициенты Пуассона и модули упругости материалов поверхностных слоев опорного и рабочего валков соответственно; $R_{a(on)}, R_{a(p)}$ – средняя арифметическая высота микронеровностей профиля опорного и рабо-

чего валков соответственно.

Распределение значений удельной мощности механической составляющей силы трения $N_{mp(mex)}(x, y, t)$ в зоне контакта, в уравнении (14), определяли произведением модуля вектора механической составляющей контактных касательных напряжений $\tau_{a(mex)}(x, y, t)$ на модуль вектора скорости скольжения $V_{ck(x,t)}$ точек с координатой x рабочего и опорного валков:

$$N_{mp(mex)}(x, y, t) = \tau_{a(mex)}(x, y, t) \cdot V_{ck}(x, t) = p_a(x, y, t) \cdot f_{mex}(x, y, t) \cdot V_{ck}(x, t), \quad (16)$$

где $f_{mex}(x, y, t)$ – распределение значений механической составляющей коэффициента трения в точках межвалкового контакта, определяемое по методике Н.М. Михина [7] в функции нормального межвалкового давления $p_a(x, y, t) = \varphi(f_n(x, t))$ – распределение нормальных межвалковых давлений в зоне межвалкового контакта, определяемое по параболическому закону Р.В. Виравова [8]; $f_n(x, t)$ – распределение погонных межвалковых сил на участке $(x-dx)$ шириной $2a(x)$, определяемое по методике В.М. Салганика [4] с использованием модели расчета нагрузок и деформаций четырехвалковой системы кварто, в зависимости от полного усилия прокатки $P_{np}(t)$; $P_{np}(t)$ – усилие, возникающее при прокатке полосы в упруго-пластическом очаге деформации, определяемое по методике Э.А. Гарбера [9]; $V_{ck}(x, t)$ – распределение скоростей проскальзывания точек опорного и рабочего вала по длине контакта, определяемое из условия равновесия опорного вала [10].

Распределение значений критической плотности внутренней потенциальной энергии (критической энергоемкости) материала поверхностного слоя опорного вала $\Delta u_e^*(x, y, t)$ определяем, используя методику В.В. Федорова, основанную на уравнении энергетического баланса [11]. Однако, полагая, что плотность скрытой потенциальной энергии уменьшается при нагревании из-за аннигиляции дефектов кристаллической решетки, выражение для критической энергоемкости можно представить в виде:

$$\Delta u_e^*(x, y, t) = \Delta H_S - (u_T(x, y, t) - u_{e0}) = \Delta H_S - (\Delta H_T(x, y, t) - u_{e0}), \quad (17)$$

где $\Delta H_S = \int_0^{T_s} c_{on} \cdot \rho_{on} dT$ – энтальпия материала поверхностного слоя опорного вала при температуре плавления; $\Delta H_T = \int_0^T c_{on} \cdot \rho_{on} dT$ – плотность тепловой составляющей внутренней энергии материала опорного вала при температуре T поверхностного слоя; u_{e0} – начальное значение плотности скрытой энергии материала поверхностного слоя опорного вала; c_{on} – удельная теплоемкость материала поверхностного слоя опорного вала, выбираемая по таблицам в зависимости от температуры поверхности; $T(x, y, t)$ –

температура поверхностного слоя материала опорного валка для установившегося процесса трения, определяемая по методике А.Д. Дубинина [12].

Значения u_{e0} определяли в функции начальной твердости по Виккерсу HV_0 поверхностного слоя опорного валка согласно [11]:

$$u_{e0(1,2)} = \frac{(0,067 \cdot HV_0^{1,2})^2}{6 \cdot G_{on} \cdot (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_0 + 0,12 \cdot 10^{-2})^2}, \quad (18)$$

где G_{on} – модуль сдвига материалов элементов трибосопряжения.

Совокупность уравнений (1)–(18) с перечисленными граничными и начальными условиями представляет собой модель параметрических отказов опорных валков по критерию износостойкости (3, а) и сохранения качества полос (3, б). Она позволяет оценить эффективность различных способов продления ресурса опорных валков.

В работе, применительно к условиям эксплуатации опорных валков 10–11 клетей стана 2500 г/п ОАО «ММК», были исследованы:

- способ повышения долговечности опорных валков выбором оптимального сочетания исходной профилировки рабочих валков и значения усилия их противоизгиба;
- способ продления ресурса опорных валков при его изготовлении из стали марки AST70X производства «Gontermann–Peipers»;
- способ увеличения долговечности опорных валков подачей в межвалковый контакт смазочных материалов.

С этой целью, для оценки эффективности того или иного способа, выбран базовый, исходный вариант изнашивания верхнего опорного валка десятой клетки в реальных условиях эксплуатации стана 2500 г/п. Экспериментальный ресурс в этих условиях составил $t_k^9 = 58$ ч, расчетный $t_{90} = 61$ ч.

Значение расчетного ресурса $t_{90} = 61$ ч выбрано в качестве базового для сравнения с ним значений ресурса того же валка с предположительным применением одного из перечисленных выше методов.

Результаты исследований первого способа, по влиянию оптимального сочетания исходных профилировок рабочих валков и значения усилия их противоизгиба на ресурс опорного валка, показаны в табл. 1. Базовый пример изнашивания опорного валка отображен во второй строке сверху табл. 1.

В крайнем правом столбце табл. 1 показаны значения коэффициента повышения долговечности K_ϕ , который определен отношением ожидаемого в данных условиях ресурса валка к исходному ресурсу $t_{90} = 61$ ч.

Анализ результатов показывает, что изменение сочетаний значений профилировок рабочих валков и усилий противоизгиба во всем диапазоне, регламентированном технологической инструкцией стана, позволяет установить оптимальный вариант по критерию максимально возможного ресурса опорных валков. Очевидно, что использование оптимального сочетания значений

$\Delta_p = -0,2$ мм и $F = 1520$ кН позволяет предсказать максимально возможное повышение исходного ресурса опорного валка с $t_{90} = 61$ ч до $t_{90} = 280$ ч. Коэффициент повышения долговечности в этом случае равен $K_{\phi(\max)} = 280 / 61 = 4,59$.

Результаты комплексного исследования второго и третьего способов, по влиянию смены марки стали валка на AST70X и подачи смазочных материалов в межвалковый контакт на повышение ресурса опорных валков, представлены на рис. 2 и в табл. 2. Базовый вариант изнашивания опорного валка отображен верхней позицией на рис. 2, а и в первой строке табл. 2.

Анализ результатов, представленных в табл. 2 и на рис. 2, а, показывает, что смена материала валка 75ХМФ на AST70X без применения смазочных материалов приводит к повышению ресурса с $t_{90} = 61$ ч до $t_{90} = 92,5$ ч (см. рис. 2, а нижняя позиция и четвертую строку табл. 2). Эти данные подтверждаются известными результатами промышленных испытаний на станах ОАО «НЛМК» и ОАО «ММК» [13].

На рис. 2, б, в и во 2, 3, 4 и 6-й строках табл. 2 показано возможное увеличение ресурса опорного валка как из марки стали 75ХМФ, так и из стали AST70X при использовании смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ – 2%) или полимерного покрытия поверхности опорного валка антифрикционным материалом – фторопластом Ф4.

Таблица 1

Результаты теоретических исследований влияния усилия противоизгиба рабочих валков на гамма-процентный ресурс опорного валка

Профилировка рабочего валка Δ_p , мм	Усилие противоизгиба рабочего валка F , кН	Отказ по параметру	Гамма-процентный ресурс t_γ , ч	K_ϕ
–0,2...0	380	Δh	11	0,18
	500	Δ_t	61	–
	900	Δ_t	120	1,96
	1520	Δ_t	240	3,9
–0,2	380	Δh	12	0,19
	500	Δh	17	0,28
	900	Δh	43	0,7
	1520	Δ_t	280	4,59
–0,1	380	Δh	30	0,49
	500	Δh	40	0,65
	900	Δ_t	139	2,27
	1520	Δ_t	217	3,56
0	380	Δh	51	0,83
	500	Δ_t	92	1,5
	900	Δ_t	73	1,19
	1520	Δ_t	180	2,95
0,1	380	Δ_t	27	0,44
	500	Δ_t	47	0,77
	900	Δ_t	44	0,72
	1520	Δ_t	111	1,81

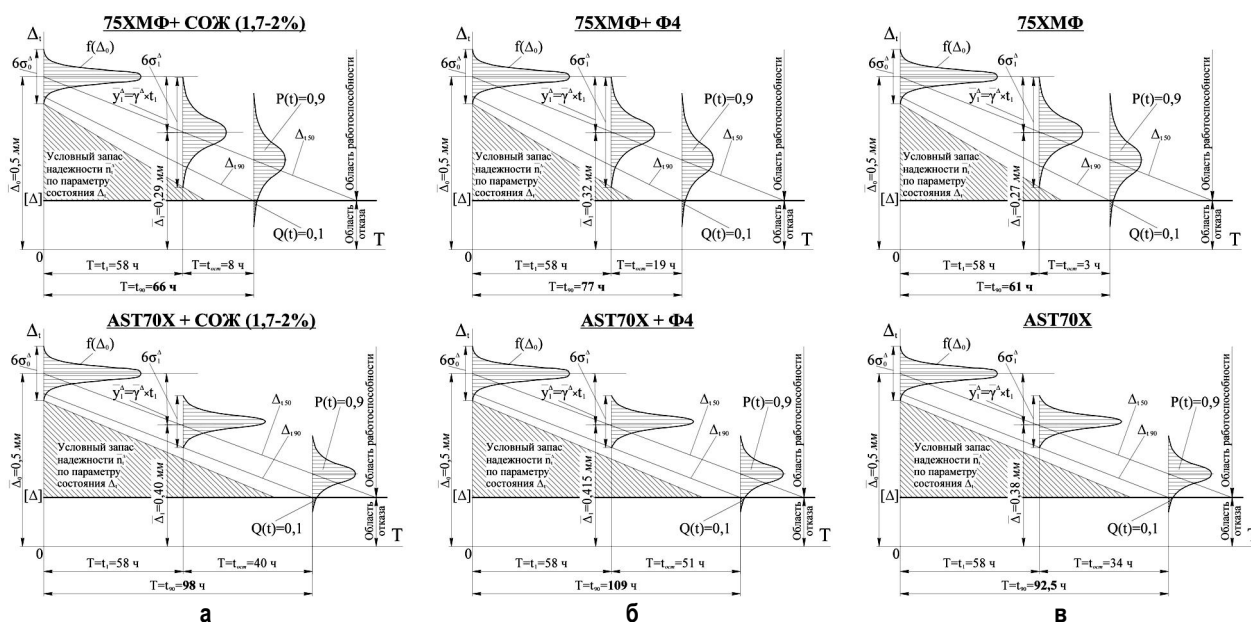


Рис. 2. Сравнение ресурсных характеристик опорных валков, изготовленных из материалов 75ХМФ и АСТ70Х в различных условиях фрикционного взаимодействия

Таблица 2
Исследование эффективности применения смазочных материалов для повышения долговечности опорных валков из 75ХМФ и АСТ70Х

№	Материал	Условия фрикционного взаимодействия	Ресурс t_{90} , ч	K_{ϕ}
1	75ХМФ	–	61	–
2		СОЖ	66	1,08
3		Ф4	77	1,26
4	АСТ70Х	–	92,5	1,5
5		СОЖ	98	1,6
6		Ф4	109	1,78

Применение СОЖ-2% приводит к повышению ресурса опорного валка из стали 75ХМФ с $t_{90}=61$ ч до $t_{90}=66$ ч, из стали АСТ70Х с $t_{90}=92,5$ ч до $t_{90}=98$ ч (см. рис. 2, б и вторую и третью строки табл. 2); применение фторопластового покрытия приводит к повышению ресурса опорного валка из стали 75ХМФ с $t_{90}=61$ ч до $t_{90}=77$ ч, из стали АСТ70Х – с $t_{90}=92,5$ ч до $t_{90}=109$ ч (см. рис. 2, в и пятую, шестую строки табл. 2). Эти данные подтверждаются известными результатами промышленных испытаний на станах НШСГП ОАО «ММК».

В крайнем правом столбце табл. 2 оценена эффективность исследуемых способов с помощью коэффициента повышения долговечности K_{ϕ} .

Из рис. 2 и табл. 2 видно, что наиболее эффективным способом повышения долговечности опорных валков является плакирование их поверхности полимерным материалом, как для валков из стали 75ХМФ, так и из стали АСТ70Х.

Результаты достаточно большого числа исследований, подобные приведенным выше, позволяют заключить следующее:

– долговечность опорных валков определяется

рядом технологических и конструктивных факторов, управляя которыми на стадии проектирования можно прогнозировать максимально возможный ресурс опорных валков;

- предложенная модель формирования текущего профиля опорных валков, адекватность которой подтверждена результатами известных промышленных испытаний на различных станах, позволяет определять оптимальные значения исследуемых выше управляющих параметров по критерию максимальной долговечности опорных валков с одновременным сохранением поперечной разнотолщинности прокатываемых полос;
- предложенная методика может быть использована на промышленных станах при решении целого ряда практических задач: проектирования парка валков, повышения межремонтного периода опорных валков, повышения производительности и др.

Список литературы

1. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1988. 235 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 576 с.
4. Салганик В.М., Мельцер В.В. Исследование на ЭВМ деформаций и нагрузок валковой системы кварто: учеб. пособие. Свердловск: УПИ, 1987. 78 с.
5. Прогнозирование надежности трибосопрежений на основе термодинамического анализа процесса трения / Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.), Слободянский М.Г. и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 3. С. 54–60.
6. Протасов Б.В. Энергетические соотношения в трибосопрежении и прогнозирование его долговечности. Саратов: Саратов. ун-т, 1979. 152 с.
7. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. М.: Наука, 1977. 219 с.
8. Виравов Р.В. Тяговые свойства фрикционных передач. М.: Машиностроение, 1982.
9. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология). М.: [Черметинформация], Череповец: [ГОУ ВПО ЧГУ], 2004. 416 с.

10. Анцупов А.В.(мл.) Оценка межперевалочного срока службы опорных валков листовых станов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2005. № 4. С. 15–16.
11. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. Ташкент: Фан, 1985. 168 с.
12. Дубинин А.Д. Энергетика трения и износа деталей машин. М.; Киев: Mashgiz, 1963. 139 с.
13. Повышение стойкости опорных валков станов горячей прокатки / Боровков И.В., Носов В.Л., Кушнарев А.В. и др. // Сталь. 2002. № 1. С. 55–57.
5. loads of the quarto roll system: tutorial. Sverdlovsk: UPI 1987. P. 78. Forecasting the tribounit reliability based on thermodynamic analysis of friction process / Antsupov, A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Slobodyansky M.G. et al. // Herald of the MGTU n. a. G.I. Nosov. 2010. № 3. P. 54–60.
6. Protasov B.V. Energy relations in tribointerfacing and forecasting its durability. Saratov.: The University of Saratov, 1979. P. 152.
7. Mihin, N. M. External friction of solids. M.: Science, 1977. P. 219.
8. Virabov P.V. Tractive features of friction gears. M.: Machine-building, 1982.
9. Garber, E.A. Cold rolling mills: (theory, equipment, technology). M.: [Chermetinformaciya]; Cherepovets: [GOU VPO CGU], 2004. P. 416.
10. Antsupov A.V. (Jr.) Assessing inter-roll changing working life of plate mill supporting rolls // Herald of the MGTU n.a. G.I. Nosov. 2005. № 4. P. 15–16.
11. Fedorov V.V. Kinetics of solid damageability and break-down. Tashkent: Fan, 1985. P. 168.
12. Dubinin A.D. Machine part friction and wear energetics. M.-K.: Mashgiz, 1963. P. 139.
13. Increasing the durability of supporting rolls on hot rolling mills / Borovkov, I.V., Nosov, V.L., Kushnarev, A.V. et al. // Stal. 2002. № 1. P. 55–57.

Bibliography

1. Reshetov, D. N., Ivanov, A. S., Fadeev, V. Z. Machine safety: School-book. M.: High School, 1988. P. 235.
2. Pronikov, A. S. Machine parametric safety. M.: N. E. Bauman MGTU Publishers, 2002. P. 560.
3. Ventsel, E. S. Probability theory: textbook for higher-education students. M.: «Akademiya» publishing centre, 2003. P. 576.
4. Salganik, V.M. & Meltser, V.V. Computer research on deformations and

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.926.2

Пожидаев Ю.А., Кадошников В.И., Савочкина Л.В.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ

По мере расширения спектра и масштаба воздействий человека на природу в условиях функционирования «фронтальной» экономики изменения природной среды по своей величине приблизились к предельным значениям, что спровоцировало сначала формирование локальных экологических нарушений в районах растущих индустриальных центров, а в последующем – глобальных изменений окружающей среды.

Одним из первых, кто подверг критике существующую модель экономического развития, построенную по принципу открытой системы с потребительским образом жизни, был американский экономист К. Боулдинг, который в статье «Экономика будущего космического корабля Земля» (1972 г.) обосновал необходимость перехода от «ковбойской экономики» к «экономике космонавтов», работающей в режиме замкнутой системы. Точкой отсчета бурного развития процесса изучения окружающей среды, наблюдений за отдельными элементами биосферы, законодательного творчества в области охраны окружающей среды, разработки ресурсосберегающих технологий служит Стокгольмская конференция, посвященная проблемам окружающей среды (1972 г.). Она же является вехой перехода на модель, концептуальная характеристика которой определяется как «охрана окружающей среды».

В настоящее время существует более 50 определений понятия устойчивого развития («sustainability development»). Большинство из них характеризуют устойчивое развитие с точки зрения экоэффективности как экологически сбалансированное решение социально-экономических задач, устраняющее сложившиеся противоречия и обеспечивающее удовлетворение жизненных потребностей человеческого общества в настоящем без ущерба интересов будущих поколений, ибо любое экономическое развитие без учета экологического фактора ведет к превращению нашей планеты в безжизненную пустыню, а гипертрофированное внимание к экологии закрепляет нищету и несправедливость [1].

Для любого производства в каждый данный момент необходимо выполнение двух условий: 1) наличие некоторого ресурса и 2) существование некоторой технологии переработки этого ресурса в продукцию. Все ресурсы для производственной деятельности предоставляет природа, а вот технология – это человеческое изобретение. Цивилизация развивается волнообразно:

периоды эволюции, т. е. накопления опыта использования какого-либо природного ресурса по уже известной технологии (тиражирование продукции), сменяются интервалами освоения нового ресурса (или нового качества уже известного ресурса) и рождением новой технологии. То есть технологической революции, которая переводит цивилизацию на качественно более высокий уровень, на котором снова начинается эволюционирующее тиражирование, и т. д.

Появление новых видов энергетических источников, транспортных средств способствовали развитию новых видов деятельности (скотоводство, земледелие), появился избыточный товар, создались условия для разделения труда. Обеспечение дополнительного роста энергетических и других возможностей человека нарушило основы родового строя. Создалась ситуация, когда собственной энергии членов рода и силы животных стало не хватать.

Только острый недостаток энергии заставлял человечество искать новые ее источники, не говоря уже о рациональном использовании. Некоторые страны, в том числе и Россия, до сих пор находятся во власти подобного энергетического синдрома. Необходимость – мать изобретений.

Сложившаяся ситуация в мире вновь подталкивает человечество к освоению новых источников энергии. На этот раз к наиболее трудно утилизируемым, таким как: солнечная энергия, ветровая энергия, энергия океана, биологическая энергия.

В наше время на каждом шагу приходится сталкиваться с различными противоречиями. Почти ежедневно приходится читать о нехватке топлива или дефицитного сырья и одновременно о том, что имеющихся запасов угля и ядерного горючего хватит для обеспечения энергоснабжения мира на сотни лет, хотя расширение масштабов их использования может вызвать серьезные последствия для окружающей среды. Говорят, что необоснованные решения, принимаемые правительствами разных стран, являются причиной перебоев в снабжении населения других стран топливом и что рост цен на топливо приведет к росту его дефицита. Говорят также, что государственное регулирование охраны воздушного и водного бассейнов влияет на рост цен на энергию, но что без этого состояние здоровья людей существенно ухудшилось бы. Жизнь, кажется, действительно становится все сложнее.

Тенденция к постоянному росту энергопотребления очевидна. Если не заниматься проблемой рациональности использования невозобновляемых источников энергии, то есть риск, что человечество попадет в энергетический кризис. Насколько это реально, будет ясно уже в ближайшем будущем, так что возможный «апокалипсис» будет определять энергетическая составляющая, а именно ее энергосберегающая часть.

Этому свидетельствуют материалы XV конгресса Мирового энергетического совета, состоявшегося в 1992 году. Основные выводы этого конгресса:

- органические топлива останутся основой энергообеспечения; их абсолютное потребление возрастет при любых реалистических сценариях. Не просматривается ни одного нового источника энергии, по крайней мере, на ближайшие 30 лет;
- в этих условиях первоочередной задачей мирового сообщества является повышение эффективности использования природных энергетических ресурсов, без чего невозможно будет в перспективе решать глобальные проблемы обеспечения устойчивого энергоснабжения и охраны окружающей среды.

По данным экономического обозрения в 2006 г. представлены сведения о первичном потреблении энергетических ресурсов миллионов тонн нефтяного эквивалента (млн т н.э.), которые сведены в табл. 1 [11].

Количественное отражение ресурсов энергии – в табл. 2 [2].

То есть в обозримом будущем на состояние динамического равновесия между промышленным производством и окружающей средой можно надеется только через энергосбережение, рациональное использование.

Даже при самом оптимистичном развитии событий ясно, что необходимо осваивать возобновляющиеся источники энергии, при этом стремиться к максимальному КПД агрегатов и механизмов. Разработки

новых технологий необходимо вести с учётом внедрения энергосберегающих технологий. Именно технологии энергосбережения позволят рационально пользоваться ресурсами.

Проблема поиска возобновляемых источников энергии сегодня более чем актуальна. Правительство Российской Федерации выражает большую заинтересованность в инновационных технологиях энергосбережения. Использование энергии солнца, ветра, волн, биотоплива является приоритетным направлением. Поэтому разработка и внедрение рекуператоров энергии колебательных систем, которые нас окружают, не должны оставаться без внимания.

В современной технике много различных колебательных систем и устройств. Резонанс, выражающийся в нежелательных колебательных процессах многих систем и устройств, гасится применением различных амортизаторов, демпферов и пружин, энергия которых рассеивается в окружающей среде и, как правило, безвозвратно теряется.

В любой колебательной системе или устройстве присутствует система демпфирования. От того, как качественно работают демпферы, зависит технологичность колебательной системы и устройства. Конструктивно демпферы подразделяются по способу демпфирования, что определяет характеристику затухания колебаний. Основные характеристики затухания колебаний – постоянное трение; регрессивное затухание; линейное затухание; квадратичное затухание. В современных демпферах эти характеристики комбинируются для получения эффективного гашения колебаний.

По результатам исследования колебательных систем металлургического оборудования, объектами, в которых присутствуют подобные системы, являются дробилки и мельницы, кузнечно-прессовое оборудование, транспортёры, электродвигатели большой мощности, авто- и железнодорожный транспорт и др. Объектом для дальнейших исследований выбрана

Таблица 1

Первичное потребление энергии, млн т н.э.,
данные на 2004 г.

Потребитель	Нефть	Газ	Уголь	Атомная энергия	Прочее	Всего
Мир	3989	2303	2731	624	1540	11187
Большая восьмерка	1631	1294	901	463	538	4826
США	916	512	557	188	159	2332
ЕС-25	687	413	318	291	80	1789
Россия	129	362	106	32	40	669
Африка	133	68	99	3	255	558
Ближний Восток	393	203	10	0	4	609
Европа	761	463	373	235	187	2019
Страны СНГ	280	520	185	52	45	1082
АТР*	1043	311	1449	119	715	3636
Северная Америка	1027	590	588	208	174	2587
Латинская Америка	353	147	27	7	161	695

Таблица 2

Ресурсы энергии на Земле в 2000 г.

Наименование ресурсов	Количество энергии, МВт/ч
Невозобновляющиеся (общие запасы):	
Термоядерная энергия	$100000 \cdot 10^{12}$
Ядерная энергия деления	$547 \cdot 10^{12}$
Химическая энергия ископаемых органических горючих	$55 \cdot 10^{12}$
Внутреннее тепло Земли (геотермальная энергия)	$0,134 \cdot 10^{12}$
Возобновляющиеся в течение года:	
Энергия солнечных лучей, достигающих земной поверхности	$580 \cdot 10^{12}$
Энергия солнечных лучей, аккумулирующаяся в верхних слоях атмосферы (150–200 км) в виде атомарного кислорода	$0,000012 \cdot 10^{12}$
Энергия морских приливов и отливов	$70 \cdot 10^{12}$
Энергия ветра	$1,7 \cdot 10^{12}$
Энергия рек	$0,018 \cdot 10^{12}$

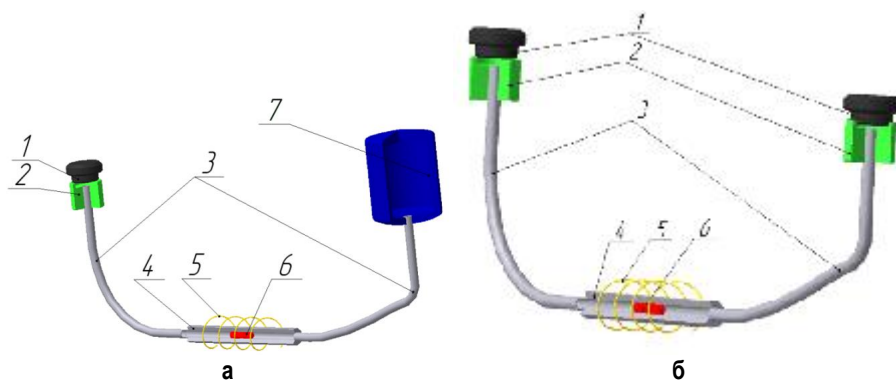


Рис. 1. Гидравлические подушки:
а – отдельная подушка; б – зависимые подушки

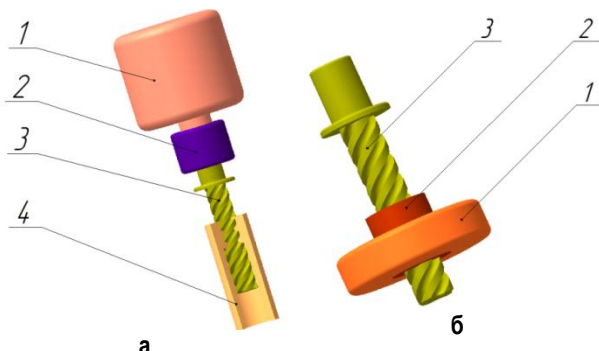


Рис. 2. Винтовые амортизаторы для преобразования амплитудных колебаний в электрическую энергию:

а – с генератором на винте: 1 – генератор, 2 – муфта, 3 – винт, 4 – гайка;
б – с генератором на гайке: 1 – генератор, 2 – гайка-вал, 3 – винт

четырёхвалковая дробилка. Большее количество энергии посредством дробления переходит в кинетическую энергию пружин в верхней паре валков.

Наиболее широкое использование получила электрическая энергия. Постиндустриальное общество сегодня не может представить своё существование без наличия источника электрической энергии. В Российской Федерации на сегодняшний день издан целый свод законов об «Энергосбережении и энергетической эффективности» [4, 5], которые разъясняют направленность современного отечественного прогресса и правила реализации энергоресурсов.

Как один из рациональных вариантов реализации технологии сбережения энергии – это рекуперация упругостной энергии пружин в электроэнергию.

Спроектировано несколько вариантов электромеханических демпферов для рекуперации энергии [10].

Для преобразования малоамплитудных и высокочастотных колебаний предлагается использовать демпфирующие устройства в виде гидравлических подушек двух типов: зависимых (объединённых) и независимых (отдельных) (рис. 1).

Отдельная подушка (рис. 1, а) демпфирует колебания посредством поршня 1, находящегося в цилиндре подушки 2. Система заполнена рабочей жидкостью,

которая передаёт колебания от подушки по соединительным трубкам бегунку (магниту) 6 генератора. Генератор выполнен в виде цилиндра 4, в котором находится бегунок, а снаружи цилиндра намотана обмотка 5. Бак 7, заполненный частично жидкостью, находящейся под создаваемым газом (азот) давлением, – аккумулятор.

Принцип работы зависимых подушек (рис. 1, б) аналогичен, только применение их возможно там, где колебания

согласованы (опоры ДВС, электродвигателей и т.д.).

Желательно применение подобных устройств при установившихся колебательных процессах. Это требование позволит более рационально проработать кинематику системы и выбрать электрогенератор.

Для преобразования колебаний с большой амплитудой в электрическую энергию применимы также амортизаторы с генератором на винте (рис. 2, а) или гайке (рис. 2, б). Для практического применения возможно изменение кинематических схем для эффективного и технологичного функционирования демпфирующей системы.

Амортизаторы при восприятии нагрузки превращают поступательное перемещение элементов (винта или гайки, изготовленных с большим шагом $p > 2d$, где d – средний диаметр, во вращательное движение гайки (винта). Один из элементов жестко закрепляется, а на другой устанавливается электрогенератор, который вырабатывает электроэнергию.

Особенностью таких амортизаторов является наличие электрогенератора, который вырабатывает электроэнергию и обеспечивает требуемый коэффициент сопротивления демпфирующей системы. Коэффициент сопротивления зависит не только от спектра возмущений, но и от параметров самой демпфирующей системы. Данные системы демпфирования с электромеханическим амортизатором позволяют учитывать все возможные факторы, влияющие на характер колебаний, с использованием блока управления, который определяет рациональный параметр коэффициента сопротивления, а также долю рекуперированной энергии.

С развитием техники и кибернетики появилось новое подразделение демпфирования – активное демпфирование и демпфирование с временно постоянным коэффициентом сопротивления. Однако наиболее рациональное решение – это применение системы демпферов с регулируемым коэффициентом демпфирования. Однако на сегодняшний день очень мала доля демпфирующих систем или устройств по преобразованию энергии колебательных систем. Наиболее ярким примером является поплавково-волновая электростанция, которая преобразует энергию колебания волн в электроэнергию.

При незначительных конструктивных изменениях экономия теряемой энергии на демпфировании со-

ставляет 10%, что подтверждено экспериментально [8]. Поскольку задача рекуперации энергии обусловливает наличие генератора в демпфирующей системе, то генератором выступает электрическая машина, тип которой определяется режимами работы. Электрогенератор при рациональном выборе и компоновке демпфирующей системы позволяет в широком спектре варьировать коэффициент демпфирования. Данное качество позволяет системе демпферов оперативно стабилизировать колебательный процесс.

При внедрении подобных систем в машиностроении и металлургии к системе демпферов предъявляются определённые критерии. Как правило, это минимизация перемещений, ускорений, снижение количества резонансных режимов, вредных вибраций и акустических шумов. Не всегда при проектировании и моделировании удаётся правильно скомпоновать демпферы и безошибочно построить амплитудно-частотную характеристику. Иногда в силу других обстоятельств система демпферов перестаёт выполнять свои функции полноценно. Система демпферов для рекуперации энергии позволяет не только корректно выполнять все задачи по минимизации параметров колебаний, но и рекуперировать энергию. Утилизация рекуперированной электроэнергии возможна для местного освещения, отопления и других хозяйственных нужд.

Но до сих пор не сформулирована методология проектирования подобных устройств. Целесообразно объединить подходы к решению задачи рекуперации энергии колебаний в электрическую энергию. Таким образом, будет представлена попытка создать методологию проектирования демпфирующих систем для рекуперации энергии – это и есть задел для дальнейшей работы.

Список литературы

1. Развитие энергоэффективных технологий и техники: введение в хрестоматию энергосбережения для юношества / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков, В.Г.Лисиенко. Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 144 с.
2. Хрестоматия энергосбережения: в 2-х кн. / под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплоэнергетик, 2002. Кн. 2. 768 с.
3. Бушнев В.В. Энергоэффективность как направление новой энергетической политики России // Энергосбережение. 1999. № 4. С. 32–35.
4. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию [Электронный ресурс]: Указ Президента РФ от 01.04.96 г. № 440 // Юридическая Россия: Федеральный правовой портал (v. 3.2). URL: <http://law.edu.ru>.
5. ГОСТ Р 51541-99. Энергосбережение. Заголовок: Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения [Электронный ресурс]. URL: www.e-safe.prom-res.ru.
6. Чоджой М. Х. Энергосбережение в промышленности: пер. с англ. М.: Металлургия, 1982. 272 с.

7. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов / А.П. Егоричев, В.Г.Лисиенко, С.Е. Розин, Я.М. Щелоков. М.: Металлургия, 1990. 149 с.
8. Пожидаете Ю.А., Кадошников В.И. Проектирование экспериментальной установки для оценки доли рекуперации кинетической энергии колебательных процессов // Процессы и оборудование металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / ГОУ ВПО «МГТУ». Магнитогорск, 2009. Вып. 8. С. 177–179.
9. Пожидаете Ю.А. Исследование процессов колебательных систем металлургического оборудования // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегион. науч.-техн. конференции / ГОУ ВПО «МГТУ». Магнитогорск, 2010. Т. 1. С. 254–256.
10. Пожидаете Ю.А. Энергосберегающая технология рекуперации энергии колебательных процессов // Процессы и оборудование металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / ГОУ ВПО «МГТУ». Магнитогорск, 2006. Вып. 7. С. 137–139.
11. Экономическое обозрение: энергетическая безопасность: материалы Междунар. форума неправительственных организаций и экспертов / Ин-т энергетики и финансов. СПб., 2006. № 4. 85 с.

Bibliography

1. Danilov N.I. The development of energy-efficient technologies and techniques: an introduction to chrestomathies of energy saving for young adults / N.I. Danilov, YA. M. Shchelokov, V.G. Lisienko. Ekaterinburg: Uralenergo-Press, 2004. 144 p.
2. Lisienko V.G. Hrestomatiya energy saving: Reference book: In 2 books. Book 2 / Edited by V. G. Lisienko / V. G. Lisienko, YA. M. Shchelokov, M. G. Ladigichev. M.: Power engineering, 2002. 768 pp.
3. Bushuev V. V. Energy efficiency as a direction of new energy policy of Russia / V. V. Bushuev // Energy Saving. 1999. num. 4. P. 32–35.
4. The concept of transition Russian Federation to sustainable development [Electronic resource]: the Presidential Decree from 01.04.96 y. num.440 // Terms of Russia: the Federal law portal (v. 3.2). URL: <http://law.edu.ru>.
5. GOST R 51541-99 Energy saving. Title: Energy efficiency. The set of indicators. General provisions [Electronic resource]. URL: www.e-safe.prom-res.ru.
6. Chojoy M.H. Energy efficiency in industry. Translation from English / M.H. Chojoy. M.: Metallurgy, 1982. 272 pp.
7. Egoriychev A.P. Rational use of fuel and energy resources / A.P. Egoriychev, V.G. Lisienko, S.E. Rozin, YA. M. Shchelokov. M.: Metallurgy, 1990. 149 pp.
8. Pozhidaev Yu.A. Design of the experimental setup for the assessment of recovery of the kinetic energy of oscillatory processes / Yu.A. Pozhidaev, V.I. Kadoshnikov // Processes and equipment of metallurgical production: Interregional collection of scientific papers / The state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Magnitogorsk, 2009. Vol. 8. P. 177–179.
9. Pozhidaev Yu.A. Investigation processes of the oscillatory systems of metallurgical equipment / Yu.A. Pozhidaev // Actual problems of modern science, technology and education: materials of the 68-th inter-regional scientific-technical conference / The state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Magnitogorsk, 2010. Book num. 1. P. 254–256.
10. Pozhidaev Yu.A. Energy-saving technology for recovery energy of oscillatory processes / Yu.A. Pozhidaev // Processes and equipment of metallurgical production: Interregional collection of scientific papers / The state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Magnitogorsk, 2006. Vol. 7. P. 137–139.
11. Economic review: energy security: Materials of the International forum of non-governmental organizations and experts / Institute for energy and finance. SPb., 2006, № 4, 85pp.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 536.24

Видин Ю.В., Казаков Р.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА ВДОЛЬ КОМБИНИРОВАННОГО РЕБРА КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

Разработка высокоэффективных поверхностей теплообмена имеет особо важное значение для современных отраслей науки и техники. В теплообменных аппаратах с газовыми потоками, вследствие сравнительно низких коэффициентов теплоотдачи, установки получают металлоемкими и очень громоздкими. Одним из возможных способов интенсификации теплообмена в таких установках является применение оребренных поверхностей. Эффективность этого подхода зависит во многом от значения коэффициента теплопроводности материала, из которого выполнены ребра. Чем выше указанный коэффициент, тем при прочих равных условиях существенно возрастает передаваемый тепловой поток. Однако металлы, обладающие высоким коэффициентом теплопроводности, как правило, относятся к дорогостоящим и дефицитным. В предлагаемой работе рассматривается комбинированное ребро, начальный участок (меньшая часть всей длины) которого выполнен из высокотеплопроводного материала, а конечный – из более дешевого и менее теплопроводного.

Математическая модель процесса распространения тепла вдоль такого составного стержня постоянного поперечного сечения может быть записана в виде следующей системы уравнений:

$$\frac{d^2 v_1}{dx^2} - m_1^2 v_1 = 0, \quad 0 \leq x \leq l_1; \quad (1)$$

$$\frac{d^2 v_2}{dx^2} - m_2^2 v_2 = 0, \quad l_1 \leq x \leq l; \quad (2)$$

$$v_1 = v_0 = t_0 - t_{ж} \quad \text{при } x=0; \quad (3)$$

$$v_1 = v_2 \quad \text{при } x=l_1; \quad (4)$$

$$\frac{dv_1}{dx} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{dv_2}{dx} \quad \text{при } x=l_1; \quad (5)$$

$$\frac{dv_2}{dx} = 0 \quad \text{при } x=l, \quad (6)$$

где $v_1 = t_1 - t_{ж}$, $v_2 = t_2 - t_{ж}$ – избыточная температура стержня на начальном участке ($0 \leq x \leq l_1$) и конечном ($l_1 \leq x \leq l$) соответственно; l – суммарная

длина ребра, м; $m_1 = \sqrt{\frac{\alpha P}{\lambda_1 f}}$, $m_2 = \sqrt{\frac{\alpha P}{\lambda_2 f}}$ – парамет-

ры для первого и второго участков соответственно, $1/\text{м}$; α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$; P – периметр поперечного сечения ребра, м; f – площадь поперечного сечения ребра, м^2 ; λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности материалов ребра на начальном и конечном участках соответственно, $\text{Вт}/\text{мК}$; $t_0, t_{ж}$ – температура основания ребра и окружающей среды соответственно.

Граничные условия (4) и (5) означают, что тепловой контакт между первым и вторым элементами стержня является идеальным.

Аналитические решения уравнений (1) и (2) имеют вид:

$$v_1 = C_1 e^{m_1 x} + C_2 e^{-m_1 x}; \quad (7)$$

$$v_2 = C_3 e^{m_2 x} + C_4 e^{-m_2 x}. \quad (8)$$

Для нахождения постоянных C_1, C_2, C_3 и C_4 могут быть использованы граничные условия (3)–(6).

Решая алгебраическую систему из четырех уравнений, полученную после подстановки (7) и (8) в (3)–(6), находим:

$$C_1 = v_0 \frac{e^{-m_1 l_1}}{e^{m_1 l_1} + e^{-m_1 l_1}} A, \quad (9)$$

$$\text{где } A = \frac{1 - \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}} \frac{e^{2m_2(l-l_1)} - 1}{e^{2m_2(l-l_1)} + 1}}{1 + \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}} \frac{e^{2m_2(l-l_1)} - 1}{e^{2m_2(l-l_1)} + 1} \cdot \frac{1 - e^{-2m_2 l_1}}{1 + e^{-2m_2 l_1}}}; \quad (10)$$

$$C_2 = v_0 - C_1;$$

$$C_3 = [C_1(e^{m_1 l_1} - e^{-m_1 l_1}) + v_0 e^{-m_1 l_1}] \frac{e^{-m_2 l_1}}{1 + e^{2m_2(l-l_1)}};$$

$$C_4 = [C_1(e^{m_1 l_1} - e^{-m_1 l_1}) + v_0 e^{-m_1 l_1}] \frac{e^{m_2(2l-l_1)}}{1 + e^{2m_2(l-l_1)}}.$$

Очевидно, что если ребро будет однородным, т.е. $\lambda_1 = \lambda_2$ и $l_1 = l$, то тогда коэффициент $A=1$ и формулы (9) и (10) для постоянных C_1 и C_2 примут известный вид [1]:

$$C_1 = v_0 \frac{e^{-ml}}{e^{ml} + e^{-ml}};$$

$$C_2 = v_0 \frac{e^{ml}}{e^{ml} + e^{-ml}}.$$

Следовательно, в этом случае решения (7) и (8) для температурного поля стержня преобразуются в единую формулу [1]

$$v = v_0 \frac{ch[m(l-x)]}{ch(ml)}.$$

Одним из важнейших теплотехнических показателей функционирования развитых поверхностей теплообмена является величина коэффициента тепловой эффективности ребра E . Он представляет собой отношение теплового потока, отдаваемого окружающей среде реальным стержнем, к максимально возможному потоку, который имел бы место в случае, если материал тела обладал бы бесконечно большим коэффициентом теплопроводности.

Для исследуемого биметаллического ребра этот показатель должен находиться между минимальным ($E_{\min}$) и максимальным ($E_{\max}$) значениями, которые определяются по следующим формулам:

$$E_{\min} = \frac{th(m_2 l)}{m_2 l}; \quad (11)$$

$$E_{\max} = \frac{th(m_1 l)}{m_1 l}. \quad (12)$$

Подробные таблицы для коэффициентов E , полученные на основе выражений (11) и (12), приведены в [2].

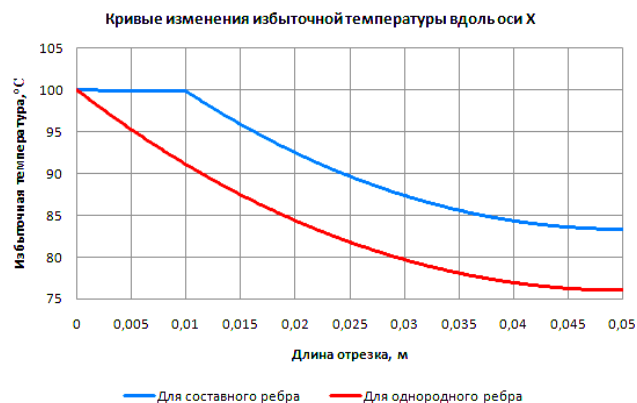
Таким образом, для составного ребра должно выполняться условие

$$E_{\min} < E < E_{\max}. \quad (13)$$

При этом, чем ближе будет величина E к верхнему пределу, тем более эффективным является составное ребро.

Количество рассеиваемого тепла рассматриваемым стержнем в окружающее пространство можно рассчитать по соотношению

$$Q_p = -\frac{dv_1}{dx} \Big|_{x=0} \lambda_1 f.$$



Кривые изменения избыточной температуры вдоль оси X

Здесь

$$\begin{aligned} \frac{dv_1}{dx} \Big|_{x=0} &= m_1 (C_1 - C_2) = m_1 (C_1 - v_0 + C_1) = \\ &= m_1 (2C_1 - v_0) = m_1 v_0 \left[2 \frac{e^{-m_1 l}}{e^{m_1 l} + e^{-m_1 l}} A - 1 \right]. \end{aligned}$$

Тогда для комбинированного ребра коэффициент E будет равен

$$E = \frac{1 - \frac{2e^{-m_1 l}}{e^{m_1 l} + e^{-m_1 l}} A}{m_1 l}. \quad (14)$$

Если ребро однородное, то решение (14) выводится либо в зависимость (11), либо (12).

На рисунке приведены результаты расчета распределения избыточной температуры вдоль композиционного стержня постоянного сечения. При этом были взяты за исходные параметры следующие величины: $l=50$ мм; $l_1=10$ мм; $\lambda_1=380$ Вт/мК; $\lambda_2=45$ Вт/мК; $\alpha=20$ Вт/м²К, толщина ребра $2\delta=4$ мм; $v_0=100^\circ\text{C}$.

На этом же рисунке изображена кривая изменения температуры по оси x для однородного стержня, коэффициент теплопроводности материала которого равен $\lambda=45$ Вт/мК. Видно, что эта линия располагается существенно ниже, чем у составного ребра. Числовые значения избыточной температуры в некоторых фиксированных сечениях, рассчитанные по формулам (7) и (8), представлены в табл. 1.

Для коэффициентов $E_{\min}$ и $E_{\max}$, вычисленных на основе зависимостей (11) и (12), для рассмотренного варианта получим:

$$E_{\min} = 0,839, \quad E_{\max} = 0,977.$$

Аналогичный коэффициент E составного ребра, рассчитанный по формуле (14), для того же числового примера равен

$$E = 0,955,$$

т.е. он удовлетворяет условию (14) и существенно выше $E_{\min}$.

Полученные строгие решения (7) и (8) для расчета изменения температуры вдоль неоднородного

Таблица 1

Зависимость величины избыточной температуры для разных типов ребер

X, м	Величина избыточной температуры, °C	
	Однородное ребро	Композиционное ребро
0	100,000	100,000
0,005	95,263	99,894
0,01	91,099	99,858
0,02	84,388	92,502
0,03	79,707	87,371
0,04	76,942	84,340
0,05	76,028	83,338

стержня являются несколько громоздкими. Однако для рассмотренной системы составных тел они могут быть существенно упрощены. Учитывая, что в граничном условии (5) на стыке между первым (высоко теплопроводным) и вторым элементами конструкции имеет место неравенство $\lambda_1 \gg \lambda_2$, т.е. при

$$x=l_1 \quad \frac{d\vartheta_1}{dx} \ll \frac{d\vartheta_2}{dx},$$

исходную систему уравнений (1)–(6) тогда удастся приближенно представить в виде двух отдельных задач:

$$\frac{d^2\vartheta_1}{dx^2} - m_1^2\vartheta_1 = 0 \quad \text{при } 0 \leq x \leq l_1; \quad (15)$$

$$\vartheta_1 = \vartheta_0 \quad \text{при } x=0; \quad (16)$$

$$\frac{d\vartheta_1}{dx} = 0 \quad \text{при } x=l_1 \quad (17)$$

и

$$\frac{d^2\vartheta_2}{dx^2} - m_2^2\vartheta_2 = 0 \quad \text{при } l_1 \leq x \leq l; \quad (18)$$

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 \quad (x=l_1); \quad (19)$$

$$\frac{d\vartheta_2}{dx} = 0 \quad \text{при } x=l. \quad (20)$$

Сопряжение распределения температуры между первым и вторым участками комбинированного ребра основывается на равенстве (19).

Система уравнений (15)–(17) представляет самостоятельную задачу, аналитическое решение которой очевидно имеет вид [1]:

$$\vartheta_1(x) = \vartheta_0 \frac{\operatorname{ch}[m_1(l_1 - x)]}{\operatorname{ch}(m_1 l_1)}. \quad (21)$$

Здесь переменная x находится в интервале $0 \leq x \leq l_1$. Тогда температура в конце первой части стержня будет равна

$$\vartheta_1(l_1) = \frac{\vartheta_0}{\operatorname{ch}(m_1 l_1)}. \quad (22)$$

Подставляя это значение избыточной температуры в граничное условие (19), находим математическое выражение для закона распределения температуры во второй части составного ребра, где $l_1 \leq x \leq l$.

$$\vartheta_2(x) = \frac{\vartheta_0}{\operatorname{ch}(m_1 l_1)} \cdot \frac{\operatorname{ch}[m_2(l - x)]}{\operatorname{ch}[m_2(l - l_1)]}. \quad (23)$$

Зависимости (21) и (23) полностью удовлетворяют уравнениям (1)–(4) и (6) исходной задачи. Они не являются достаточными только для условия (5). Однако возникающая при этом невязка, как правило, незначительная. В связи с этим приближенные решения (21) и (23), которые оказываются существенно более простыми применительно к расчетной практике по сравнению со строгими зависимостями (7) и (8),

отличаются сравнительно небольшой погрешностью. Используя приближенные зависимости (21) и (23), нетрудно определить коэффициенты тепловой эффективности первой и второй частей составного ребра. Эти коэффициенты тогда рассчитываются по соотношениям:

$$E_1 = \frac{th(m_1 l_1)}{m_1 l_1}; \quad (24)$$

$$E_2 = \frac{th[m_2(l - l_1)]}{m_2(l - l_1)}. \quad (25)$$

Из-за принятого допущения следует, что приближенные формулы (21) и (23) дают несколько завышенные значения избыточной температуры по сравнению со строгими решениями (7) и (8). Это, в част-

Таблица 2

Соотношение величин избыточной температуры для композиционного стержня с алюминиевой вставкой, рассчитанной по разным формулам

X, м	Длина вставки, м			
	0,01		0,02	
	θ, °C, по формулам			
	(7)–(8)	(21)–(23)	(7)–(8)	(21)–(23)
0	100	100	100	100
0,005	99,82943	99,82942	99,60392	99,6046
0,01	99,77260	99,77258	99,32133	99,3220
0,015	95,80960	95,81022	99,15189	99,1526
0,02	92,42233	92,42300	99,09543	99,0961
0,025	89,58988	89,59060	96,05917	96,0593
0,03	87,29524	87,29601	93,59892	93,5991
0,035	85,52463	85,52546	91,70056	91,7007
0,04	84,26742	84,26832	90,35267	90,3528
0,045	83,51607	83,51704	89,54717	89,5473
0,05	83,26607	83,26711	89,27922	89,2794

Таблица 3

Соотношение величин избыточной температуры для композиционного стержня с медной вставкой, рассчитанной по разным формулам

X, м	Длина вставки, м			
	0,01		0,02	
	θ, °C, по формулам			
	(7)–(8)	(21)–(23)	(7)–(8)	(21)–(23)
0	100	100	100	100
0,005	99,89354	99,89354	99,75240	99,75236
0,01	99,85807	99,85806	99,57560	99,57559
0,015	95,89208	95,89230	99,46960	99,46959
0,02	92,50199	92,50218	99,43430	99,43426
0,025	89,66720	89,66736	96,38700	96,38699
0,03	87,37067	87,37080	93,91830	93,91833
0,035	85,59864	85,59873	92,01340	92,01347
0,04	84,34045	84,34051	90,66090	90,66096
0,045	83,58855	83,58859	89,85260	89,85268
0,05	83,33844	83,33845	89,58370	89,58380

ности, наблюдается и при сравнении полученных числовых величин, приведенных в табл. 2 и 3. Расчеты выполнены для условий предыдущего примера. Причем для алюминия коэффициент теплопроводности был принят равным $\lambda=200$ Вт/мК.

Вывод

Сопоставление данных распределения температуры, рассчитанных по разным методам, свидетельствует о достаточно хорошем согласовании полученных числовых величин. Такой математический подход оказывается особенно эффективным при исследовании процессов переноса тепла в составных ребрах переменного сечения сложной конфигурации. По-

видимому, можно предположить, что он применим и в случае изучения нестационарных явлений теплопроводности ребер комбинированного типа.

Список литературы

1. Керн Д., Краус А. Развитие поверхности теплообмена. М.: Энергия, 1977. 461 с.
2. Краткий справочник по тепломассообмену / Видин Ю.В., Бойков Г.П., Колосов В.В., Ромащенко А.С. Красноярск Сиб. фед. ун-т, 2007. 169 с.

Bibliography

1. Kern D., Kraus A. Increase surfaces of heat mass exchange, M.: Energy, 1977. 461 p.
2. Vidin. Y.V., Baikov G.P., Kolosov V.V., Romashenko A.S. Short manual of heat mass' exchange. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2007. 169 p.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. РОБОТОТЕХНИКА

УДК 67.02, 004.896

Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Головкин Н.А., Усачев М.В., Полько П.Г., Логунова О.С.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДСП*

Существует ряд методов поисковой автоматической оптимизации и способов их реализации, отличительной особенностью которых является отсутствие заданного значения технологического оптимизируемого параметра, а имеется лишь цель управления – достижение экстремального значения целевой функции. В подавляющем большинстве реальных случаев статическая характеристика оптимизируемого параметра может смещаться или изменять свою форму, не теряя своего экстремального унимодального характера, трудно предсказуемым (случайным) образом. Это усложняет условия эффективного функционирования системы автоматической оптимизации и управления (САОУ) технологическим процессом [1].

В работе предлагается система автоматической оптимизации управления электрическим режимом электродуговой печи, позволяющая осуществлять управление агрегатом в режиме максимальной производительности при использовании принципов нечеткой логики и экстремального регулирования.

В данной работе в качестве оптимизируемого параметра процесса используется активная мощность дуги. Данный параметр напрямую связан с производительностью агрегата [2, 3], и поэтому оптимизация управления процессом с целью достижения максимума активной мощности дуги приобретает важное производственное значение, поскольку обеспечивает достижение максимально возможной производительности ДСП.

Анализ существующих технологических решений в области создания систем автоматизации и оптимизации процесса работы электродуговых агрегатов показал, что подавляющее большинство таких систем ориентированы на использование статистических экспериментально-эмпирических и искусственно-нейронных моделей процесса [3]. Поскольку реальная рабочая статическая характеристика оптимизируемого параметра – зависимость активной мощности дуги от величины рабочего тока дуги – в процессе работы агрегата изменяется во времени, то эти статические по-

сути модели процесса могут давать не соответствующую текущей реальности характеристику процесса. В данной работе предлагается для автоматической оптимизации управления электродуговым процессом плавки применить метод поисковой оптимизации, позволяющий в реальном времени с использованием принципов нечеткой логики реагировать на все изменения, происходящие в процессе работы агрегата, и не предполагающие знания точной статической количественной модели процесса.

Статические рабочие характеристики, отражающие зависимость активной мощности дуг от текущего значения тока дуги в начальный и конечный моменты плавки, полученные на созданной компьютеризированной экспериментальной установке, представлены на рис. 1.

Теоретические вопросы различных типов поисковых систем автоматической оптимизации и вопросы их практического применения подробно рассмотрены в работах [1, 4.] Важной особенностью таких систем (их еще называют системами экстремального регулирования) является их способность функционировать в условиях недостатка знаний об управляемом процессе. Положение экстремума статической характеристики процесса заранее неизвестно.

В последние годы все более широкое распростра-

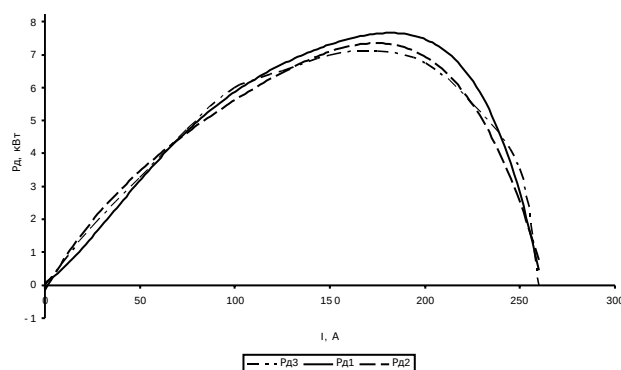


Рис. 1. Вид статической характеристики оптимизируемого параметра в различные периоды плавки:

$P_{д1}$ – в начале; $P_{д2}$ – в середине; $P_{д3}$ – в конце плавки

* Работа выполняется в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» 2009–2013 гг. по государственному контракту 14.740.11.0498 от 01.10.2010.

нение получают системы, основанные на принципах теорий нечетких множеств и нечетких логических выводов. Нечеткие системы управления также обладают фундаментальной способностью обеспечивать приемлемое по качеству управление в условиях отсутствия точной количественной модели процесса управления. Системы нечетких логических выводов могут использоваться в качестве универсальных аппроксиматоров неизвестных функциональных зависимостей, наряду с другими парадигмами, например искусственными нейронными сетями или машинами опорных векторов. В отличие от искусственных нейронных сетей или машин опорных векторов, представляющих собой концепцию «черного ящика», когда о моделируемом процессе известны только экспериментальные количественные данные в виде пар вход-выход, системы нечетких выводов могут с успехом использоваться при реализации управления процессами в том случае, когда уже имеются некоторые эвристические качественные знания о процессе. Это так называемая концепция «белого ящика» [5].

Предлагаемая в работе система автоматического управления электрическим режимом электродуговых печей переменного тока реализуется на этих двух принципах: принцип экстремального регулирования и нечеткого управления.

Функционально систему управления можно представить с помощью схемы, изображенной на рис. 2.

Система оптимального управления состоит из двух подсистем: подсистемы стабилизирующего управления по заданию (СР), обеспечивающей формирование сигналов $C^{A,B,C}$ управления устройствами перемещения электродов печи с целью минимизировать рассогласование между заданным значением Z и фактическим значением стабилизируемого параметра для каждой из трех фаз печи, и командной подсистемы экстремального регулирования (ЭР), осуществляющей формирование корректирующего задания подчиненной подсистеме. Контролируемыми сигналами объекта управления (ОУ) являются эффективные значения фазных токов $I^{A,B,C}$, фазных напряжений, $U^{A,B,C}$ и значения активной мощности каждой фазы $P^{A,B,C}$, которые поступают в обе

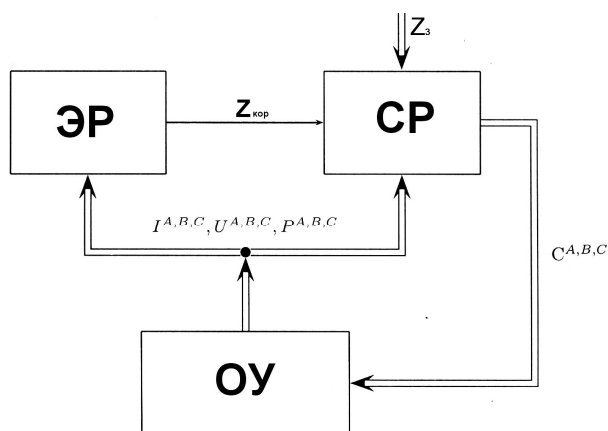


Рис. 2. Схема САУ электрическим режимом электродуговой печи

подсистемы управления.

На основе значений контролируемых параметров производится вычисление других косвенных значений параметров дуг. Такими косвенными параметрами являются напряжения на дугах $U_d^{A,B,C}$, импедансы фаз $Z_{2\Phi}^{A,B,C}$ и мощности дуг $P_d^{A,B,C}$.

Подсистема экстремального регулирования представлена в виде функциональной схемы на рис. 3. Модуль нечетких выводов осуществляет статическое отображение $y = F(x_1, x_2, x_3)$. Масштабирование сигналов и динамические элементы вынесены за пределы модуля. Входными сигналами подсистемы экстремального регулирования являются текущие значения средней активной мощности дуг P_d , среднего тока I по фазам и значение стабилизируемого параметра U . Как было сказано выше, в качестве U могут выступать различные параметры, в зависимости от организации функционирования подсистемы стабилизирующего управления. Выходной сигнал подсистемы экстремального регулирования представляет собой сигнал задания Z для подсистемы стабилизирующего управления. В схеме присутствуют блоки единичной задержки и сумматоры для запоминания значений входных сигналов на предыдущей итерации и вычисления приращений входных сигналов на каждой итерации ΔP_d и ΔI и вычисления текущего задания Z с учетом его предыдущего значения и текущей коррекции Z_c . Также вычисляется сигнал рассогласования e как разность между заданием Z и текущим значением стабилизируемого параметра U . С помощью коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 и k_4 можно масштабировать оси на предметной области нечетких множеств входных и выходных сигналов. Входные сигналы модуля нечеткого контроллера обозначаются как x_1 , x_2 и x_3 , а выходной сигнал как y .

При работе принципа нечетких выводов используются лингвистические переменные: X_1 – «Приращение мощности»; X_2 – «Приращение тока»; X_3 – «Рассогласование»; Y – «Коррекция задания». Функции принадлежности четких переменных нечетким множествам будем задавать в форме функций Гаусса (1).

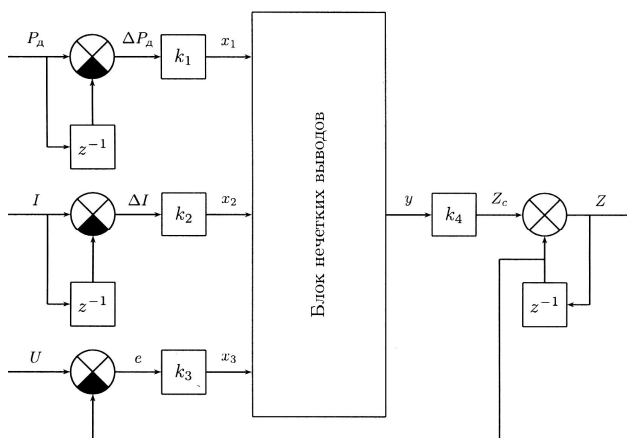


Рис. 3. Схема нечеткого экстремального регулятора

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x < -c; \\ e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}, & \text{если } x \geq -c; \end{cases} \quad \mu(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}};$$

$$\mu(x) = \begin{cases} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}, & \text{если } x < c; \\ 1, & \text{если } x \geq c, \end{cases} \quad (1)$$

где c – положение центра функции принадлежности; σ^2 определяют ширину функции принадлежности.

На области определения текущего нормированного сигнала приращения мощности x_1 определены два нечетких множества, определяющих значение лингвистической переменной X_1 соответствующими функциями принадлежности: $A_1^{x_1}$ = “Отрицательное”, $A_2^{x_1}$ = “Положительное”.

Аналогично определяются функции принадлежности для значений лингвистической переменной X_2 : $A_1^{x_2}$ = “Отрицательное”, $A_2^{x_2}$ = “Положительное”. Графически функции принадлежности нечетких множеств $A_1^{x_1}, A_2^{x_1}, A_1^{x_2}, A_2^{x_2}$ представлены на рис. 4.

На области определения текущего нормированного сигнала рассогласования x_3 определены три нечетких множества, определяющие значения лингвистической переменной X_3 соответствующими функциями принадлежности: $A_1^{x_3}$ = “Отрицательное”, $A_2^{x_3}$ = “Нулевое”, $A_3^{x_3}$ = “Положительное”. Графически функции принадлежности нечетких множеств $A_1^{x_3}, A_2^{x_3}, A_3^{x_3}$ представ-

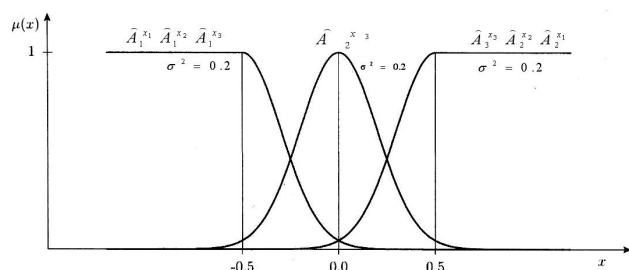


Рис. 4. Функции принадлежности нечетких множеств для входных переменных X_1, X_2 и X_3

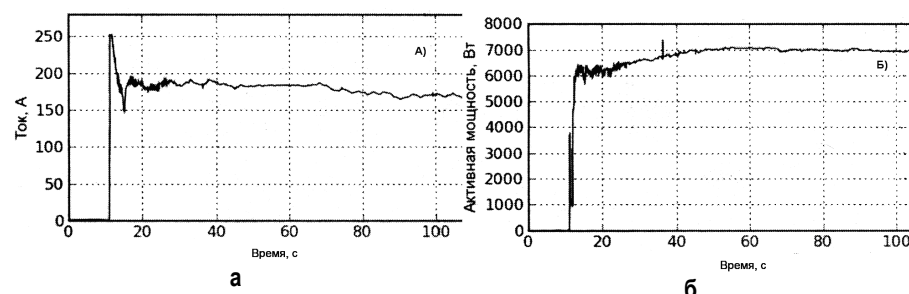


Рис. 5. Процесс поиска оптимального электрического режима электродуговой печи во времени:

а – изменение тока дуги во времени; б – изменение мощности, выделенной в дуге во времени

лены также на рис. 4.

В начале каждого цикла работы контроллера вычисляются значения функций принадлежности для каждого нечеткого множества, определенных для соответствующих входных переменных.

В качестве операции конъюнкции и импликации используется операция алгебраического произведения, а в качестве метода дефазификации – метод по среднему центру. Следовательно, для выходных нечетких множеств достаточно задать только их центры [6, 7].

Нечеткие множества значений выходной лингвистической переменной Y : B_1 = “Отрицательное большое”, B_2 = “Нулевое”, B_3 = “Положительное малое”, B_4 = “Положительное большое” в силу вышеуказанного задаются синглтонами (можно представить в виде дельта функции):

$$\mu = \delta(x - b) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = b; \\ 0, & \text{если } x \neq b. \end{cases} \quad (2)$$

Одним из способов получения правил нечеткого управления является создание модели действий оператора [8]. Для организации поискового режима работы используется следующее основное эвристическое правило:

«Если приращение текущей мощности дуг положительное, тогда необходимо дать коррекцию заданию на дальнейшее изменение режима в сторону текущего изменения тока, в обратном случае корректировать режим в противоположном направлении».

С учетом наличия третьей переменной, представляющей собой оценку рассогласования, правила несколько усложняются, однако ее использование повышает качество работы системы. При составлении базы правил учитывается, что при увеличении тока фазы уменьшается импеданс фазы и напряжение дуги.

Для увеличения тока дуги электрод необходимо переместить вниз, а для уменьшения – вверх. Зажигание дуги начинается с технологического короткого замыкания (как минимум двух) электродов на металлошхту.

В отличие от традиционных экстремальных систем (кроме систем с принудительной модуляцией), где анализ текущего положения на статической характеристике производится на основе оценки только оптимизируемого параметра, в предлагаемой системе дополнительно используются еще два сигнала: это текущее значение приращения тока и рассогласование между заданием и стабилизируемым параметром.

При наличии высокочастотных возмущений это позволит избежать ложных реверсов экстремальной системы управления. Оценкой отработки задания на предыдущей итерации является сигнал рассогласования, что также позволяет уменьшить амплитуду поисковых движений (в случае, когда рассогласование оценивается не как равное нулю, величина коррекции задания существен-

но уменьшается, чтобы дать установиться предыдущему заданию).

Можно сказать, что база правил представляет собой некоторую лингвистическую модель, которая является качественной моделью собственно управления, то есть отражает логику работы квалифицированного технолога.

Принцип нечеткой логики и был создан для того, чтобы вместо двоичной системы, отражающей только истинность или ложность события (0,1), использовать степени истин, которые действуют в диапазоне от 0 до 1.0 включительно.

В результате проведенных испытаний предлагаемой системы автоматической оптимизации были получены данные, отражающие режим реального функционирования системы.

Из графиков на рис. 5 видно, что в течение 10 с после зажигания дуги система вышла в оптимум. После 25 с начался дрейф статической характеристики. Система эффективно отработала данную ситуацию и опять вышла в новое положение оптимального значения тока дуги.

В заключение необходимо отметить, что в отличие от традиционных задач оптимального управления рассматриваемый нами алгоритм предполагает поиск оптимального решения в оперативном режиме, осуществляя необходимые мероприятия по управлению объектом в реальном времени, в отсутствие заранее известной модели оптимизируемого процесса. Система гарантированно поддерживает максимальную активную мощность в каждый момент времени (с учетом потерь на поиск).

Данную систему можно рекомендовать к приме-

нению в составе уже существующих АСУ ТП при производстве электростали и АСУ П, решающих более глобальные задачи планирования и оптимизации производства конечного продукта.

Список литературы

1. Казакевич В.В., Родов А.Б. Системы автоматической оптимизации. М.: Энергия, 1977. 288 с.
2. Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева / под ред. А.Д. Свенчанский. М.: Энергоиздат, 1981. 296 с.
3. Лапшин И. В. Автоматизация технологических процессов дуговой сталеплавильной печи. М.: МИСиС, 2002. 157 с.
4. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В., Андреев С.М. Расчеты систем автоматической оптимизации управления технологическими процессами в металлургии. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003. 267 с.
5. Kecman V. Learning and Soft Computing: support vector machines, neural networks and fuzzy logic models. The MIT Press, 2001. P. 567.
6. Passino K. M., Yurkovich S. Fuzzy Control. Addison-Wesley. 1997. P. 522.
7. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: «Горячая линия Телеком», 2004. 452 с.
8. Прикладные нечеткие системы / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, К. Сугено. М.: Мир, 1993. 368 с.

Bibliography

1. Kazakevich V.V., Rodov A.B. Automatic optimization systems. M.: Energy 1977. 288 p.
2. Industrial electric furnaces. Arc furnaces and special heatings installations / ed. S. Venchansky. M.: Energoizdat 1981. 296 p.
3. Lapshin I. V. Arc furnace technological process automation. M.: MISIS, 2002. 157 p.
4. Parsunkin B.N., Bushmanova M.V., Andreev S.M. Metallurgical process automatic optimization system consideration. Magnitogorsk: MG TU of G.I. Nosov 2003. 267 p.
5. Kecman V. Learning and Soft Computing: support vector machines, neural networks and fuzzy logic models. The MIT Press, 2001. 567 p.
6. Passino K. M., Yurkovich S. Fuzzy Control. Addison-Wesley. 1997. 522 p.
7. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. Neural nets, genetic algorithms and fuzzy systems. M.: «Goryachaya liniya – Telecom». 2004. 452 p.
8. Applied fuzzy systems / ed. T. Terano, K. Asai, K. Sugeno. M.: Mir, 1993. 368 p.

УДК 621.865.8

Литвин А.В.

АЛГОРИТМЫ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА LEGO MINDSTORMS NXT ПО ЧЕРНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

Современный этап развития общества характеризуется внедрением информационных технологий во все сферы человеческой деятельности. Новые информационные технологии оказывают существенное влияние и на сферу образования. Происходящие фундаментальные изменения в системе образования вызваны новым пониманием целей, образовательных ценностей, а также необходимостью перехода к непрерывному образованию, разработкой и использованием новых технологий преподавания, связанных с оптимальным построением и реализацией учебного процесса с учетом гарантированного достижения дидактических целей.

Одной из базовых задач образовательной робототехники является описание поведения робота в условиях задания ему четкой траектории движения при помощи черной линии. Без вышеупомянутого задания не обходится ни одна олимпиада или турнир по робо-

технике. Мы остановим свое внимание на модели робота Lego Mindstorms NXT и попробуем описать возможные алгоритмы и инструкции по выполнению этого задания. Данные алгоритмы также подойдут и к более устаревшей модели роботов Lego Mindstorms RCX, но в силу высокой погрешности используемых в наборах датчиков алгоритмы не дадут такого эффекта, как при использовании оборудования NXT. Как известно, каждый набор Lego Mindstorms NXT оснащен специальным датчиком освещенности, который заменяет роботу «глаза». Имеет смысл немного подробнее остановиться на принципе работы данного датчика (см. рисунок). Датчик работает в двух режимах:

1. Фиксирует общую освещенность (окружающей обстановки). Используя шины данных, блок может передавать текущие параметры освещенности и логическую команду («истина»/«ложь») в зависимости от того,

выше или ниже текущая освещенность, чем значение точки запуска. Значение срабатывания является специальным значением, лежащим в том диапазоне значений, в пределах которого происходит изменение условий.

Точка запуска задается бегунком или вводом числового значения в окно ввода. Чтобы указать диапазон (выше или ниже точки запуска), в котором будет генерироваться сигнал «истина», используются селективные кнопки или выпадающее меню.

2. Регистрация фотоэлементом собственного отраженного света. При установке параметра опции «Включить освещение» («Generate Light») датчик освещенности включит свой собственный небольшой источник света и обнаружит свет при его отражении. Эта функция оказывается крайне полезной в сложных условиях освещенности, например в комнатах с очень ярким освещением. Эта функция также позволяет использовать фотоэлемент в качестве дальномера на небольших расстояниях.

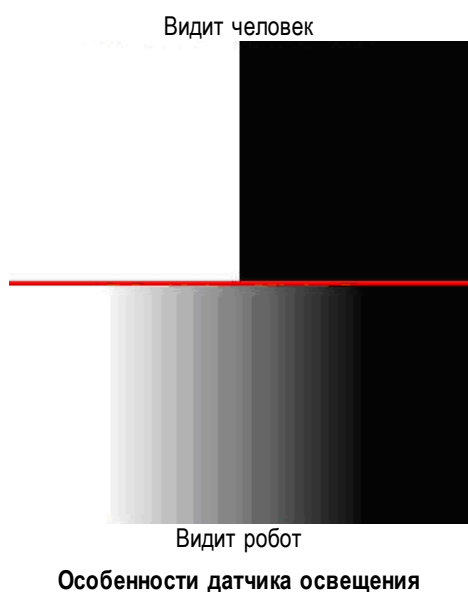
Существует несколько подходов к решению поставленной нами задачи:

1. Линейные алгоритмы, задания вектора движения робота без использования памяти самого процессора.

2. Алгоритмы, использующие сложные математические функции и позволяющие запоминать текущие показания датчиков и предыдущие маневры самого робота.

Поскольку первый подход многократно описан во многих источниках и сами алгоритмы имеют достаточно несложную структуру, то мы не станем подробно на нем останавливаться. Но для того, чтобы понять его существенные недостатки и узкие места, имеет смысл остановиться на нескольких примерах. Для начала необходимо сказать, что при любом подходе существенно важно грамотно подойти к вычислению порога срабатывания датчика освещения. По мнению специалистов, порог (P) можно вычислить по следующей формуле:

$$P = D2 + ((D1 - D2)/2), \quad (1)$$



где D1 – показания датчика освещения на белой поверхности, D2 – показания датчика освещения на черной поверхности.

Иными словами, мы фиксируем середину между черным и белым, которой, как правило, является граница черной и белой линии. В том случае, если порог будет задан в программе как константное значение, мы получим невыполнение поставленной нами задачи при условии изменения освещенности в помещении после того, как были произведены замеры показаний датчика. Для устранения данной проблемы рекомендуется задавать порог как переменное значение, которое сможет перезаписать сам процессор в нужный момент, т.е. при запуске соответствующей программы необходимо установить датчик освещения таким образом, чтобы его луч был направлен в центр черной линии. Смысл алгоритма заключается в том, что при включении процессор снимает показания с датчика освещения (который в этот момент направлен на черную линию) и записывает показания в переменную *Pogog*. Как доказано лабораторным экспериментом, разница в показаниях датчика освещения на черной поверхности и на белой отличается в среднем на 16% (D1–D2). Зная это, из формулы (1) можно вывести, что порог равен сумме значения переменной *Pogog* и половине разности между показаниями, т.е. 8%.

Для начала стоит рассмотреть способ движения робота по черной линии при помощи одного датчика освещения. Суть алгоритма в следующем. Робот не «держится» за линию, а, наоборот, избегает ее. Когда датчик робота попадает на линию, то робот резко уходит в сторону и вперед, после чего начинает возвращаться снова к линии. Попадая на линию, робот снова уходит в сторону и вперед, а затем опять возвращается к линии. Таким образом, он как бы избегает линию, а затем ее ищет. При этом скорость его движения становится за счет довольно больших «бросков» в сторону и вперед намного выше, чем при постоянном отслеживании границы белого и черного.

Для устранения основных недостатков вышеизложенного способа можно воспользоваться вторым датчиком освещения. Рассмотрим два способа движения робота при помощи двух датчиков освещения:

1. Метод избегания линии.

2. Метод избегания белого цвета.

В основе первого метода лежит идея расположения датчиков освещения таким образом, чтобы черная линия проходила между датчиков, не пересекая луч определения светимости. Соответственно в случае срабатывания порога светимости правым датчиком выравниваем робота вправо до тех пор, пока он не зафиксирует светимость белого цвета. Аналогичная ситуация применима и для срабатывания левого датчика. В зависимости от показаний датчика при помощи алгоритмической структуры ветвления получаем 4 возможные ситуации (см. таблицу).

В основе второго способа лежит идея фиксирования значения обоих датчиков на черной линии, т.е. при отклонении робота в конкретную сторону задается поворот в противоположную сторону. Существенным недостатком такого способа является тот факт,

что датчики должны располагаться вплотную друг к другу, а следовательно, своей светимостью мешать датчику – соседу.

Все вышеперечисленные способы имеют общие недостатки:

1. За счет частых виляний робота увеличивается время выполнения задания.

2. При внезапном изменении освещенности в помещении возникает вероятность схода робота.

3. Данные алгоритмы, в принципе, не применимы к сложным траекториям, таким как угол меньше 90°, спираль, неполные перекрестки и т.д.

Для устранения всех вышеизложенных проблем применяются более сложные способы, такие как алгоритмы, использующие сложные математические функции и позволяющие запоминать текущие показания датчиков и предыдущие маневры самого робота. Таких способов существует тоже несколько, использующих разное количество датчиков освещения.

Движение по черной линии с одним датчиком освещения

Релейный регулятор

Определить среднее значение grey между черным и белым. Это будет то состояние датчика освещенности s1, к которому должна стремиться система. Если значение датчика s1 больше, чем grey, то мы на белом и надо двигаться вправо. Иначе надо двигаться влево.

Пропорциональный регулятор

Управляющее воздействие – отклонение изменяемой величины от ее «нормального» значения. Для черной линии это разница (s1 – grey).

Пропорциональный регулятор – это устройство, оказывающее управляющее воздействие на объект пропорционально его отклонению от заданного состояния.

$$UP = k * (s1 - grey).$$

Здесь k – коэффициент усиления регулятора.

Алгоритм

1. Определить среднее значение grey между черным и белым. Это будет то состояние датчика освещенности s1, к которому должна стремиться система.

```
2. while(true)
{up=k*(s1-grey);
motor[MotorB]=50+up;
motor[MotorC]=50-up;
wait1msec(1);}
```

Движение по границе черного и белого с помощью ПД-регулятора

$$ud = k * (S1 - Sold) / \Delta t,$$

где S1 – текущие показания датчика; Sold – показания на предыдущем шаге.

• Дифференциальная составляющая компенсирует пропорциональную $upd = up + ud$

$$upd = k1 * (S1 - grey) + k2 * (S1 - Sold)$$

Можно показать, что для устойчивого достижения цели коэффициент k2 при дифференциальной составляющей должен превышать k1.

Кубический регулятор:

• Рассчитывается отклонение

$$e = S1 - grey$$

• Возводится в куб

$$uk = k2 * (e * e * e), \text{ где } k2 \approx 0.01$$

• Управляющее воздействие: пропорциональное + кубическое

$$upk = k1 * e + k2 * e * e * e$$

Коэффициент k2 при кубической составляющей должен быть такой, чтобы при максимальном отклонении получать величину, сравнимую с мощностью моторов (100). Коэффициент k1 может быть невелик.

Пропорциональный регулятор: движение по линии с двумя датчиками:

- при двух белых едет прямо,
- при одном черном поворачивает в сторону черного,
- при двух черных едет прямо.
- Используем **разность показаний**.
- Датчики могут быть откалиброваны по-разному.
- Рассчитывается **разность отклонений**.
- Начальные значения на одноцветной поверхности.

Алгоритм:

```
left=s1;
right=s2;
while(true)
{ up=k1*((s1-left)-(s2-right));
Motor[MotorB]=50+up;
Motor[MotorC]=50-up;
wait1msec(1);}
```

ПД-регулятор: движение по линии с двумя датчиками.

Идея: Запоминаем отклонение в переменной e, предыдущее в переменной eold

Алгоритм:

```
left=s1; right=s2; eold=0;
while(true)
{ e=(s1-left)-(s2-right);
u=k1*e+k2*(e-eold); eold=e;
Motor[MotorB]=50+u; Motor[MotorC]=50-u;
wait1msec(1);}
```

Задание следования робота на двух датчиках освещения

Возможная ситуация	Программное воздействие на поведение робота
Оба датчика фиксируют значение выше порога срабатывания	Оба мотора прямо
Левый датчик фиксирует значение выше порога срабатывания, а правый ниже	Левый мотор вперед, правый назад
Правый датчик фиксирует значение выше порога срабатывания, а левый ниже	Правый мотор вперед, левый назад
Оба датчика фиксируют значение ниже порога срабатывания	Оба мотора прямо

Движение по черной линии с тремя датчиками освещения:

- Плавающий коэффициент: Центральный датчик «предсказывает будущее»
- Центральный датчик калибруется на черном center=S3
- Пропорциональный коэффициент зависит от его отклонения с линии
 $k1=1+(S3-center)/3$
 $U=k1*e$

Алгоритм:

```
left=s1; right=s2; center=s3;
while(true)
{ e=(s1-left)-(s2-right);
k1=1+(s3-center)/10;
u=k1*e;
Motor[MotorB]=50+u; Motor[MotorC]=50-u;
wait1msec(1);}
```

Примечание: для достижения 100% точности выполнения задания необходимо разместить датчики освещенности таким образом, чтобы они образовывали равносторонний треугольник.

Все вышеизложенные методы имеют свои сильные стороны в определенных ситуациях. Поэтому выбор метода должен осуществляться исходя из задания, поставленного роботу. Нельзя забывать, что методы, использующие регуляторы, довольно-таки сильно нагружают сам процессор, и их использование допустимо только при действительно сложных задачах.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51086-97. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения.

2. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. М.: Радио и связь. 2006.
3. Дональд Кнут. Искусство программирования. Т. 1: Основные алгоритмы = The Art of Computer Programming. Vol. 1. Fundamental Algorithms. 3-е изд. М.: Вильямс, 2006. С. 720.
4. Иан Грэхем. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика: пер. с англ. 3-е изд. М.: Вильямс, 2004. 880 с.
5. Простой Лего – робот, следующий по линии. Роботы, робототехника, микроконтроллеры. URL: http://www.myrobot.ru/articles/lego_line.php (дата обращения: 03.04.2011).
6. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник / пер. с англ. Ю.А. Заболотной; под ред. Е.Л. Свинцова. М.: Техносфера, 2005.
7. Типы регуляторов и законы регулирования, ПИД регуляторы. Информационный портал по АСУ ТП. URL: <http://automation-system.ru/regulator/type-of-control.html> (дата обращения: 03.04.2011).
8. Алгоритмы: построение и анализ = INTRODUCTION TO ALGORITHMS / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. С. 1296.

Bibliography

1. GOST R 51086-97. Sensors and transducers of physical quantities electric. Terms and definitions. section 3 «Terms and definitions».
2. Sensors in modern measurements. Котюк А. Ф. Moscow. Radio and communication. 2006
3. Donald Knuth the Art of computer programming. Vol. 1. The basic algorithms = The Art of Computer Programming. Vol. 1. Fundamental Algorithms. 3-e izd. M.: Williams, 2006. WITH. 720.
4. Ian Graham. Object-oriented methods. Principles and practice / per. s angl. 3rd edition. M.: Williams, 2004. 880.
5. A Simple Legorobot, the next in line. Robots, robotics, microcontrollers. URL: http://www.myrobot.ru/articles/lego_line.php (date of access: 03.04.2011).
6. Modern sensors. Handbook J. Friden Translation from English YU.A. Zabolotnoy edited by JE.L. Svintsova TECHNOSPHERE. Moscow: Technosphere, 2005.
7. Types of controllers and the laws of control, PID controllers. Information portal for the PROCESS CONTROL system. URL: <http://automation-system.ru/regulator/type-of-control.html> (date of access: 03.04.2011).
8. Thomas H. Cormen, Charles I. Layzerson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein Algorithms: construction and analysis of = INTRODUCTION TO ALGORITHMS. 2-e izd. M.: «Williams», 2006. WITH. 1296.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 332.135:005.52

Поликарпова М.Г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РОССИЙСКОГО РЫНКА СЛИЯНИЙ И ПОГЛОЩЕНИЙ В 2004–2010 гг.*

В условиях экономического роста и формирования конкурентных рынков в России важным фактором повышения конкурентоспособности становятся интеграционные процессы в бизнесе, направленные на увеличение его масштаба и доли на рынке. Исследование процессов М&А и интеграционной активности в странах с развитой институциональной средой в значительной степени основывается на эконометрических подходах. В качестве важнейших направлений можно выделить:

- тестирование гипотезы о волнообразном поведении М&А;
- моделирование процесса принятия решения о возможности проведения М&А антимонопольными органами и правительственными комиссиями;
- исследование влияния М&А на доходность акций интегрируемых компаний;
- исследование влияния динамики макроэкономических показателей на интеграционную активность и др.[2]

Как представляется, данные направления исследований актуальны и для российской экономики. Хотя многие модели данного направления пока не удается реализовать в современных российских условиях ввиду ограниченности накопленных данных о рынке слияний и поглощений в России **.

На основе проведенного сравнительного анализа эконометрических подходов для исследования интеграционной деятельности в РФ был выбран подход, описывающий интенсивность интеграционных процессов и влияние на них динамики различных макроэкономических показателей, отражающих состояние современной российской экономики.

При этом измерение тесноты связей между переменными, построение отдельных уравнений регрессии недостаточно для описания механизма функционирования рынка слияний и поглощений. Отдельно взятое уравнение множественной регрессии не может достаточно полно охарактеризовать истинное влияние отдельных признаков на вариацию системы результирующих показателей рынка М&А. В этом случае данные процессы можно описать с помощью систем взаимосвязанных (одновременных) уравнений.

Представляется, что для комплексного анализа рынка интеграционных процессов необходимо использовать 3 эндогенные переменные, которые связаны между собой причинно-следственной связью и помесечные данные о которых собраны с января 2004 г. по февраль 2010 г.:

Y_1 – стоимость конфликтных активов;

Y_2 – количество интеграционных сделок;

Y_3 – стоимостной объем рынка интеграционных сделок.

На интеграционные процессы влияют как внешние, так и внутренние факторы, которые обуславливают специфику и эффективность использования компаниями в своем развитии стратегии М&А. Основные внутренние предпосылки для осуществления слияний и поглощений выражаются:

- в достижении определенных финансовых показателей, которые необходимы для дальнейшего развития компании и перехода ее на качественно новый уровень;
- в корректировке финансового положения компании, когда интеграция с другими участниками рынка позволит решить ряд неразрешимых проблем (например, банкротство) [3].

К внешнему фактору, влияющему на сделки слияний и поглощений, можно отнести протекающие макроэкономические процессы. Зависимость развития рынка интеграционных процессов от фондового рынка и его капитализации заключается в том, что одна из основных схем М&А предусматривает приобретение акций компании-цели на бирже. В связи с этим, большинство исследователей сходятся в том, что корреляция между показателями объема рынка интеграционных сделок и развитием фондового рынка ярко выражена.

Согласно мнению экспертов комитета по корпоративным финансам и финансовому менеджменту аудиторско-консалтинговой фирмы ФБК, инвестиции являются одним из показателей движения рынка М&А. В насто-

* Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-449.2010.6).

** Например, достаточно сложно использовать модели временных рядов, апробированные Р. Мелихером для рынка интеграционных процессов (Melicher R.W., Ledolter J., D'Antonio L.J. A time series analysis of aggregate merger activity// The review of economics and statistics, Vol. 65, № 3, 1983, 423–430).

ящее время Россия отстает от большинства постсоветских стран по уровню развития инвестиционной инфраструктуры, что находит отражение в том, что доля иностранных покупателей в общей стоимости сделок слияния и поглощения в последнее время сокращается.

Согласно исследованиям консалтинговой компании CMS и аналитического агентства Mergermarket, проведенным на основе опроса топ-менеджеров 25 крупных компаний и 100 участников российского рынка M&A в 2010 г., непосредственное влияние на рынок M&A в РФ оказывают институциональные преобразования в экономике, и в частности государственная программа приватизации.

Приватизационная программа в России предполагает продажу активов на сумму 50 млрд долл. в течение 2011–2016 гг. Правительство намерено продать миноритарные пакеты акций ведущих государственных предприятий, чтобы снизить дефицит бюджета, повысить инвестиционную привлекательность активов и привлечь серьезных частных инвесторов в приватизируемые компании. Среди них – крупнейшие компании по добыче нефти «Роснефть» (будет продано 24,16% акций), «Транснефть» (27,10%), банк ВТБ (24,50%), Сбербанк (9,30%), «РЖД» (25,00% – 1 акция). Доля в «Российских железных дорогах» будет предложена покупателям после реструктуризации компании. Позднее на продажу будут выставлены доли в «ФСК ЕЭС» (28,11%), АИЖК (49,00%), Россельхозбанке (49,00%), «Совкомфлоте» (25,00%). При этом в каждой из перечисленных компаний государство намерено сохранить контрольный пакет акций (не менее 50,00%+1 акция) [7].

Характеризуя российский рынок корпоративного контроля, особое внимание следует уделить преступлениям и правонарушениям в сфере экономики. Умелое злоупотребление процессуальными правами в ходе корпоративных конфликтов влечет за собой затруднение, а зачастую и полную парализацию деятельности хозяйствующих субъектов российского рынка, что причиняет им значительные материальные убытки. По мнению экспертов отдела по особо опасным преступлениям в сфере экономической деятельности Следственного комитета при МВД России, рейдерство существует исключительно благодаря тому, что стоимость захвата активов в большинстве случаев оказывается значительно ниже цены их законного приобретения [8].

Таким образом, факторы, оказывающие непосредственное влияние на интенсивность процессов слияния и поглощения, могут быть разбиты на 6 функциональных блоков:

- 1) макроэкономические индикаторы (11 переменных);
- 2) финансы организаций (12 переменных);
- 3) российский фондовый рынок (12 переменных);
- 4) инвестиции (8 переменных);
- 5) институциональные преобразования в экономике (7 переменных);
- 6) преступления и правонарушения в сфере экономики (4 переменных).

При этом необходимо отметить, что в реальности причинно-следственная направленность связи интеграционной деятельности и выбранных регрессоров неоднозначна: сделки M&A могут влиять как на объемы промышленного производства, так и на финансовые результаты компаний и секторов экономики.

Следует также обратить внимание на то, что взятые эндогенные переменные связаны между собой причинно-следственной связью. Основной характеристикой рынка M&A является стоимостной объем рынка интеграционных сделок, который напрямую зависит от количества сделок. При этом в связи со спецификой российского рынка корпоративного контроля, на стоимостной объем рынка и количество интеграционных сделок непосредственное влияние оказывает стоимость конфликтных активов.

Все сказанное выше свидетельствует о том, что модель интеграционной деятельности в России представляет собой рекурсивную систему одновременных регрессионных уравнений. При этом объясняющие переменные в системе эконометрических уравнений должны обладать следующими свойствами:

- иметь высокую вариативность;
- быть сильно коррелированными с объясняемой переменной;
- быть слабо коррелированными между собой;
- быть сильно коррелированными с представляемыми ими другими переменными, не используемыми в качестве объясняющих.

На основе метода исключения квазинеизменных переменных при критическом значении коэффициента вариации $v^* = 0,1$ были признаны квазинеизменными и исключены из множества потенциальных объясняющих переменных, как не несущие значимой информации, следующие 8 признаков:

- X_2 – индекс потребительских цен, %;
- X_3 – индекс цен производителей производственных товаров, %;
- X_4 – индекс промышленного производства, %;
- X_5 – индекс цен производителей промышленных товаров, %;
- X_{30} – официальный курс рубля к доллару США, руб. за 1 долл. США;
- X_{34} – количество торгуемых акций на российском фондовом рынке, ед.;
- X_{35} – количество торгуемых эмитентов на российском фондовом рынке, ед.;
- X_{51} – число преступлений, совершенных в сфере экономики, ед.

Поскольку в реальной действительности планирование и проведение типичной интеграционной сделки занимают не один месяц, в некоторых случаях логично предположить влияние не самих переменных, а их лагов.

I этап. Построение модели показателя Y_1 – стоимость конфликтных активов. Построив частную автокорреляционную функцию, была найдена первая лаговая переменная для Y_1 : Y_{1t-1} , так как $\rho(Y_{1t}, Y_{1t-1}) = \max \rho(Y_{1t}, Y_{1t-\tau}) = 0,82$. С помощью функции «кросс-корреляция» были найдены лаговые переменные на основе экзогенных переменных. Например, лаг для X_1 – объем ВВП составляет 8 месяцев.

Исследование матрицы парных коэффициентов корреляции позволило выявить высокую мультиколлинеарность участвующих в анализе экзогенных переменных. Применение подхода по максимизации прогностической силы регрессионных моделей, с помощью которых можно восстановить значения всего набора показателей (по $\max R^2$), позволило выявить, что редуцированный набор показателей может содержать 15 объясняющих переменных.

Повторный анализ матрицы парных коэффициентов корреляции 15 оставшихся признаков вновь показал наличие мультиколлинеарности. С целью сохранения количества объясняющих переменных для дальнейшей экономической интерпретации был использован переход к ортогональной системе координат. При этом в современных статистических исследованиях используют несколько методов определения числа главных компонент:

- можно потребовать выполнения ограничения: оставляемые для проведения дальнейшего анализа главные компоненты должны объяснять не менее 70% общей суммарной дисперсии процесса;
- критерий Кайзера рекомендует отобрать для анализа лишь те главные компоненты, собственные значения которых не менее единицы;
- критерий Кеттеля опирается на исследование графика собственных значений – рисунка «каменистых осыпей».

Комплексное применение указанных методов позволило выявить, что для дальнейшего исследования целесообразно использовать пять первых главных компонент. В табл. 1 представлены значения коэффициентов факторов. Уравнение регрессии для Y_1 – стоимость конфликтных активов, построенное на основе главных компонент F_1 – F_5 , имеет вид:

$$\hat{Y}_{1t} = 0,53 F_1 - 0,60 F_2 + 0,24 F_3 + 0,33 F_4 + 0,20 F_5;$$

(9,13) (-10,30) (4,18) (5,59) (3,44)

$$\hat{s} = 0,41; \quad F = 49,98; \quad R^2 = 0,8304.$$

Все коэффициенты регрессии в уравнении значимы на уровне $\alpha=0,05$. Параметры уравнения свидетельствуют о его статистической адекватности: $F_{набл.} > F_{кр.} = 2,25$ при $\alpha=0,05$, найденного по таблице F-распределения; множественный коэффициент детерминации $R^2 = 0,8304$ показывает, что 83,04% вариации показателя Y_1 объясняется факторами, включенными в модель. Стандартная ошибка, являющаяся мерой рассеяния фактических значений относительно полученной регрессии, составила 0,41.

С учетом табл. 1 уравнение регрессии примет вид:

Таблица 1

Значения коэффициентов обобщенных факторов для Y_1

Показатели	Обобщенные факторы				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Y_{1t-1}	0,0984	-0,2497	0,1459	0,2545	0,1716
X_1 – объем ВВП, млрд руб.	0,1434	-0,1321	-0,1909	-0,2030	0,0013
X_{13} – финансовый результат прибыльных организаций, млрд руб.	0,1307	0,1633	0,0204	0,0994	-0,0980
X_{15} – прибыль (убыток) организаций за отчетный период, млрд руб.	0,1198	0,0632	-0,0854	0,2110	-0,2885
X_{24} – волатильность фондового рынка –1 (индекс РТС)	0,1034	0,0077	-0,1458	-0,4760	-0,1074
X_{26} – общая капитализация фондового рынка РФ, млрд руб.	0,1325	-0,1621	0,2312	0,1282	-0,1281
X_{29} – индекс ММВБ Финансы	0,0552	-0,1750	0,4349	0,0357	-0,1522
X_{36} – объем инвестиций в основной капитал, млрд руб.	0,1296	-0,0919	-0,2787	-0,0205	-0,1410
X_{37} – объем инвестиций от иностранных инвесторов, млрд руб.	0,0780	-0,2572	-0,2382	0,0205	-0,0460
X_{44} – число приватизированных имущественных комплексов, ед.	-0,1352	-0,2061	-0,0981	-0,0897	-0,2214
X_{45} – число ОАО, созданных из унитарных организаций, ед.	-0,1283	-0,2229	-0,0840	-0,0950	-0,2371
X_{47} – цена сделки приватизации, млрд руб.	-0,1045	-0,2642	0,0376	-0,0072	0,0419
X_{49} – размер уставного капитала ОАО, созданных из унитарных организаций, млрд руб.	-0,0403	0,0797	0,2803	-0,4052	-0,4379
X_{50} – число выпущенных акций, тыс.штук	-0,1477	0,0223	-0,1772	0,2802	-0,0666
X_{54} – число уголовных дел по рейдерству, ед.	0,0086	-0,0753	0,0837	-0,3418	0,5993
Собственное значение	5,41	2,40	1,67	1,28	1,17
Доля объясненной дисперсии (%)	36,03	16,01	11,14	8,52	7,77
Накопленная доля объясненной дисперсии (%)	36,03	52,04	63,18	71,70	79,47

$$\hat{Y}_{1t} = 0,35Y_{1,t-1} + 0,04X_{1,t-8} - 0,01X_{13,t-9} + 0,02X_{15,t-8} - 0,16X_{24,t-5} + 0,24X_{26,t-2} + 0,22X_{29,t+3} + 0,02X_{36,t-8} + 0,14X_{37,t-7} - 0,05X_{44,t-5} - 0,03X_{45,t-5} + 0,12X_{47,t+8} - 0,22X_{49,t-12} - 0,06X_{50,t-6} + 0,08X_{54,t}.$$

Из уравнения регрессии следует, что наибольшее влияние на Y_1 оказывает значение стоимости конфликтных активов в предшествующий месяц. Вопрос о возможности применения построенной модели в целях анализа и прогнозирования явления может быть решен только после проверки адекватности, т.е. соответствия модели исследуемому процессу. При оценке адекватности уравнения регрессии существенным является выполнение условия о нормальности «остатков» и их взаимной независимости. Из графика остатков на нормальной вероятностной шкале (рис. 1) видно, что остатки достаточно хорошо ложатся на прямую, что свидетельствует об их нормальности.

Для исследования на наличие автокорреляции в остатках был использован асимптотический критерий серий Бреуша–Годфри, который основан на идеи, что если имеется корреляция между соседними наблюдениями, то естественно ожидать, что в уравнении коэффициент ρ окажется значимо отличающимся от нуля.

$$e_t = v_t + \rho e_{t-1}, \quad t = \overline{1, 50}, \quad (1)$$

где e_t – остатки регрессионного уравнения.

Согласно имеющимся данным:

$$e_t = -0,007 + 0,025e_{t-1},$$

т.е. коэффициент $\rho=0,025$ не значимо отличается от 0, следовательно, автокорреляция в остатках отсутствует. Таким образом, все рассмотренные характеристики модели говорят об ее адекватности исследуемому процессу.

II этап. Построение модели показателя Y_2 – количество интеграционных сделок. Построив частную автокорреляционную функцию, была определена первая лаговая переменная для Y_2 : $Y_{2,t-1}$. С помощью функции «кросс-корреляция» были найдены лаговые переменные на основе экзогенных переменных. Например, лаг для X_7 – дефицит/профицит консолидированного федерального бюджета составляет 7 месяцев, а лаг расчетного значения показателя $\hat{Y}_{1t}$ равен 1 месяцу.

Анализ матрицы парных коэффициентов корреляции показал высокую мультиколлинеарность независимых переменных. Подход по максимизации прогностической силы регрессионных моделей позволил выявить, что редуцированный набор показателей может содержать 6 переменных.

Дискретный характер зависимой переменной дает основание предполагать, что линейные модели, связывающие количество интеграционных сделок с уровнями сопровождающих их факторов, будут не совсем адекватны реальным данным из-за того, что расчетные значения $\hat{Y}_{2t}$ могут принимать любые, не обязательно целые значения. В таких ситуациях более приемлемыми являются модели счетных данных, в частности модель регрессии Пуассона:

$$Y_i = e^{\beta'x_i + \varepsilon_i} = \lambda_i e^{\varepsilon_i}, \quad (2)$$

где $\lambda_i = e^{\beta'x_i}$, т.е. предполагается, что число событий Y_i распределено по закону Пуассона[‡] с параметром λ_i [4].

Применение МНК в качестве инструмента анализа для параметров модели регрессии Пуассона приведет к получению смещенных, неэффективных и несостоятельных оценок, так как не выполняются одни из базовых предпосылок МНК:

- результат является случайной величиной, не ограниченной сверху или снизу;
- распределение случайной величины Y_i подчиняется нормальному закону распределения с математиче-

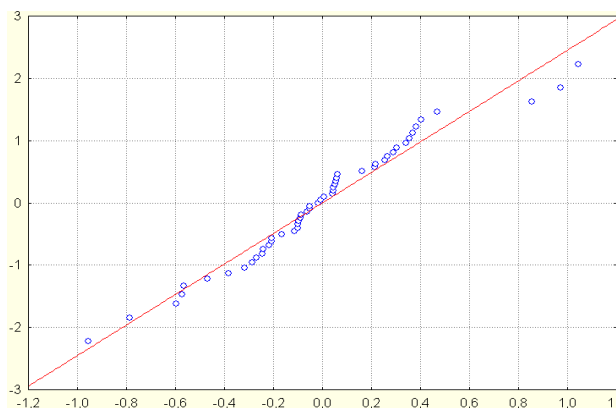


Рис. 1. Нормальный вероятностный график остатков для Y_1 – стоимость конфликтных активов

[‡] Дискретная случайная величина X имеет закон распределения Пуассона, если она принимает значения $0, 1, 2, \dots, m, \dots$ с вероятностями

$$P(X = m) = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!}. \quad \text{При этом} \quad \sum_{i=1}^{\infty} P_i = 1.$$

ским ожиданием, равным выровненному значению результата: $M(Y_t) = f(X_1, X_2, \dots, X_p) = \hat{Y}_t$, где $f(X_1, X_2, \dots, X_p)$ – модель регрессии, линейная по параметрам [5].

Поэтому для построения пуассоновской многопараметрической регрессии был выбран метод максимального правдоподобия (расчеты проводились в пакете «Matruxer»). В результате была получена следующая модель счетных данных:

$$\hat{Y}_{2t} = e^{0,01938 Y_{2,t-1} + 0,06574 \hat{Y}_{1,t-1} + 0,00003 X_{10,t} - 0,03909 X_{16,t} + 0,00143 X_{18,t} + 0,00753 X_{20,t} - 0,00064 X_{31,t-5} + 0,00834 X_{54,t}}$$

Все коэффициенты регрессии в уравнении значимы на уровне $\alpha=0,05$, так как $t_{кр}(0,05; 56) = 2,00$. Для проверки гипотезы о значимости пуассоновской регрессии использовался критерий отношения правдоподобия:

$$LR = 2(\ln L - \ln L_0), \quad (3)$$

где $\ln L$ – найденное значение логарифма функции правдоподобия; $\ln L_0$ – логарифм правдоподобия тривиальной модели.

Статистика LR имеет χ^2 – распределение. Если $LR > \chi^2_{кр}(\alpha; \nu = 1)$, то уравнение в целом значимо. Поскольку $\chi^2_{набл.} = 62,37 > \chi^2_{кр}(0,05; \nu = 1) = 3,84$, то построенное уравнение регрессии Пуассона в целом значимо. По аналогии с коэффициентом детерминации был построен коэффициент псевдо- R^2 :

$$R^2_{pseudo} = 1 - \frac{1}{1 + 2(\ln L - \ln L_0) / n}. \quad (4)$$

Согласно имеющимся данным псевдокоэффициент детерминации $R^2_{pseudo} = 0,4897$, который показывает, что 48,97% вариации показателя Y_2 объясняется факторами, включенными в модель. Стандартная ошибка, являющаяся мерой рассеяния фактических значений относительно полученной регрессии, составила 0,24. Информационный критерий Акайке, который учитывает требование повышения точности модели и уменьшения числа параметров модели, составил $AIC=7,85$.

Асимптотический критерий серий Бреуша–Годфри показал отсутствие автокорреляции в остатках. Для проверки принадлежности остатков построенной модели счетных данных пуассоновскому закону распределения было использовано следующее свойство: дисперсия случайной величины, распределенной по закону Пуассона, равна ее математическому ожиданию:

$$M[y / x_t] = D[y / x_t] = \lambda. \quad (5)$$

Тогда, если значения $M(\varepsilon_t)$ и $D(\varepsilon_t)$ близки, то это может служить доводом в пользу гипотезы о пуассоновском распределении остатков; резкое различие этих характеристик, напротив, свидетельствует против гипотезы [1]. Так как $M(\varepsilon_t) \approx 2$, а $\sigma(\varepsilon_t) \approx 1,42$, то гипотеза о пуассоновском распределении остатков принимается, что свидетельствует об адекватности модели.

Рассчитаем средние маргинальные эффекты для каждого из факторов, показывающие изменение функции

$$P(Y_t = y_t) = \frac{e^{-\lambda_t} \lambda_t^{y_t}}{y_t!} \quad (\text{характеризующей вероятность того, что } y_t = 0, 1, 2, \dots) \text{ при изменении фактора } X_{it} \text{ на единицу:}$$

Таблица 2

Средние маргинальные эффекты для модели регрессии Пуассона $\hat{Y}_{2t}$

$\frac{\partial M[Y_{2,t} / Y_{2,t-1}]}{\partial Y_{2,t-1}}$	0,56202	$\frac{\partial M[Y_{2,t} / X_{18,t}]}{\partial X_{18,t}}$	0,04151
$\frac{\partial M[Y_{2,t} / \hat{Y}_{1,t-1}]}{\partial \hat{Y}_{1,t-1}}$	1,90646	$\frac{\partial M[Y_{2,t} / X_{20,t}]}{\partial X_{20,t}}$	0,21837
$\frac{\partial M[Y_{2,t} / X_{10,t}]}{\partial X_{10,t}}$	0,00087	$\frac{\partial M[Y_{2,t} / X_{31,t}]}{\partial X_{31,t}}$	-0,01856
$\frac{\partial M[Y_{2,t} / X_{16,t}]}{\partial X_{16,t}}$	-1,13361	$\frac{\partial M[Y_{2,t} / X_{54,t}]}{\partial X_{54,t}}$	0,24195

$$\frac{\partial M[Y_{2t} / X_{it}]}{\partial X_{it}} = \lambda_t \alpha_i. \quad (6)$$

Результаты представлены в табл. 2.

Таким образом, расчет средних маргинальных эффектов показал, что наибольшее влияние на Y_2 оказывает стоимость конфликтных активов и количество интеграционных сделок, относящихся к предыдущему моменту времени. Наименьшее влияние на Y_2 оказывает денежная масса M_2 . Однако наличие достаточной денежной массы в экономике может служить индикатором, отражающим наличие денежных средств, которые предприятия различных отраслей могут направлять на покупку активов. Это говорит о присутствии в интеграционных сделках инвестиционного мотива.

Также прямое влияние на Y_2 оказывает число уго-

ловных дел, связанных с преступлениями, совершенными в ходе незаконных захватов имущественных комплексов юридических лиц, имущественных и неимущественных прав предприятий (рейдерство)*.

Характер зависимости числа интеграционных сделок от цены нефти марки URALS – обратный (см. табл. 2), что может свидетельствовать о том, что привлекательность интеграционных проектов в периоды падения цен на углеводороды увеличивается: предприятия используют стратегию внешнего развития в периоды ухудшения рыночной конъюнктуры.

Расчет средних маржинальных эффектов также показал однонаправленное изменение количества сделок M&A и просроченной кредиторской задолженности, а также просроченной задолженности по полученным кредитам и займам крупных и средних предприятий. Это может быть объяснено тем, что руководство компаний, попавших в кризисную ситуацию, имеет, по большому счету, два выхода: банкротство или продажа бизнеса, и в большинстве случаев предпочитают второй способ.

При этом в настоящее время в российской практике достаточно редко, но начинает использоваться «Standstill agreements» – соглашения между кредиторами и должником о введении временного моратория на принудительное взыскание долга, которое предшествует разработке и началу практической реализации программы реструктуризации задолженности. Практика их заключения широко распространена в странах с развитой экономикой. Наиболее востребованными «пакты о ненападении» становятся во времена финансовых кризисов, когда компании – должники один за другим начинают допускать кросс-дефолты** по заемным средствам.

При этом интересен тот факт, что характер зависимости числа сделок слияния и поглощения от доли убыточных предприятий – обратный (см. табл. 2). Это может быть связано с тем, что весьма популярный способ захвата и поглощения через процедуру банкротства применялся в период с января 2004 г. по февраль 2010 г. несколько реже. Одна из главных причин этого в том, что потенциальное предприятие-банкрот надолго перестает работать в нормальном режиме, и интерес к нему падает. Кроме того, общая сумма расходов на такое приобретение (сумма долга плюс затраты на покупку активов) может превысить реальную рыночную стоимость данного предприятия.

III этап. Построение модели показателя Y_3 – стоимостной объем рынка интеграционных сделок. В ходе предварительного анализа был выявлен значительный разброс в значениях переменной Y_3 (коэффициент вариации $v = 89,50\%$), что свидетельствует о неоднородности значений признака. Анализ данных позволил выявить, что, начиная с момента времени $t^* = 50$ (февраль 2008 г.), происходит структурное изменение характера динамики изучаемого показателя. Это приводит к изменению тренда, описывающего эту динамику. Данный момент времени характеризуется началом изменений в мировой общеэкономической ситуации и факторами глобального характера, связанными с финансово-экономическим кризисом.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы был использован тест Чоу, позволяющий проверить гипотезу о целесообразности разбиения исходной выборки объектов на части. Так как $F_{\text{набл}}=14,32>F_{\text{кр.}}(0,05;3;70)=2,74$, значит уравнения регрессии $Y_3=Y_3(t)$ значимо различаются для 2-х выборок: январь 2004 г. – январь 2008 г. и февраль 2008 г. – февраль 2010 г. Поэтому исходную совокупность целесообразно разбить на две части с точки зрения улучшения качества модели относительно момента времени $t^*=50$.

Как и в случае Y_1 и Y_2 , анализ матрицы парных коэффициентов корреляции показал наличие мультиколлинеарности между независимыми переменными. Использование метода по максимизации прогностической силы регрессионных моделей позволил выявить, что редуцированный набор показателей для Y_3 содержит 10 объясняющих переменных. Для использования всей совокупности наблюдений в модель стоимостного объема рынка интеграционных процессов была включена фиктивная переменная Z_1 , которая принимает значения 1 для всех $t < t^*$ и значения 0 для $t \geq t^*$, т.е.:

$$Z = \begin{cases} 1, t < t^*; \\ 0, t \geq t^*, \end{cases}$$

где $t^* = 50$.

Итоговое уравнение регрессии, построенное методом пошагового включения переменных, имеет вид:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{3t} = & -7,54 + 1,49 \hat{Y}_{1,t} + 0,08 \hat{Y}_{2,t} - 0,07 X_{16,t} + 0,007 X_{18,t-2} - 0,011 X_{24,t-9} + 0,014 X_{31,t-7} + \\ & + 0,00002 X_{37,t-4} - 0,007 X_{54,t} + 1,85 Z_t; \\ \hat{s} = & 0,45; \quad F = 14,76; \quad R^2 = 0,8699. \end{aligned}$$

* По данным Управления контроля и методического обеспечения расследования особо опасных преступлений Следственного комитета при МВД России в 2009г. расследовано 61,4% дел от общего числа дел, находившихся в производстве; окончено – 31,1% от числа расследованных; направлено в суд – 59,2% от числа оконченных; прекращено – 40,8% от числа оконченных; приостановлено – 68,9% от числа расследованных; остаток на 01.01.2010г. – 33,7% от числа находившихся в производстве.

Положение о cross-default (перекрестное неисполнение) присутствует практически во всех кредитных соглашениях, заключенных по английскому праву и получает все более широкое распространение в практике иностранных банков, работающих на российском рынке. Предусматривает возможность кредитора предъявить требование о досрочном возврате всей суммы кредита в том случае, если должником допущен случай неисполнения денежного обязательства по другому аналогичному соглашению.

Все коэффициенты регрессии в уравнении значимы на уровне $\alpha=0,05$. Параметры уравнения свидетельствуют о его статистической адекватности: $F_{набл.} > F_{кр.} = 1,98$ при $\alpha=0,05$, найденного по таблице F-распределения; множественный коэффициент детерминации $R^2 = 0,8699$ показывает, что 86,99% вариации показателя Y_3 объясняется факторами, включенными в модель. Стандартная ошибка, являющаяся мерой рассеяния фактических значений относительно полученной регрессии, составила 0,45.

Построенное уравнение свидетельствует о том, что на Y_3 – стоимостной объем рынка интеграционных процессов оказывают влияние следующие показатели: стоимость конфликтных активов, количество интеграционных сделок, удельный вес убыточных организаций, просроченная кредиторская задолженность предприятий, волатильность фондового рынка (рассчитанная на основе индекса РТС), цена нефти марки URALS, объем инвестиций от иностранных инвесторов, число уголовных дел, связанных с рейдерством. При этом наибольшее прямое влияние оказывает фиктивная переменная Z_t , характеризующая структурную нестабильность результирующего показателя Y_{3t} .

Асимптотический критерий серий Бреуша – Годфри показал отсутствие автокорреляции в остатках, так как $e_t = 0,002 + 0,032e_{t-1}$, т.е. коэффициент $\rho=0,032$ не значимо отличается от 0. Из гистограммы остатков (рис. 2) видно, что остатки подчиняются нормальному закону распределения.

Таким образом, модель российского рынка интеграционных процессов можно представить в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \hat{Y}_{1t} = 0,35Y_{1,t-1} + 0,04X_{1,t-8} - 0,01X_{13,t-9} + 0,02X_{15,t-8} + 0,16X_{24,t-5} + 0,24X_{26,t-2} + 0,22X_{29,t+3} + 0,02X_{36,t-8} + \\ + 0,14X_{37,t-7} - 0,05X_{44,t-5} - 0,03X_{45,t-5} + 0,12X_{47,t+8} - 0,22X_{49,t-12} - 0,06X_{50,t-6} + 0,08X_{54,t}; \\ \hat{Y}_{2t} = e^{0,01938Y_{2,t-1} + 0,06574\hat{Y}_{1,t-1} + 0,00003X_{10,t} - 0,03909X_{16,t} + 0,00143X_{18,t} + 0,00753X_{20,t} - 0,00064X_{31,t-5} + 0,00834X_{54,t}}; \\ \hat{Y}_{3t} = -7,54 + 1,49\hat{Y}_{1t} + 0,08\hat{Y}_{2t} - 0,07X_{16,t} + 0,007X_{18,t-2} - 0,011X_{24,t-9} + 0,014X_{31,t-7} + 0,00002X_{37,t-4} - \\ - 0,007X_{54,t} + 1,85Z_t, \end{cases}$$

$$\text{где } Z_t = \begin{cases} 1, t < t^*; \\ 0, t \geq t^*, \end{cases} \quad t^* = 50.$$

Полученная система взаимосвязанных эконометрических уравнений выражает через структурную форму взаимосвязей между явлениями их новое содержание, характеризующееся взаимным влиянием друг на друга зависимых и независимых переменных, а также позволяет глубже изучить причины связи, лежащие в основе вариации результирующих переменных. Результаты проведенных расчетов за период с января 2004 г. по февраль 2010 г. позволяют сформулировать ряд выводов:

- Большинство интеграционных сделок в России в период с января 2004 г. по февраль 2010 г. происходило в горизонтальной плоскости, следовательно, компании приобретали дополнительные мощности в связи с исчерпанием потенциала роста за счет внутренних источников.
- Анализ агрегированной активности процессов корпоративной интеграции показывает обратную зависимость между волатильностью фондового рынка и стоимостным объемом рынка M&A. Таким образом, увеличение неопределенности на рынке капитала снижает стимулы предприятий к реализации инвестиционных проектов, в том числе и проектов M&A. В то же время увеличение неопределенности на фондовом рынке увеличивает стоимость конфликтных активов.
- В каждое из уравнений полученной системы входит число уголовных дел, связанных с недружественными и противоправными поглощениями. Эти процессы имеют под собой объективные основы. Для современной российской экономики характерны тенденции к увеличению размера денежной массы, являющейся накоплениями как частных лиц, так и организаций. Свободная денежная масса давит на рынок, отыскивая себе эффективное применение. В том числе посредством приобретения новых бизнесов, а, как известно, в России бизнес стоит столько, сколько стоит его отнять плюс надбавки на реальные уголовные риски*.

* Источник: Журнал «Слияния и поглощения». 2010. № 7-8.

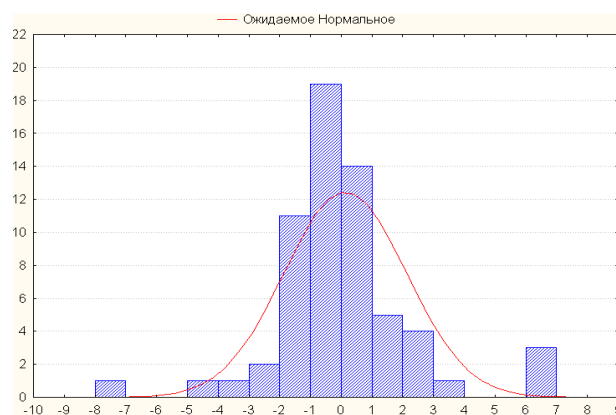


Рис. 2. Гистограмма остатков для Y_3 – стоимостного объема рынка интеграционных процессов, млрд долл.

- Анализ системы структурных уравнений свидетельствует об однонаправленном изменении объема иностранных инвестиций и стоимостного объема рынка M&A. При этом инвестиционный рейтинг РФ продолжает падать: за 2010 г. Россия опустилась в рейтинге Всемирного банка Doing Business на 7 позиций до 123 места по соседству с Уругваем и Угандой [6]. Одновременно доля иностранных покупателей в общей стоимости сделок M&A на российском рынке сильно сократилась: в 2009 г. она снизилась с 40 до 21% по сравнению с 2008 г.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. М.: Наука, 1969. 576 с.
2. Мусатова М.М. Интенсивность интеграционных процессов российских компаний в 2001–2004 гг.: эконометрическая оценка // Прикладная эконометрика. 2009. № 3. С. 23–42.
3. Поликарпова М.Г. Интеграционные процессы в современной экономике Российской Федерации // Вестник экономической интеграции. 2009. № 9–10. С. 24–30.
4. Тихомиров Н.П., Дорохина Е.Ю. Эконометрика: учебник. М.: Экзамен, 2003. 512 с.
5. Эконометрика: учебник / под ред. И.И.Елисеевой. М.: Проспект, 2009. 288 с.
6. www.consulting.rbc.ru.
7. www.ma-journal.ru.
8. www.vedomosti.ru.

Bibliography

1. Ventsel E.S. Probability theory: textbook. M.: Nauka, 1969. 576p.
 2. Musatova M.M. Intensive of integration processes of Russian companies in 2001–2004: econometric assessment // Applied econometrics. 2009. № 3. P. 23–42.
 3. Polikarpova M.G. Integration processes in the modern economy of Russian Federation // Herald of economic integration. 2009. № 9–10. P. 24–30.
 4. Tihomirov N.P., Dorohina E.U. Econometrics: textbook. M.: Examination, 2003. 512p.
 5. Econometrics: textbook / edited by I.I. Eliseeva. M.: Prospect, 2009. 288p.
 6. www.consulting.rbc.ru.
 7. www.ma-journal.ru.
 8. www.vedomosti.ru.
-

КУЛЬТУРА. ФИЛОЛОГИЯ

УДК 008

Гун Г.Е.

ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КУЛЬТУРЕ

Гуманизм конца нашего тысячелетия во многом строится не только на утверждении тезиса о равенстве культур. Как бы своеобразны и неповторимы ни были культуры, они не могут быть замкнутыми, не могут развиваться сами по себе, не испытывая влияния других культур, не взаимодействуя с ними. Чем глубже и интенсивнее усваивается опыт и достижения других культур, тем богаче, гибче и дееспособнее сама культура.

М. Бахтин подчеркивал, что основа и сущность культуры – диалог. «Диалогические отношения... это – почти универсальное явление, пронизывающее всю человеческую речь и все отношения и проявления человеческой жизни, вообще все, что имеет смысл и значение... Где начинается сознание, там... начинается и диалог» [1, с. 71].

Искусство XX века было пронизано взаимодействиями разного уровня – от синтеза художественных традиций далеких исторических эпох до синхронистического диалога стилей, различных межвидовых и межжанровых взаимодействий. Взаимодействие искусств – это определенные отношения, возникающие в результате воздействия одного вида искусства на другой, которые приводят к их взаимным изменениям. Интеграция, взаимодействие, синтез – суть разных видов взаимовлияния искусств, отличающихся степенью интегрирования. Понятие интеграция определяется как состояние связанности в единое целое отдельных дифференцированных частей, а также процесс, ведущий к такому состоянию. В отличие от синтеза интеграция не образует новой художественной целостности, обладающей неким «высшим» воздействием, которое больше простого суммирования частей. Синтез искусств, для которого необходимо наличие двух и более художественно самостоятельных систем, заключается в характере связей между разными художественными элементами, когда возникает целостная система. Однако границы между взаимодействием, интеграцией и синтезом трудноустановимы.

Изучение проблемы художественных взаимодействий в современном искусствознании опирается на сочетание сравнительно-исторического и историко-культурного методов исследования. О характере их соотношения говорится в работе Н.И. Гашевой: «Историко-культурный подход идет от понимания литературы как части духовной культуры. Сравнительно-исторический подход опирается на то же принципиальное представление о культурном процессе как взаимодействии культурных феноменов, однако фокуси-

рует внимание на внелитературных взаимосвязях, на изучении взаимовлияния произведения и литературной традиции» [3, с. 5].

Существует ряд критериев эффективности сравнительно-сопоставительного анализа художественных явлений, к которым относятся онтологический критерий (наличие общей почвы, единого основания для сопоставлений), аксиологический (соотношение сходных ценностных ориентаций творческих методов, вызванных «общим состоянием мира»), генетический (влияние традиций), эстетический (общность пафоса, типа творческой индивидуальности), типологический (сходство коренных основ художественного мира) [3, с. 7].

При этом ни один из названных критериев не существует в чистом виде, поскольку они находятся в полифонической взаимосвязи, обусловленной особенностями породившей их культуры.

Таким образом, взаимодействие оказывается структурообразующим элементом матрицы культуры. Это взаимодействие имеет хронологическое (во времени) и «горизонтальное» (в пространстве или окружающей действительности) измерения.

Взаимодействие старого и нового, своего и заимствованного как элемент художественной культуры осуществляется разными путями: от простого проникновения элементов одной культуры в другую, использования заимствований в соответствии с собственными нормами до полного синтеза культур. Если первое сохраняет очертания заимствованных явлений, то при синтезе традиционные и заимствованные черты неотличимы.

Интересен сам способ такого взаимодействия: общаются не абстрактные культуры, но символы, архетипы, выраженные в культурных образах (Дон Кихот, Тевье-молочник, Гамлет) и мифологизированные реальные образы (Наполеон, Данте). Именно в силу такой персонификации чужой культуры мы создаем для себя ее облик, ее «выражение лица»: так, для многих из нас восприятие Италии строится на образах из фильмов Фелинни.

В общей динамике художественного процесса явлены через различные виды и уровни художественных взаимодействий. «Художественные взаимодействия – это разнообразные влияния одних художественных явлений на другие, это взаимосвязи между элементами искусства как развивающейся системы, это разные формы культурного диалога внутри искусства данной эпохи или современного искусства с

прошлым» – утверждает Ю.Б. Боров [2, с. 208].

В таком диалоге не существует ни пространственных, ни временных ограничений. Механизм художественных взаимодействий схож с диалогом прошлого и настоящего в нашей памяти, когда все, что сохраняется из прошлого, становится фактом настоящего. Другими словами, память всегда актуальна и снимает временные барьеры, размещая в одной точке прошлое и настоящее. Особенности художественной диалогичности проявляются, например, в том, что современная литература предстает во взаимодействии с литературой XIX века. А именно – в своем реальном виде, в том виде, в каком литература XIX столетия сама себя осмысляла и в том, как ее видит литература XX века. Об этом интересно пишет О.А. Павлова [6].

В художественном процессе при всем его многообразии можно выделить определенные типы художественных взаимодействий. Первая типология может основываться на направленности взаимодействия: художник испытывает влияние извне и художник оказывает влияние на других.

Другая типология носит внутривидовой и межвидовой характер. В первом случае речь идет, например, о внутрилитературных или внутрикинематографических контактах, а во втором случае – о тех ситуациях, когда театр воздействует на живопись, музыка – на кино, кино – на литературу и телевидение. Межвидовые художественные взаимодействия возникают при совпадении мировоззрения, основных принципах эстетического отношения к миру, особенностей художественного мышления поэта и живописца, романиста и музыканта (А. Блок и М. Врубель, Н. Ге и Л. Толстой, И. Левитан и А. Чехов). Можно выделить разные типы межвидовых художественных контактов. Интеграция представляет соединение разных видов искусства, которое не приводит к возникновению качественно нового явления; возникновение нового синтетического целого на основе сохраняющих самостоятельность видов искусства с выделением одного из них в качестве доминирующего можно назвать соподчинением. Нередки ситуации растворения отдельных видов искусства в качественно новой художественной реальности, которые описываются как синтез-симбиоз, что характерно, например, для театра. Для создания целостного художественного впечатления в театральном спектакле необходимо равноправное соединение литературы, сценической интерпретации (искусства режиссуры, актерского мастерства), живописи, музыки. К подобному виду взаимодействия можно отнести кинематограф, телевидение и фотографию, где одно искусство вбирает в себя другие, оставаясь самим.

Объединение искусств не в результате непосредственных языковых контактов, а на уровне общих закономерностей художественного мышления является следующим типом художественного взаимодействия, т.н. «дополняющий синтез». Здесь наблюдается соединение композиционных и образно-языковых элементов, которые обнаруживают себя с помощью основных принципов художественного мышления, таких как театральность, музыкальность, пластичность и живописность.

Отметим, что в рамках указанных типов художественных контактов возможны не только межвидовые, но и внутривидовые (стилевые, жанровые) взаимодействия.

Художественные взаимодействия наблюдаются на разных уровнях: отдельных произведений, отдельных художников, художественных течений, направлений и школ и на уровне целых эпох.

Различные нюансы этих взаимосвязей (влияние, подражание, эпигонство, соперничество и множество других) объединяются единым содержательным посылом, поскольку главной целью художественных взаимодействий остается осмысление своей уникальности и поиск места в жизни и в искусстве, поиск новых созвучий собственному художественному мироощущению. Взаимодействие различных видов и форм творческой деятельности способствует углублению эстетических и нравственных чувств. При этом основным ориентиром выступает осознание ценности этого опыта.

Культурологическое понимание процессов взаимодействия в художественной культуре предлагает А.Б. Каяка, рассматривая их на примере музыкальной культуры и предлагая свою методологию исследования [4]. Автор отмечает, что взаимодействия в художественной культуре «оставались на периферии теоретического изучения», чему были социокультурные и познавательные причины. Развитие теории культуры и цивилизационного подхода открыло новые познавательные возможности для определения строения художественной и, в частности, музыкальной культуры, структуры и динамики межкультурного взаимодействия, принципов, механизмов и результатов этого процесса. По мнению ученого, субъектами музыкального взаимодействия выступают профессиональная среда, институциональные структуры, широкие слои аудитории [4, с. 89]. Парадигмы музыкального взаимодействия могут быть самыми разными, но диалог и полилог оказываются самыми продуктивными, поскольку рожают новые локусы смысла в художественном мышлении. Результаты и устойчивые последствия музыкального взаимодействия А.Б. Каяка предлагает оценивать на основе системы критериев, которая включает критерий сохранения самобытности, критерий динамичности изменений, критерий обогащения и возрастания содержательности искусства, а также учитывать масштабы музыкальной аудитории и роль профессиональной среды [4, с. 101–102].

Таким образом, процессы взаимодействия пронизывают художественную культуру в синхроническом и диахроническом направлениях, а искусствоведческое и культурологическое их осмысление является важной задачей. Понимание принципов и механизмов взаимодействия внутри художественной культуры, между культурами и цивилизационными моделями чрезвычайно актуально для решения многих социальных проблем и, в частности, прикладных проблем функционирования искусства и культурной политики. Процессы глобализации и урбанизации приводят к острым социальным конфликтам, разрешение которых возможно на основе понимания принципов межкультурного взаимодействия. Художественная культура, разные виды искусства помогают выразить своеобразие миропонима-

ния отдельных субъектов межкультурного диалога и в этом смысле могут стать средством его гармонизации.

Список литературы

1. Бахтин М.М. Проблемы поэтики Достоевского. М., 1982. 308 с.
2. Боров Ю. Б. Эстетика. М., 2002. 511 с.
3. Гашева Н.И. Синтез в русской культуре XIX–XX вв.: типология и ди-

4. намика форм: автореф. дис. ... д-ра культурологии. Киров, 2007. 34 с.
5. Каяк А.Б. Методология исследования культурных обменов в музыкальном пространстве. М., 2006. 256 с.
6. Ларченко С.Г., Еремин С.Н. Межкультурные взаимодействия в историческом процессе. Новосибирск, 1991. 174 с.
7. Павлова О. А. Основы теории литературы. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 1999. 64 с.

УДК 821.161.1

Постникова Е.Г.

РУССКАЯ МИФОЛОГИЯ РЕФОРМ В «ПОМПАДУРАХ И ПОМПАДУРШАХ» САЛТЫКОВА-ЩЕДРИНА

Расцвет творчества М.Е. Салтыкова-Щедрина приходится на 60–80-е годы XIX века – эпоху Великих реформ Александра II. И, пожалуй, первым из русских художников Щедрин обнаружил, что пространство реформаторского дискурса – это мифологизированное пространство. Исследуемый нами цикл «Помпадуры и помпадурши» является культурным ответом на историческую ситуацию «революции сверху» – либеральные реформы, или «катастрофы», по выражению одного из героев Щедрина, проводимые властью в 60–70-е годы XIX века. Писатель фиксирует ситуацию объединения несовместимых социальных пространств прошлого (старой крепостнической России) и будущего (новой пореформенной России) в неожиданное абсурдное непрерывное целое. Создается гротескный образ «проплеванного» Царства, «вымороченного» Государства, которое ни здесь, ни там, а следовательно, нигде. Государства, в котором все перепутано, «благонамеренные» консерваторы проводят либеральные реформы, а «неблагонадежные» либералы неожиданным образом начинают воскрешать традиционные культурные поведенческие коды и старые модели видения и понимания социального мира. В этом мире пороки прошлого невозможно отличить от добродетелей будущего. Задуманные как сакральные действия русской власти, реформы-«катастрофы» вновь и вновь воскрешают парадигматические для русской исторической мифологии ситуации («смуту», «самозванство», дворцовые перевороты, войны и революции, деспотизм грозных царей и либерализм реформаторов, и т.д.).

Концептообразующими понятиями русской реформаторской риторики Александровского периода являлись понятия «закона» и «произвола». Их откровенная противопоставленность и оппозиционность создавала активное силовое поле дискурса социальных перемен александровской эпохи. Понятие «произвол» относилось прежде всего к неповоротливой административной системе дореформенной России и ее системному пороку – крепостному праву. В литературе и журналистике того времени с ним ассоциировались образы крепостника-самодура, который порет своих крестьян, и грозного «вашества», готового одним взглядом испепелить ничтожного «титуляришку». «Произвол» – это неограниченная власть над подчиненными. Понятие «закон» обозначало идеальный принцип устройства пореформенно-

го российского общества с его мифологизированной либеральной системой прав и свобод личности. С «законом» ассоциировались образы «новых» «просвещенных» администраторов, признающих высший порядок, защищающих крестьянина от произвола крепостника, а «титуляришку» – от тирании начальника. Этим маркированным понятиям реформаторского дискурса соответствовала активизированная политической риторикой шестидесятых бинарная оппозиция прошлого–будущего. «Произвол» – это символ порочного, уходящего в небытие прошлого, «закон» – символ безжалостного впереди «блистательного» будущего [1, с. 86–150]. Посмотрим, как же складываются отношения доблестных щедринских помпадуров с «законом и произволом».

Глава «Помпадуры и помпадурши» «Сомневающийся» посвящена важнейшей проблеме русской политической истории и риторики, проблеме соотношения «закона» и «произвола» в институтах российской власти: «Из объяснений с правителем канцелярии он совершенно случайно узнал, что существует закон, который в известных случаях разрешает, в других – связывает. И до того времени ему, конечно, было неизвестно, что закон есть, но он представлял его себе в виде переплетенных книг, стоящих в шкафу. (...) Но разрешающей или связывающей силы закона он не знал и даже скорее предполагал, что закон есть не что иное, как дифирамб, сочиненный на пользу и в поощрение помпадурам» [2, с. 123].

Сомнение помпадура («вчера он был полон сил и веры – и вдруг усомнился» – [2, с. 123]) опрокидывает цельную картину мира, пробивает брешь в устоявшейся мифологии власти и через эту брешь устремляется контрмиф. В данном случае роль контрмифа играет либеральный принцип власти закона, принятый на вооружение партий реформаторов-«просветителей». Разрушение устоявшейся картины мира приводит помпадура к разоблачению мифа о себе единственном, к десакрализации власти вообще и экзистенциальному одиночеству: «Работа разложения делала свое дело, и прежнее прочное и цельное мирозерцание терпело видимые ущербы» [2, с. 126].

Сомнение помпадура в собственной власти и его интерес к тайне «закона» на время выбивает его из архетипа «властного идиота». Герой совершает поступок, несвойственный его сану. Он открывает том

законов. Вот как это описано Щедриным: «Он судорожно схватил в руки том и начал его перелистывать. Что он там увидел! Боже! что он увидел! Он увидел, что вся жизнь человеческая предусмотрена и определена. Все, начиная с питания и кончая просвещением и обязанностью устраивать фабрики и заводы и содержать в исправности мосты и перевозки. На все – подробное правило, и за неисполнение каждого правила – угроза. Ему, ему... угроза! Да, и ему. (...) «Воспрещается», «вменяется в обязанность» – вот выражения, с которыми он совершенно неожиданно вынужден был познакомиться. Ни «закатить», ни «влепить» – ничего подобного» [2, с. 129].

Открытие, что не он «царь и бог», приводит помпадур к вопросу, «зачем нужны помпадуры» и ультиматуму: «либо закон, либо он, помпадур» [2, с. 133]. Включенная в общий контекст реформаторского дискурса, эта фраза прочитывается как уравнение: «помпадур» равно «произвол» (власть – это произвол). Ради прояснения этих важнейших вопросов помпадур снимает должностной мундир («сбрасывает помпадурский образ») и идет в народ. Здесь его ждет поразительное открытие: народ одинаково равнодушен и к закону, и к помпадуру (произволу): «Никаких мы *ни градоначальников, ни законов твоих не знаем*, а знаем, что у каждого человека своя *планида*. И ежели, примерно, сидеть тебе, милый человек, сегодня в части, так ты хоть за сто верст от нее убеги, все к ней же воротиться!» [2, с. 137].

Салтыков–Щедрин отмечает абсолютную несовместимость официальной государственной политической мифологии и властной риторики с национальной мифологией. Основными смыслопорождающими мотивами национальной мифологии являются мотивы Судьбы («планиды»), Правды и Лада. У Щедрина читаем: «*Ни помпадуры, ни закон* – ничто не настигает полудикая массу. Ее настигает только «*планида*» – и дорого бы он дал в эту минуту, чтобы иметь эту «планиду» в своих руках. Что такое «закон», что такое «помпадур» в глазах толпы? – это не что иное, как страдательные агенты «планиды», и притом не всей «планиды», а только той ее части, которая осуществляет собой карательный элемент. (...) Даже самая кара их имеет свойство далеко не «планидное», ибо, настигая одних, она не замечает, что тут же рядом стоят десятки и сотни других, которых тоже не мешает подобрать и посадить на съезжую. А потому толпа даже и в каре видит не кару, а несчастье» [2, с. 139]. Таким образом, «полудикая масса» (народ) видит во «властных идиотах» только руку Судьбы, да и то не божественной судьбы, в которой проявляется высшая справедливость (Правда), а судьбы случайной (рока).

Такие новомодные понятия секуляризированной культуры, как «Закон» и «Произвол», остаются непонятными и непрочувствованными народом, что указывает на чужеродность их происхождения, на несовместимость в русскую Традицию и несоответствие национальному архетипу. Простой человек из народа заявляет помпадуру: «И о законе доложу вам, сударь: закон для вельможа для дворян действие имеет, а простой народ ему

не подвержен!» [2, с. 137]. Властная риторика и система ценностей «бравых» реформаторов разбивается о народную философию, в которой существует собственное понятие закона: «Потому, народ – он больше натуральными правами руководствуется» [2, с. 138].

Так щедринский текст обнаруживает иронические провалы и ловушки, скрывающиеся в официальной идеологии и политической мифологии эпохи Великих реформ. Растиражированная в российском историческом и публицистическом дискурсе периода социальных перемен бинарная оппозиция «произвола» и «закона» в ее соотносительности с «проклятым прошлым» и «светлым будущим» оказывается чистым вымыслом оторванной от простого народа национальной элиты. В народной философии «прошлое» не «проклятое», а «священное» время, время отцов и дедов. Оно не может быть однозначно отрицательным. В нем нет «произвола», а есть Правда и Лад, а «будущее» интересует народ настолько, насколько в нем будут «воскрешаться» древние архетипы и соблюдаться древние законы Правды, Лада и Традиции.

Но все это остается незамеченным помпадуrom. Он делает свои выводы из общения с народом: «Впрочем, во всем этом была и утешительная для его самолюбия сторона, та именно, что ни помпадуру, ни закону никаких преимуществ друг перед другом не отдавалось» [2, с. 140]. Бесконечная война героев «Помпадуrow и помпадуrow» с законами – проявление властной харизмы, которая дает право любому русскому властителю утверждать: «Я-закон» («Я вам книга»).

Пройдя через искуc сомнения, «властный идиот» вновь победоносно восстанавливает утраченную на время привычную картину мироздания и «цельное мирозерцание», произнеся сакральную фразу всех российских властителей: «Влепить». На том и успокаивается. Время трансформаций «кануло в Лету» («Но время полемики уже миновало» – [2, с. 141]). Начался процесс сворачивания реформ.

Здесь Щедрин вплотную подходит к открытию феномена самооборачиваемости реформ на русской почве. Все русские реформы-«катастрофы» обладают удивительной способностью восстанавливать то, что только что так торжественно было демонтировано, и воскрешать то, что недавно с такой помпой было «навсегда» похоронено. «Отжившее» прошлое с неумолимым упорством возвращается и преследует нарождающееся общество будущего. Задуманные как благое творение Самодержца всея Руси во имя будущего обновления общественной жизни, резкие социальные преобразования привели к возвращению еще большей кабалы административного порядка и «тьмы» прошлого. Вот как Щедрин описывает иронический распад Великих реформ, их превращение в гротесковые перевертыши в главе «Зиждитель»: «Теперь ни игры ума, ни жажды славы – ничего нет. Ничем не подкупишь человека, ибо все в нем умерло, все заменено словом «*фюить!*». Но разве это слово! Ведь это бессмысленный звук, который может заставить только вздрогнуть. Или опять другое модное слово; *не твое дело!* – разве можно так говорить! Может ли

быть что-нибудь предосудительнее этой безнадежной фразы? Не она ли иссушила вконец наше пресловутое творчество? не она ли положила начало той адской апатии, которая съедает современное русское общество и современную русскую жизнь?» [2, с. 201]. Парадокс заключается в том, что утверждение реакционных лозунгов «фьюить» и «не твоё дело» происходит в самый разгар блистательной деятельности власти по проведению либеральных реформ. Речь идет не о времени Отца-тирана (Николая I), а об эпохе его Героя-сына, Александра II – Освободителя.

Отмеченный русскими мыслителями феномен самооборачиваемости реформ, на наш взгляд, к сожалению, является одной из фундаментальных парадигм русской исторической мифологии. И Салтыков-Щедрин обратил внимание на способность русской «революции сверху» в какой-то момент обернуться против себя и воссоздать то, что она была призвана разрушить. Целью либеральных реформ эпохи царствования Александра II было устранение бюрократического хаоса и произвола предшествующей николаевской эпохи, упорядочение административной системы – результатом стали еще больший хаос и усиление давления административной системы. Щедрин пишет в «Зиждителе»: *«Прежде у нас не было ни гласных судов, ни земских учреждений, но была цензура (...) Теперь у нас существуют всевозможные политические и общественные интересы. Все дано нам: и гласный суд, и земские учреждения, а сверх того многое оставлено и из прежнего. Тут-то бы и поговорить. А между тем никто ничему не радуется, никто ни о чем не печалится. Как будто бы никаких дотаций и не бывало. (...) Скучное время, скучная литература, скучная жизнь. Прежде хоть «рабы речи» слышались; нынче и «рабых речей» не слышать (Т. 8, С. [199–200]).*

Исследователь К. Платт дает такую оценку этому периоду в русской истории: «Реформаторы мечтали о полной реорганизации русского общественной жизни, по образцу представлявших прогрессивными западноевропейских народов, которая ввела бы власть закона, защищающего индивидуальные свободы и объединяющего всех русских в социальном и политическом согласии и процветании. (...) Но, несмотря на несомненные успехи великих реформ, эта эра русской истории, как и более ранний петровский период, являл собой картину, изобилующую двусмысленностью и иронией. (...) Результаты реформ, как бы значительны они ни были, далеко не достигли того, на что надеялись многие русские, внезапное социальное процветание, которого все ожидали, не случилось. Кроме того, многое из того, что было достигнуто, в последующий период реакции подверглось уничтожению или коренному изменению. Хотя в последующие годы многие интеллектуалы рассматривали эту эпоху как великое начало гуманистического политического либерализма в России, другие, и они составляли большинство, считали ее скорее великим поражением, значение которого состояло главным образом в том, что оно послужило катализатором роста оппозиционного движения, приведшего полвека спустя к

революции 1917 года» [1, с. 90].

Салтыкову-Щедрина, как никому из русских художников, удалось описать весь трагизм внутреннего состояния человека, жизнь которого пришлась на «эпоху реформ» 60-х г. – этот «лиминальный» период в истории русского общества, когда оно словно «зависло» где-то между «отжившим», «умирающим», «проклятым» прошлым и еще только нарождающимся, заповедным «светлым» будущим, как между жизнью и смертью. Этот внезапный рывок социальной истории Салтыков описывает как период, когда все ориентиры потеряны, все стало возможным, рухнули традиционные преграды, а «плюс» и «минус» поменялись местами, то есть вступил в силу закон переворачивания смысла (компенсирующего взаимодействия противоположностей).

В художественном мире Салтыкова-Щедрина непримиримые черты социального прошлого и будущего соединяются в дисгармоничное единство. Реформаторская риторика парадоксальным образом вызывает к жизни дореформенную систему мышления. Так, например, об упраздненном помпадуре в главе «Он» читаем: «главную черту старого помпадура составляла кроткая *покорность закону и законности*. Окруженный ореолом власти и пользуясь всеми ее фимиамами, он не был, однако ж, опьянен ими, но любил соединять величие с приветливостью и даже допускал, что самые заблуждения людей не всегда должны иметь непременно последствием расстреляние» [2, с. 154]. Перед нами созданный либеральным публицистическим дискурсом и чаемый всеми прогрессивными общественными силами образ «просвещенного» властителя, архетипически восходящий к древнерусскому образу праведного царя и европейскому образу «просвещенного монарха». Тем более неожиданным для подданных оказывается устранение этого благодушного и либерального Властителя в самый разгар эпохи Великих реформ. На вопрос «почему» и «за что» недоумевающие обыватели, составляющие самый цвет умеренно-либерального общества, «никаких ответов не обретали, кроме отрывочных фраз, вроде *«распустил»* и *«не удовлетворяет новым веяниям времени»* (в старину это, кажется, означало: не подтягивает)» [2, с. 143].

Парадокс ситуации заключается в том, что клише реформаторского дискурса используются для объяснения закономерностей восстановления дореформенного порядка: «Но, рассуждая таким образом, мы, очевидно, забывали завещанную преданием мудрость, в силу которой *«новые веяния времени»* всегда приходили на сцену отнюдь не в качестве поправки того или другого отклонения от исторического течения жизни, а прямо как один из основных элементов этой жизни. Не бунтовской вопрос «за что?» служил для него исходною точкой, а совершенно ясное и положительное правило: *будь готов*. Будь готов, то есть: ходи весело, ходи грустно, ходи прямо, ходи вкось, ходи вкривь. Тебе ничего не приказывают, ни от чего не предостерегают; тебе говорят только: будь готов. Не к тому будь готов, чтоб исполнить то или другое; а к тому, чтобы *претерпеть»* [2, с. 144]. «Новые веяния времени», оказывается,

требуют от человека старого послушания, готовности в любой момент «претерпеть» от Власти. А чаемый «благостник самоновейшего духа времени» («Он») на деле поразительно напоминает «властного идиота» Угрюм-Бурчеева из «Истории одного города», образ которого был ориентирован на Николая I.

В наивных рассуждениях вполне «процивилизовавшегося» с помощью либеральных реформ рассказчика совершенно неожиданным образом соединяется то, что в риторике реформ представлялось несовместимыми чертами социального прошлого и социального будущего. Так, например, пытаюсь разобраться, «кто те «злые», которые обязываются трепетать», и «кто те «добрые», которые могут с доверием взирать в глаза прекрасному будущему» [2, с. 158], герой приходит к внутренне противоречивым, чреватым самоиронией выводам.

Во-первых, настоящими двигателями либеральных реформ оказываются «добрые взяточники»: «Но что же может быть поклайстее, уживчее и готовнее хорошего, доброго взяточника? Ради возможности стянуть лишнюю копейчку он готов *ужиться с какою угодно внутренней политикой*, уверовать в какого угодно бога. Сегодня, напялив мундир, он отправляется в собор поклониться богу истинному, а завтра – только прикажите! – в том же мундире выйдет на лобное место и будет кричать: распни! распни его!» [2, с. 160].

Во-вторых, огромную роль в реформировании Российской действительности сыграли и старые-добрые сторонники телесных наказаний («любители оглушений и заушений»): «Помилуйте! – говорили последние, – что же такое *оглушения и заушения*, как не самое *яркое выражение новейших веяний времени*, как не роскошный плод, в котором они находят свое осуществление!» [2, с. 160].

В третьих, неслужащие Государству («шлющие-ся») люди, которых когда-то «Петр Великий бил палкой и приказывал им брить лбы и записывать на службу», служат ярким выражением одной из важнейших либеральных свобод нового времени – «свободы шалопайствовать»: «Шалопай проникли всюду, появились на всех ступенях общества и постепенно образовали такое компактное ядро, что, за неимением другого, более доброкачественного, многие усомнились, не тут ли именно и находится та несокрушимая крепость, из которой *новые веяния времени могут производить смелейшие набеги свои?*» [2, с. 161].

Так получается, что «новое время» и «новые веяния» содержат в себе и охотно оправдывают «старое зло»: взяточников, «дантистов» и «шалопаетов», на героическую борьбу с которыми был направлен весь реформаторский дискурс. Реформаторские формулировки под пристальным взглядом Щедрина обнаруживают свою изнанку. Абсурдные смысловые перевертыши, выявленные нами в щедринском тексте, подрывают основы публичного дискурса, открывая полную иронию способность русской «революции сверху» в любой момент обернуться против себя самой.

Здесь же Щедрин обращает внимание на одну из особенностей эпохи реформ александровского царство-

вания: как и в любую эпоху, связанную с социальным кризисом, она вызывает к жизни архаизацию массового сознания. Текущая действительность анализируется современниками с помощью древних схем, характерных для мифологического способа мышления. По древнему закону бинарных оппозиций русский мир в публичном дискурсе делится на «проклятое прошлое» дореформенной России и «светлое будущее» России пореформенной, на «ужасных» реакционеров и «прекрасных» реформаторов, как на несомненное зло и безусловное добро, как на иррациональный хаос и разумный социальный космос. У Щедрина эта закономерность коллективного мышления эпохи бурных перемен содержится в следующем пассаже: «В чем состоят «веяния» времени? *Que les mechants tremblent! que les bons se rassurent!* [Пусть злые трепещут, пусть добрые взирают с доверием!] Все это прекрасно, но кто же те «злые», которые обязываются трепетать? Кто те «добрые», которые могут с доверием взирать в глаза *прекрасному будущему?*» [2, с. 158]. Но, как это ни парадоксально звучит, именно такая бинарная структура русского религиозного и политического дискурса и породила феномен самооборачиваемости реформ на русской почве.

По мнению Ю.М. Лотмана и Б.А. Успенского, специфической чертой русской культуры является ее принципиальная полярность, выражающаяся в дуальной природе ее структуры. «Основные культурные ценности (идеологические, политические, религиозные) в системе русского средневековья располагаются в двухполюсном ценностном поле, разделенном резкой чертой и лишенном нейтральной аксиологической зоны» [3, с. 4]. Поэтому новое мыслилось не как преодоление, а как эсхатологическая смена всего. «В русской культуре изменение протекает как радикальное отталкивание от предыдущего этапа. Естественным результатом этого было то, что новое возникло не из структурно «неиспользованного» резерва, а являлось результатом трансформации старого, так сказать, выворачивания его наизнанку. Отсюда, в свою очередь, повторные смены могли фактически приводить к регенерации архаических форм», – отмечают исследователи [3, с. 5].

Эти рассуждения ученых помогают нам ответить на вопрос, почему Щедрин как будто совсем не верит в возможность окончательной и бесповоротной трансформации России в новую идеальную страну идеальной мечты. Почему писатель-сатирик словно игнорирует величие реформированного социального пространства и с какой-то маниакальной настойчивостью вглядывается в глухие углы и темное подполье так называемого «новорожденного» и «перевоссозданного» русского космоса? Почему в его творчестве с такой безнадежностью повторяется один и тот же эпизод возвращения «Отца-тирана» и превращения просвещенных сладкоголосых либералов в рыкающих и испепеляющих взглядом реакционеров?

Примеров такого политического оборотничества в тексте «Помпадунов и помпадуриш» содержится великое множество. Не говоря уже о Митеньке Козелкове и Феденьке Кротикове, которые в самый разгар своего благоприобретенного либерализма вдруг превращались в

воинствующих консерваторов, Щедрина показывает, как «красная» молодежь тайно мечтает о том времени, когда «в зубы беспрекословно трескать можно было» [2, с. 95], а власть, проводящая либеральные реформы, уверяет «по секрету: мы все, сколько нас ни есть, мы все немножко нигилисты... да!» [2, с. 111].

Очевидно, Салтыков-Щедрин, как гений, чутко чувствующий процессы, происходящие в коллективном бессознательном нации, уловил эту склонность русских в момент построения нового активизировать старые культурные модели. Он обнаружил тенденцию русского культурного общества в эпоху самого резкого разрыва с Традицией отцов, публично «выворачивая ее наизнанку» и декларативно подвергая ее константы решительному переименованию, сохранять внутреннюю глубинную связь с этой самой «проклинаемой» Традицией. Либеральные реформы 60-х–70-х годов XIX века, замысленные как величественные, поистине цар-

ские жесты русской власти, в интерпретации Салтыкова-Щедрина выглядят как карнавальные выходы «помпезных» дураков («помпадуров»).

Список литературы

1. Платт К. История в гротескном ключе. Русская литература и идея революции / пер. с англ. М. Маликовой. СПб.: Академический проект, 2006.
2. Салтыков-Щедрин М.Е. Помпадур и помпадурши // М.Е. Салтыков-Щедрин. Собр. соч. в 20 т. М.: Худ. литература, 1973. Т. 8. С. 5–215.
3. Лотман Ю.М., Успенский Б.А. Роль дуальных моделей в динамике русской культуры (до конца XVIII) // Труды по русской и славянской филологии. Сер. XXVIII: Литература. Тарту, 1977. С. 3–24.

Bibliography

1. Platt K. History in a Grotesque Key. Russian Literature and the Idea of Revolution / translation from English by M. Malikova. Saint-Petersburg: Academic project, 2006.
2. M.Y. Saltykov-Shchedrin Pompadur and Pompadurshy // M.Y. Saltykov-Shchedrin Complete works in 20 vol. M.: Hud.literatura, 1973. Vol. 8. C. 5–215.
3. Lotman Y.M., Uspensky B.A. The Role of Dual Models in the Dynamics of Russian Culture (till the end of XVIII) // Works on the Russian and Slavic Philology. Series XXVIII: Literature. Tartu, 1977. C. 3–24.

УДК 821.161.1.0

Зайцева Т.Б.

ТИП ЭСТЕТИКА В ПОВЕСТИ ЧЕХОВА «ТРИ ГОДА»

Философская концепция датского философа Сёрена Киркегора о выборе человека на стадиях жизненного пути (эстетической, этической, религиозной) близка чеховской концепции самоактуализации личности. Одним из признаков эстетического образа жизни Киркегор называл преклонение перед поэзией и искусством. Только в них эстетик находит совершенную красоту, поскольку «применяя к жизни строгие требования искусства во всей их полноте, вряд ли найдешь в жизни много прекрасного» [5. С. 318]. Нередко эстетик пребывает отшельником в своем мире воспоминаний или фантазий, рожденных творениями искусства, и только из этого источника черпает восторги, наслаждения, энергию души. Грубая, несовершенная и приземленная, прозаичная действительность противопоставляется эстетиком идеальному миру искусства, литературы. С этой точки зрения эстетика можно назвать «человеком литературным». Именно такой тип человека обнаруживается и в творчестве Чехова, что обусловлено важным историческим обстоятельством: представление человека о себе и представление человека в литературе конца XIX века во многом определялось литературоцентричностью и литературозависимостью эпохи.

Рассмотрим с такой точки зрения повесть Чехова «Три года», которая наглядно демонстрирует широкий литературный контекст чеховского творчества и дает представление о чеховском «человеке литературном» как разновидности типа эстетика.

Книги и разговоры о литературе (о Шекспире, Шиллере, Пушкине, Лермонтове, декадентах и т.д.) сопровождают героев повести с первой и почти до последней страницы и влияют во многом на их представления о мире, о людях, на поведение в обычной жизни. Так, сестра Алексея во время болезни, «слу-

шая исторический роман, думала о том, <...> что если бы кто-нибудь описал ее жизнь, то вышло бы даже очень жалостно» [10. С. 12]. Нина Федоровна и сама пробует «наметить» сюжетную схему и «набросать» отдельные сцены своих воспоминаний. Юлия Сергеевна, раздумывая над предложением Лаптева руки и сердца, перебирает в памяти известные ей романы, сравнивая свою ситуацию с общераспространенными литературными представлениями о любви, и пытается найти готовые подсказки, как ей поступить.

Духовное содержание литературы – атрибут бытия. Материальное же воплощение литературы – книга – становится неременным атрибутом быта чеховских героев. У каждого из героев по-разному складываются отношения с жизнью, с бытием, и это по-разному проявляется даже на бытовом уровне отношений с литературой. Вместилище книг – книжный шкаф становится не просто предметом мебели, но и средством характеристики героев, а в более широком смысле символом всей литературозависимой эпохи (вспомним «Вишневый сад», знаменитое обращение Гаева к столетнему «многоуважаемому шкафу», символизирующему чаяния и идеалы русской культуры золотого века). Закрытые зелеными занавесками дверцы книжного шкафа в комнате Юлии Сергеевны говорят не только о ее скрытности, как считает Лаптев, но и о бесстрастном отношении к книгам, о преобладании в ее характере этической составляющей. Открыт в ее комнате только киот с образами. Эстетическое же (в традиционном понимании этого слова) пробуждение героини состоялось во второй половине повествования, правда, благодаря живописи. По сравнению с мужем, Юлия – человек не литературный, в повести она почти единственный искренне верующий человек. Хотя следует обратить вни-

мание на то, что вслед за эстетическими открытиями (речь, конечно, не идет о прямой причинно-следственной связи), с приходом зрелости у Юлии пробуждаются сомнения и жалобы на потерю веры. Пожалуй, в этом можно видеть намек на искушение эстетическим (и в киркегоровском смысле тоже).

Отнюдь не литературный человек и Костя Кочевой, воспитанник Лаптевых, у которого в книжном шкафу стоят гири для гимнастики. Такая подробность свидетельствует об авторской иронии, так как Костя имеет некоторое отношение к писательству. Его манит к себе мир литературы и искусства. Не обладая слухом или талантом художника, герой воспринимает себя как тонкую, артистическую натуру, поскольку только это придает ему значимость в собственных глазах. Костя Кочевой считает своим главным занятием не адвокатуру, в деле которой преуспевает, а свои романы, которые «никто не печатает по крайней тенденциозности и бездарности» (как откровенно отмечает Чехов по поводу своего персонажа в записных книжках). Кочевского скорее можно назвать «человеком социальным», неслучайно в споре с Ярцевым о пользе художественного произведения Костя выступает за тенденциозность и утилитарность литературы.

Нет книг и в жилище Рассудиной. И по тому, как она понимает свои общественные права и обязанности, свою общественную задачу и относится к самой себе, Полину Николаевну тоже можно назвать «человеком социальным». У Кости – неадекватное отношение к себе, бегство от самого себя и тайное желание утвердиться в социальной роли писателя, говорящего правду. У Рассудиной – то же стремление играть чужие социальные роли: «ее легко можно было принять за молодого послушника» [10. С. 41], «в ее комнате ... не было ничего, что напоминало бы о том, что здесь живет женщина и бывшая курсистка» [10. С. 43]. Желание убежать от самого себя свойственно и другим персонажам. Роли «очень занятого и делового человека», «начальника», «нового публициста» на грани безумия разыгрывает Федор Лаптев. Казаться кем-то – проще, чем быть собой. Для героев повести такие социально-психологические роли являются одним из способов защиты от сложной, часто не объяснимой, алогичной жизни. Однако это приводит, с одной стороны, к косности, ограниченности, а с другой – обостряется опасностью совсем потерять себя (что и происходит с Федором), то есть, в конечном счете, неподлинностью человеческого бытия.

Однако и литература тоже может становиться защитным футляром. «Литературным человеком» в повести предстает прежде всего ее главный герой. Старый зонтик, воспоминание о чистой поэтической любви, о том мгновении, когда Лаптев был счастлив, лежит в комод, который, по-видимому, неслучайно стоит возле шкафов с книгами. Филологическая школа, которую прошел герой, рождает своеобразное двоемирие в чувствах и сознании Лаптева. С одной стороны, мир литературы, неполненный поэзией, это мир сложный, но тем не менее его можно трактовать и объяснять, а в некоторые моменты даже привлекать

к себе на помощь, с другой – нетелеологичная реальность, пугающая своей незавершенностью, непостижимостью и непонятностью.

Мир литературы воспринимается как некий эталон или должное. В записных книжках Чехова осталась фраза, которая должна была относиться к самому началу повести: «И все эти московские разговоры о любви казались ему ничтожными, неискренними, как будто он вдруг прочел великое произведение, перед которым меркло и бледнело все, что до этого он считал важным» [11. С. 13]. Великим произведением Лаптев хотел бы считать свое чувство к Юлии Сергеевне. Герой и окружающим, и себе, и своей любви пытается дать оценку с помощью «искусственных» образов, то есть образов литературы и искусства, например: «сам доктор представлялся <...> каким-то опереточным Гаспаром из Корневильских Колоколов». Стараясь понять перемену в брате Федоре, Лаптев думает: «И язык какой-то новый у него: брат, милый брат, бог милости прислал, богу помолимся, – точно щедринский Иудушка» [10. С. 36]. К услугам всегда «под рукой» оказывается привычный литературный стереотип. «Ромео и Юлия! – сказал он [Лаптев], закрывая книгу, и засмеялся. – Я, Нина, Ромео» [10. С. 27]. И хотя Лаптев «закрывает книгу», он продолжает – все больше не в свою пользу – сравнивать себя с литературным героем, ставшим для человечества «эталонном» возлюбленного. Символически начинает звучать и чеховская подробность: «Изредка он поглядывал на нее [Юлию] *через книгу*» [10. С. 77].

«Человек литературный» чувствует себя уверенно только в мире литературы. В самые напряженные минуты, когда нужно выразить что-то очень важное, сокровенное, герой невольно прибегает к книжному стилю: «Без труда не может быть чистой и радостной жизни»; «Нет цены, нет жертвы, на какую бы я ни пошел» [10. С. 19]; «Жизнь моя разбита, я глубоко несчастлив, и после вчерашнего вашего отказа я хожу точно отравленный»; «Какой демон толкал тебя в мои объятия?» [10. С. 45], и сам чувствует какой-то диссонанс, несовпадение слов и ситуации. Стремление к идеализации возлюбленной, рожденное литературным дискурсом, играет злую шутку с героем. И вот «чистую и верующую в Бога» Юлию Лаптев подозревает в почти низменном расчете (потому имя ее начинает звучать «вульгарно»), да и само чувство Лаптева в реальной жизни не дотягивает до литературных идеалов. Собственная наружность представляется Лаптеву совсем не подходящей для «Ромео» и высоких поэтических отношений.

Есть в повести персонаж, жизнь которого больше, чем других, похожа на «литературный образец», хотя вряд ли он это осознает. Скорее всего, при помощи этого героя сам Чехов почти открыто играет с литературным контекстом. Речь идет о Панаурове, муже сестры Лаптева. С развитием сюжета Панауров не меняется ни физически, ни духовно, и эта статичность, законченность свидетельствует о необычной природе персонажа. Неслучайно он кажется похожим на карикатуру. Замечательно, что герой как будто не зависит от времени: «Видно было, что он очень доволен собой и совсем не думает о том, что ему уже пятьдесят лет» [10. С. 31].

Панауров непоколебимо уверен в себе, считает себя специалистом по всем наукам и даже насчет любви у него есть ясная теория: «...мы тут имеем дело с одним из явлений электричества... В коже каждого человека заложены микроскопические железки, которые содержат в себе токи. Если вы встречаетесь с особью, токи которой параллельны вашим, то вот вам и любовь» [10. С. 29]. Однако подобная теория уже была знакома читателю. «С Адама и Евы одна и та же история у всех, с маленькими вариантами», – наставляет своего племянника Петр Иванович Адуев, герой романа Гончарова «Обыкновенная история», объясняя суть любви действием электричества. «Влюбленные – все равно что лейденские банки: оба сильно заряжены; поцелуями любовь разрешается, и когда разрешится совсем – прости, любовь, следует охлаждение...» [2. С. 128]. Можно предположить, что теория любви Панаурова имеет литературное происхождение, и гончаровский персонаж-рационалист был литературным прототипом чеховского героя. Панаурова можно назвать «человеком литературным» почти в буквальном смысле, поскольку в основе этого образа лежит литературная цитата.

Панауров, как никакой другой герой повести, окружен вещными деталями и подробностями: он «любил вкусно поесть, <...> участвовал всегда во всех подписках и лотереях, посылал знакомым именинникам букеты, покупал чашки, трости, духи, мундштуки, трубки, собачек, попугаев, японские вещи, древности; ночные сорочки у него были шелковые, кровать из черного дерева с перламутром, халат настоящий бухарский» [10. С. 15]. (Чехов словно не удержался и намекнул последней подробностью еще на одного, всем известного, гончаровского героя, Обломова, подкрепив тем самым литературное происхождение образа Панаурова. Об Илье Ильиче в одном из писем писатель говорил как о лентяе и никчемном человеке.) Апофеоз этой феерии вещей – сцена в купе поезда, когда Панауров, как фокусник-жонглер, как властелин вещного мира, ловит конфеты и заставляет их исчезать по мановению руки. Чеховское изображение становится эмблематичным: душа Панаурова будто и есть одна из тех красивых пустых коробок, которые он так любил собирать.

Панауров, как Петр Иванович Адуев в романе Гончарова наставлял Александра, поучает Лаптева: «все на этом свете имеет конец <...>. Вы влюбитесь, будете страдать, разлюбите... Но настанет время, когда все это станет уже воспоминанием и вы будете холодно рассуждать и считать это свершенными пустяками» [10. С. 15]. В одной из работ, посвященных повести «Три года», панауровская «теория изменения жизни во времени» объясняется «возведением в абсолют своего жизненного опыта» [6. С. 165]. Однако, судя по всему, в разглагольствованиях Панаурова как раз и не учитывается его *действительный жизненный опыт*. К тому же во всех описаниях его историй с женщинами не заметно, пожалуй, со стороны Панаурова как раз того, о чем он пытается «умствовать» – любви и страданий. Панауров испытывает только один вид любви – к себе самому. «Литературные»

рассуждения Панаурова о любви так же, как и теория Петра Адуева, по сути, исключают это самое чувство. Неслучайно Лаптев после разговора с зятем в письме к Кочевому интуитивно замечает: «пока я не любил, я сам тоже отлично знал, что такое любовь» [10. С. 16], давая, таким образом, скрытую оценку Панаурову.

В «Обыкновенной истории» Петр Адуев представлял в качестве демона-искусителя, прививая племяннику дух скептицизма. Панауров тоже искушает, но его соблазн другого рода – Панауров заражает обаянием *простоты*, точнее, *примитива*. Парадоксально, но скорее всего именно панауровская неспособность к глубокому чувству и привлекает к нему Нину Федоровну и Жозефину Иосифовну. В его неприкрыто эгоистическом, простом отношении к миру есть своя притягательность: взгляд этот хорошо понятен, удобно объясняет жизнь, а самое главное – неизменен и дает редкое ощущение устойчивости.

Встреча с Панауровым заставляет героя «оживиться» и действовать, а не мечтать. Алексею Лаптеву требуется немалое усилие, чтобы преодолеть собственное внутреннее нежелание рассматривать жизнь такой, как она есть, не привнося в нее «идеальности» или «упрощенности» литературы, что было бы для Лаптева легче, но вряд ли соответствовало бы истине жизни и вряд ли помогло бы разрешить мучительные душевные противоречия.

Киркегор, сам будучи замечательным писателем, тем не менее настаивал: «Что касается поэзии и искусства <...>: не в них может человек найти полное примирение с жизнью» [5. С. 318]. Хватаясь за поэзию и искусство, человек теряет из виду действительность, теряет связи с реальностью, теряет собственную подлинность. Эстетик посредством творческого воображения создает собственный эстетический мир, тем самым всячески стараясь избежать реальной действительности. Поэзия и искусство, в конечном счете, не заинтересованы в существовании. На определенном этапе эстетической стадии человек может осознать собственную позицию, и тогда, порой помимо своей воли, он увидит, что эстетический образ жизни – обман, дающий только видимость полноты и богатства, «всего лишь существование возможного», неизбежно уводящее в глубокую пустоту [4. С. 155].

Парадокс можно видеть в том, что дискредитация «человека литературного» и у Киркегора, и у Чехова достигается с помощью литературных средств и одновременно – отталкивания от литературы.

Гораздо ближе для Лаптева (и автора) оказывается другой человек, его приятель, Ярцев. Этому чеховскому герою открывается историческое прошлое России, Москвы, которое как будто смотрит на героя глазами молодой девушки – «печально, умно»; и наслаждение от современного ему разнообразия и богатства русской жизни; и надежда на «величайшее торжество» в будущем; и глубокое прозрение («Москва – это город, которому придется еще много страдать») [10. С. 70]. Бывший филолог, Ярцев обладает тонким поэтическим чутьем. Так же как Лаптев, он, испытывая растерянность в сфере чувств и эмоций, обращается к литературным

образами: «и все кажется мне, будто я лежу в долине Дагестана и снится мне бал» [10. С. 77]. Однако его отношение к литературе критично и мир литературы для него вторичен. И, хотя в его голове томятся образы задуманной исторической пьесы, главное для Ярцева не писательство, ему «просто хочется жить, мечтать, надеяться, всюду поспевать...» и быть обыкновенным человеком: «Я вовсе не хочу, чтобы из меня вышло что-нибудь особенное, чтобы я создал великое <...> Жизнь, голубчик, коротка, и надо прожить ее получше» [10. С. 76]. У Ярцева есть дар проникновения в жизнь, этический взгляд и чувство реальности.

Алексей Лаптев, в отличие от Ярцева, находится, лишь на пороге – или проникновения в жизнь, или бегства от нее. Вместе с тем оба героя, надо полагать, представляют собой нечто общее, характерное для русской культуры вообще, о чем писал Г.Флоровский: «Издавна русская душа живет и пребывает во многих веках <...> не потому, что торжествует или возвышается над временем. Напротив, расплывается во временах <...>. Повышенная чуткость и отзывчивость очень затрудняет творческое собирание души. В этих странствиях по временам и культурам всегда угрожает опасность не найти самого себя» [9. С. 159].

Отказ от «человека литературного» обращает Лаптева к этической стороне жизни. Этому способствует и пример Ярцева. С точки зрения киркегоровской концепции этического способа жизни, приятель Лаптева поступает как истинный этик. Не смотря на всю сложность его внутренних переживаний: это и смутное ощущение нереализованных возможностей, и сожаление о том, что уже не свершится, и ожидание чего-то нового, радостного и светлого, и неожиданная влюбленность в Юлию, и т.д., Ярцев живет, подчиняясь чувству внутреннего долга. И даже его отношения с Рассудиной свидетельствуют об этом. «Что ж? Конечно, мы не влюблены друг в друга, но, я думаю, это... это всё равно. Я рад, что могу дать ей приют и покой и возможность не работать в случае, если она заболит, ей же кажется, что оттого, что она сошлась со мной, в моей жизни будет больше порядка и что под ее влиянием я сделаюсь великим ученым. <...> Мне уже поздно думать о настоящей любви, и, в сущности, такая женщина, как Полина Николаевна, для меня находка, и, конечно, я проживу с ней благополучно до самой старости, но, черт его знает, всё чего-то жалко, всё чего-то хочется и всё кажется мне, будто я лежу в долине Дагестана и снится мне бал. Одним словом, никогда человек не бывает доволен тем, что у него есть» [10. С. 77]. Говоря об особенностях авторской позиции Киркегора, ученые обращают внимание на то, что для Киркегора всякий рационально завершённый образ мира остается только образом, только идеей о мире, этим и объясняется внутреннее беспокойство духовного человека, который всегда остается в поиске подлинного бытия [1. С. 262].

В чеховедении отмечали как черту характера, свойственную Лаптеву, «инерцию существования, податливость обстоятельствам» [8. С. 288]. При этом главный герой обычно противопоставлялся своей

жене. Юлия, по словам исследователя, в отличие от Алексея Федоровича, приходит в финале повести «к расцвету душевных сил, к любви, к пониманию искусства» [6. С. 164], что само по себе не вызывает сомнения. Но при этом не замечается один немаловажный факт: в амбар, на Пятницкую, в «эту тюрьму» Лаптева побуждает вернуться не кто иной, как Юлия Сергеевна. Порой несправедливо в характере Лаптева делается акцент на «привычке к неволе, к рабскому состоянию», что как будто подчеркивает и сам герой. Однако существует и другое, не социальное, но нравственно-психологическое, этическое объяснение того, почему Алексей Лаптев не может бросить амбар, и об этом говорит тоже сам герой: «Я охотно бы ушел, но заменить меня некому...» [10. С. 89].

Авторская надежда связана с теми лучшими его героями-стоиками, которые не уходят, а остаются, чтобы жить. Иного земного мира, где можно было бы начать «чуждую, поэтическую, быть может, даже святую жизнь» [10. С. 90], просто нет. Мир литературы – одна из прекрасных иллюзий. «Жизнь есть сосредоточенное нравственное усилие» [7. С. 167], – так обозначает исследователь одну из главных аксиом чеховского мира. Важно подчеркнуть: это постоянное напряженное усилие *быть, осуществиться*.

Алексей Лаптев – один из немногих чеховских героев, который уже уходил. Об этом вскользь говорится в его рассказе о своей молодости. Однако герой вынужден был вернуться, чтобы нести свой крест, быть «купцом поневоле». До литературной роли герой не дотягивал, социальная роль тяготит Лаптева. «Не бросаешь богатство, потому что думаешь, что в конце концов сделаешь из него что-нибудь» [11. С. 23], – это замечание из записных книжек Чехова, вероятно, одно из возможных объяснений смирения героя со своей участью. Благотворительная деятельность Лаптева, хлопоты за бедняков-просителей, наведение им новых порядков в амбаре, создание приютов все же приносят свою «маленькую пользу». Однако какая ирония самой жизни – от художественных и ученых книг судьба бросает Лаптева к книгам амбарным, в которых «ничего нельзя было понять» [10. С. 87].

Невеселое резюме Лаптева в финале повести – «поживем-увидим» – больше, чем готовое клише народной поговорки, поскольку наполнено для героя сугубо индивидуальным пережитым смыслом. Здесь и терпеливое отношение к тому, что было, есть и будет; и новое знание жизни, не позволяющее односторонне и предвзято судить о ней, и предчувствие возможности маловероятных поворотов судьбы, подобных тому, что произошел в истории любви Алексея и Юлии. О такой позиции можно прочесть в записных книжках Чехова: «Если хочешь стать оптимистом и понять жизнь, то перестань верить тому, что говорят и пишут, а наблюдай сам и вникай» [11. С. 68]. Для героя, вступившего на этический путь наблюдения и проникновения, путь личностной самостоятельности, начинается важный этап духовного развития, в частности, происходит отказ от литературности, прощание с «человеком литературным».

По-видимому, Чехов, намеренно маркирует в повествовании все литературное, книжное, неслучайно в повести много прямых цитат, легко угадываются и реминисценции. Проводя своеобразную границу между миром литературным и миром реальным, писатель добивается впечатления жизнеподобия, как будто чеховская повесть уже является не литературным произведением, а неким аналогом жизни. Чеховский парадокс заключается в том, что эффект «нелитературности» совершающегося и ирония по отношению к «человеку литературному», эстетику, достигается в литературном произведении. Таким образом, на наш взгляд, Чехову не только удастся избежать авторской прямолинейности в оценках, но и оставить последнее слово за главным судьей – читателем, предоставляя повод задуматься о выборе собственного жизненного пути.

И для Кьеркегора, и для Чехова абсолютное исключение эстетического из жизни человека было, конечно, принципиально невозможно, да и не нужно. Обоих писателей волновали взаимоотношения искусства и жизни. Мир литературы, нередко воспринимаемый как некий эталон или прямое руководство к действию, помогал человеку отстраниться от необходимости экзистенциального выбора, уклониться от личностного самоосуществления. Алексей Лаптев, герой повести «Три года», проходит путь от эстетики, «человека литературного» к осознанию долга и ответственности, начиная важный этап духовного развития личности. Чехов оставляет своего героя в момент «застывшего бытия», когда Лаптев, чувствуя внутреннее опустошение, освобождается для иной стадии жизни, напряженно ищет «роль», не навязанную социумом, а присущую только ему, как самобытному Я. Парадокс заключается в том, что ирония по отношению к эсте-

тику, в частности «человеку литературному», передается у Кьеркегора и Чехова средствами литературы.

Список литературы

1. Ахутин А.В. Примечания // Шестов Л. Кьеркегард и экзистенциальная философия. М.: «Прогресс»-«Гнозис», 1992. С. 237–294.
2. Бочаров С.Г. Чехов и философия // Филологические сюжеты. М.: Языки славянских культур, 2007. С. 328–343.
3. Гончаров И.А. Собрание сочинений: в 6 т. Т. 1. М.: Библиотека «Огонек». Изд-во «Правда», 1972. 384 с.
4. Коли О. Кьеркегор. М.: АСТ: Астрель, 2009. 192 с.
5. Кьеркегор С. Наслаждение и долг. Ростов н/Д.: Изд-во «Феникс», 1998. 416 с.
6. Семанова М.Л. Чехов-художник. М.: Просвещение, 1976. 224 с.
7. Сухих И.Н. Проблемы поэтики Чехова. Л.: Изд-во Ленингр.ун-та, 1987. 183 с.
8. Турков А.М. А.П.Чехов и его время. М.: Сов. Россия, 1987. 528 с.
9. Флоровский Г. Пути русского богословия // Русская идея: в 2 т. Т. 2. М.: Искусство, 1994. С. 135–177.
10. Чехов А.П. Полное собрание сочинений и писем: в 30 т. Сочинения: в 18 т. М.: Наука, 1974–1982. Т. 9. 1977. 544 с.
11. Чехов А.П. Полное собрание сочинений и писем: в 30 т. Сочинения: в 18 т. М.: Наука, 1974–1982. Т. 17. 1980. 528 с.

Bibliography

1. Akhutin A.V. Notes // Shestov L. Kierkegaard and existential philosophy. M: "Progress"–"Gnosis", 1992. P. 237–294.
2. Bocharov S.G. Chekhov and Philosophy // Philological plots. M: Languages of slavic cultures, 2007. P.328–343.
3. Goncharov I.A. Collected Works: In 6 v. V.1. M: Library "Ogonyok". Publisher "Pravda", 1972. 384 p.
4. Cauley O. Kierkegaard. M: AST: Astrel, 2009. 192 p.
5. Kierkegaard S. Pleasure and Duty. Rostov on Don: Publishing house "Phoenix", 1998. 416 p.
6. Semanov M.L. Chekhov-creator. M: Publishers "Enlightenment", 1976. 224 p.
7. Sukhikh I. N. Problems of Poetics of Chekhov. L.: Publishing house Leningrad University, 1987. 183 p.
8. Turkov A.M. A.P. Chekhov and his time. M: Soviet Russia, 1987. 528 p.
9. Florovsky G. Ways of Russian Theology // Russian idea: In two volumes. T.2. M: Art, 1994. P.135–177.
10. Chekhov A.P. Complete set of works and letters: In 30 v. Works: In 18 v. M: The Science, 1974–1982. V. 9. 1977. 544 p.
11. Chekhov A.P. Complete set of works and letters: In 30 v. Works: In 18 v. M: The Science, 1974–1982. V. 17. 1980. 528 p.

РЕФЕРАТЫ

Энергетика и теплоэнергетика металлургической отрасли

УДК 621.313.3-83-52

Андрюшин И.Ю., Головин В.В., Косенков А.В. Опыт и перспективы внедрения частотно-регулируемых электроприводов в ОАО «ММК».

Дана характеристика современных электроприводов ОАО «ММК». Показано, что особое внимание уделяется внедрению преобразователей частоты и контроллеров ведущих мировых производителей. Представлена характеристика кранового электрооборудования. Ил. 4. Табл. 3. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: металлургический комбинат, электроприводы, внедрение, преобразовательная техника, фирмы-изготовители, распределение, крановое электрооборудование, промышленные контроллеры.

УДК 621.313.3-83-52

Сарваров А.С., Анисимов Д.М., Усатый Д.Ю., Петушков М.Ю., Вечеркин М.В. Анализ состояния электроприводов агрегатов ГО П ОАО «ММК» и пути модернизации.

Проведен анализ состояния электроприводов переменного тока, распределение их по группам мощности и механизмам и приведены их типовые характеристики. Рассмотрены условия снижения динамических нагрузок при пуске. Предложена новая концепция создания высоковольтных пусковых устройств.

Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, пуск, динамические нагрузки, типовые характеристики, ограничение ударного момента.

УДК 621.771.06-114-52

Селиванов И.А., Салганик В.М., Гун И.Г., Петухова О.И., Мамлеева Ю.И. Исследование систем управления непрерывного стана на математической модели.

В статье рассмотрены вопросы математического описания модели непрерывного стана с учетом силовой связи клетей через полосу, исследованию ее влияния на качество регулирования параметров прокатки. Ил. 9. Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: непрерывный стан, система косвенного регулирования, математическое описание модели, система регулирования скорости, разнотолщинность полосы.

УДК 621.311.4

Крылов Ю.А., Селиванов И.А., Ровнейко В.В., Галлямов Р.Р., Губайдуллин А.Р. Технические требования к электроприводам вспомогательных механизмов тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты.

Дана характеристика технологического процесса теплоэлектроцентрали ОАО «ММК». Представлено распределение электроприводов по категориям ответственности. Сформулированы требования к электроприводам ответственных механизмов при нарушениях электроснабжения. Предложены схемы электропитания от двух независимых вводов.

Ил. 2. Табл. 3. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: тепловая электростанция, электроприводы, категории ответственности, электропитание, нарушения, требования, функции управления, режимы, совершенствование.

УДК 621.771.016

Радионов А.А., Андрюшин И.Ю., Галкин В.В., Гостев А.Н. Ограничение минимальных скоростей электроприводов стана 2000 при прокатке трубной заготовки.

Выполнены экспериментальные исследования скоростных и нагрузочных режимов электроприводов клетей стана 2000 при прокатке трубной заготовки. Определены минимально допустимые скорости прокатки. Рассмотрена система задания скоростей электроприводов клетей с подразоном в режиме заправки.

Ил. 3. Табл. 4. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: стан 2000, горячая прокатка, трубная заготовка, электроприводы, нагрузка, захват полосы, останковка, скорости, минимальные значения, система управления.

УДК 621:62-83

Лукьянов С.И., Суспичев Е.С., Коновалов М.В. Система диагностирования механического оборудования электропривода тянущих роликов машины непрерывного литья.

В статье приведены результаты разработки и внедрения системы диагностирования механического оборудования электропривода тянущих роликов машины непрерывного литья заготовок.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, электропривод тянущих роликов, диагностирование дефектов, алгоритм диагностирования, система диагностирования.

УДК 621.771.016

Карандаев А.С., Храмшин В.Р., Петряков С.А. Следящая система автоматического регулирования толщины полосы стана горячей прокатки.

Представлена структурная схема системы автоматического регулирования толщины полосы широкополосного стана горячей прокатки. Выполнено исследование точности регулирования в режиме линейных перемещений. Предложена система регулирования положения нажимных устройств с комбинированным управлением.

Ил. 5. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: стан горячей прокатки, система автоматического регулирования толщины, линейные перемещения, точность, нажимные устройства, регулирование положения, комбинированное управление.

УДК 621.317.31

Коваленко Ю.П., Чернышев Г.В., Коваленко А.Ю., Корнилов Г.П., Николаев А.А., Иванов В.А. Выявление неисправных измерительных комплексов расхода электроэнергии на примере ОАО «ММК».

В статье рассмотрены методики выявления источников грубых ошибок в измерениях расхода электроэнергии и даны рекомендации по внесению изменений в существующие системы автоматизированного учета электроэнергии на ОАО «ММК».

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: погрешность измерения, счетчики электрической энергии, измерительные комплексы, автоматическая система коммерческого учета электроэнергии, небаланс мощности, потери электроэнергии.

УДК 314.212:620.111.3

Дружинин Н.Н., Ануфриев А.В., Сарлыбаев А.А. Технические решения по ограничению влияния электромагнитных полей на работу трансформатора установки «печь-ковш» электросталеплавильного цеха ОАО «ММК».

Дана оценка влияния вихревых токов на температурный режим трансформатора установки «печь-ковш» электросталеплавильного цеха ОАО «ММК». Рассмотрены варианты ограничения негативного влияния, разработана и технически реализована технология перемещения трансформатора без внесения изменений в его конструкцию.

Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: Агрегат «печь-ковш», трансформатор, вихревые токи, нагрев, ограничение, варианты, перемещение, технология, исполнение.

УДК 621.333

Селиванов И.А., Омельченко Е.Я. Электромеханические свойства асинхронных двигателей.

Проанализировано совместное влияние многофазной питающей сети и асинхронного двигателя, выполнен анализ переходных процессов активной и реактивной мощности, потребляемой в многофазной L-R цепи при различных входных напряжениях и частотах, проанализировано влияние коэффициента мощности на качество электромеханических переходных процессов в различных системах электропривода.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, активная мощность, реактивная мощность, коэффициент мощности.

Разработка полезных ископаемых

УДК 622.013.364

Вохмин С.А., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С. Методические основы нормирования потерь и разубоживания при отработке месторождений строительного сырья подземным способом.

В статье рассмотрен методический подход к определению нормативных величин потерь и разубоживания при разработке нерудных месторождений строительных материалов подземным способом. В данной работе показаны условия формирования потерь и разубоживания полезного ископаемого при отработке приконтактных зон и приведена последовательность их расчета. А также предложен коэффициент, который характеризует соотношение максимальной возможной площади прихвата примесивающих пород к площади попе-

речного сечения выработки, обеспечивающее допустимое содержание регламентируемого компонента в конечной продукции.

Ил. 4. Табл. 2. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: потери, разубоживание, методика, классификация, нормирование, планирование, показатели извлечения.

УДК 622.271

Тарасенко Е.А., Кисляков В.Е. Технологические решения при разработке валунистых россыпных месторождений.

Представлены технологические схемы разработки россыпных месторождений с значительным количеством валунов.

Ил. 4. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: россыпные месторождения, золото, валуны.

Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов

УДК 622.22; 628.113

Добровольский А.И., Феофанов Г.Л., Жуков А.Л. Технологические решения по подготовке очистного фронта на Ургальском месторождении.

В статье предложен комплекс решений, позволяющий существенно сокращать эксплуатационные затраты и повышать темп проходческих работ в сложных гидрогеологических условиях. Отражены результаты реализации предлагаемых решений в условиях шахты «Северная» ОАО «Ургалуголь».

Ил. 6. Табл. 1

Ключевые слова: подготовка очистного фронта, сложные гидрогеологические условия, водоприток, затраты и темп проходки.

Металлургия черных, цветных и редких металлов

УДК 669.046.46

Всухиса А.С., Леонтьева Л.И., Кудинова Д.З., Шешукова О.Ю. Анализ современных методов переработки сидеритовых руд.

Различные методы подготовки сидеритов к доменной плавке не позволяют избавиться от основного их недостатка – высокого содержания оксида магния. Поэтому предлагается использовать железо, полученное из базальских сидеритов путем прямого восстановления, в качестве сырья для электропечей.

Табл. 1. Библиогр. 28 назв.

Ключевые слова: сидериты, оксид магния, прямое восстановление, доменная печь, сырьевые материалы, концентрат, агломерат, окатыши.

УДК 669.162.266.44+66.046.46

Харченко Е.М., Жумашев К.Ж. Твердофазное восстановление меди и свинца металлическим железом.

Переработка отвальных медных шлаков является одной из актуальных проблем, решение которой может служить дополнительным источником цветных и черных металлов, а также улучшить состояние окружающей среды в районах действия предприятий.

В статье приведены результаты твердофазного восстановления компонентов шлака металлическим железом с целью создания новой комплексной технологии переработки шлаков медеплавильного производства с расширением ассортимента выпускаемой продукции.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: твердофазное восстановление, медь, свинец, медный шлак, термодинамический анализ, дериватограмма, рентгенофазовый анализ.

УДК 622.7: 504.063.43

Орехова Н.Н., Чалкова Н.Л. Технология селективного извлечения цинка из гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений.

В статье представлены результаты всестороннего исследования гальванокоагуляционной технологии извлечения цинка из шахтных и подотвалных вод. Исследование включало термодинамическое обоснование, выявление кинетических закономерностей селективного разделения металлов, изучение фазовых составов и структуры осадков, лабораторные и укрупненно-лабораторные испытания на реальных водах.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: ресурсовоспроизводство, гальванокоагуляция, факторный анализ, подотвалы воды, шахтные воды, медельный раствор, извлечение, цинк, медь.

Обработка металлов давлением

УДК 669.462

Полецков П.П. Об изменении показателей профиля и плоскостности тонколистовой проката в процессе правки растяжением с изгибом.

Произведена оценка параметров настройки изгибо-растяжной машины с точки зрения результативности исправления дефектов неплоскостности и изменения показателей профиля поперечного сечения горячекатаного проката.

Ил. 3. Табл. 6. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: тонколистовой прокат, профиль, плоскостность, правка в изгибо-растяжной машине.

Технологии обработки материалов

УДК 621.9

Сергеев С.В., Шаламов В.Г., Сергеев Ю.С., Прошунин Д.В. Расчет погрешностей формообразования отверстий и пазов с помощью конечно-элементных моделей.

В статье описана методика компьютерного моделирования динамики процессов формообразования внутренних поверхностей (отверстий и пазов) вращающимися концевыми многолезвийными инструментами.

Ил. 7. Библиогр. 15 назв.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, метод конечных элементов, программный комплекс Ansys, динамика процессов формообразования поверхностей.

УДК 621.81:538.3

Симонова Ю.Э., Пачевский В.М., Ткаченко Ю.С. Особенности газопламенного напыления чугуны пар трения металлорежущих станков типа направляющие скольжения.

В статье представлен способ восстановления чугуны направляющих скольжения газотермическим методом с использованием разработанного бункера и устройства подачи порошка, обеспечивающих получение восстанавливаемого слоя направляющей различного химического состава по длине или глубине без переналадки устройства.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: направляющие скольжения, восстановление.

Материаловедение и термическая обработка металлов

УДК 621.791.927.55

Емелишин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П., Морозов А.Н. Формирование структуры и свойств зоны сплавления при плазменно-порошковой наплавке покрытия типа 250X15Г20С.

В статье рассмотрены особенности формирования структуры и свойств зоны сплавления покрытия, нанесенного плазменно-порошковой наплавкой на подложку из стали. Описаны формирующиеся при этом зоны. Предложен метод оценки напряжённого состояния зоны сплавления по измерению твёрдости Виккерса.

Ил. 5. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, износостойкие покрытия, зона сплавления, ударостойкость, модуляция тока.

Надежность и долговечность металлургического оборудования

УДК 531.43/46

Анцупов А.В., Слободянский М.Г. Прогнозирование долговечности опорных валков и оценка эффективности способов продления их ресурса.

Разработана физико-вероятностная модель параметрической надежности опорных валков. Она позволяет на стадии их проектирования прогнозировать значения вероятности безотказной работы в любой момент времени будущей эксплуатации и гамма-процентного ресурса, а также выбрать наиболее эффективный способ повышения долговечности.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 13 назв.

Ключевые слова: опорный валок, надежность, трение, износ, прогнозирование, ресурс.

Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы

УДК 621.926.2

Пожидаев Ю.А., Кадошников В.И., Савочкина Л.В. Проектирование демпфирующих систем для рекуперации энергии.

В современной технике много различных колебательных систем и устройств, энергия колебаний которых рассеивается в окружающей среде и, как правило, безвозвратно теряется.

Сделан обзор существующих объектов в машиностроении и металлургии. Найден объект для дальнейшего исследования – система демпферов четырёхвалковой дробилки.

Система демпферов для рекуперации энергии позволяет не только корректно выполнять все задачи по минимизации параметров колебаний, но и рекуперировать энергию. Утилизация рекуперированной электроэнергии возможна для местного освещения, отопления и других хозяйственных нужд.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: рекуперация энергии, система демпферов, энергия колебаний.

Теплоэнергетика металлургической отрасли

УДК 536.24

Видин Ю.В., Казаков Р.В. Исследование передачи тепла вдоль комбинированного ребра конечной длины.

В статье предложена конструкция комбинированного ребра, представляющего собой составной стержень, начальный участок которого выполнен из более теплопроводного материала, чем концевой участок. Несмотря на то, что начальный участок значительно меньше концевой, удается значительно повысить коэффициент тепловой эффективности предлагаемого устройства.

Ил. 1. Табл. 3. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: составное ребро, температурное поле, теплопроводность, неоднородные материалы, коэффициент тепловой эффективности.

Автоматизация технологических процессов. Робототехника

УДК 67.02.004.896

Андреев С.М., Парсукин Б.Н., Головкин А.А., Усачев М.В., Польшко П.Г., Логунова О.С. Разработка концепции экстремальной нечеткой системы автоматической оптимизации управления энергетическим режимом выплавки стали в ДСП.

В работе предлагается система автоматической оптимизации управления электрическим режимом электродуговой печи, позволяющая осуществлять управление агрегатом в режиме максимальной производительности при использовании принципов нечеткой логики и экстремального регулирования.

В отличие от традиционных задач оптимального управления, рассматриваемый в работе алгоритм предполагает поиск оптимального решения в оперативном режиме, осуществляя необходимые мероприятия по управлению объектом в реальном времени, в отсутствие заранее известной модели оптимизируемого процесса. Система гарантированно поддерживает максимальную активную мощность в каждый момент времени (с учетом потерь на поиск).

Полученные результаты позволяют добиться увеличения производительности агрегата, на 2–3% уменьшения себестоимости продукции, обеспечивая энергосберегающий режим работы ДСП.

Ил. 5. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: нечеткая логика, дуговые сталеплавильные печи, автоматическое управление, системы оптимизации, поисковые системы, системы экстремального регулирования, нечеткий контроллер, функция принадлежности.

УДК 621.865.8

Литвин А.В. Алгоритмы движения робота Lego Mindstorms NXT по черной линии с использованием пропорционально – дифференциального регулятора.

Предложены методы описания траектории движения робота по черной линии с одним и несколькими датчиками освещенности по средствам линейных подходов, а также с использованием кубических и дифференциальных регуляторов.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 8.

Ключевые слова: Lego, робот, программирование, датчик, калибровка, регулятор, освещенность, алгоритм.

Экономика, управление и рынок продукции

УДК 332.135:005.52

Поликарпова М.Г. Моделирование механизма функционирования российского рынка слияний и поглощений в 2004–2010 гг.

В статье предложена разработанная экономико-математическая модель механизма функционирования российского рынка слияний и поглощений на основе системы эконометрических уравнений. Разработанная модель является одной из первых попыток проведения эконометрического анализа российских условий протекания процессов М&А и позволяет изучить причины связей, лежащих в основе российского рынка корпоративного контроля.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: слияния и поглощения, система взаимосвязанных уравнений, стоимость конфликтных активов, количество интеграционных сделок, стоимостной объем рынка интеграционных сделок.

Культура. Филология

УДК 008

Гун Г.Е. Процессы взаимодействия в художественной культуре.

Статья посвящена актуальной проблеме взаимодействия в художественной культуре. Описываются возможности искусствоведческого и культурологического подходов его изучения. Рассмотрены разные типы взаимодействий, их структура, критерии и значение для художественной жизни.

Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: культура, художественная культура, взаимодействие в художественной культуре.

УДК 821.161.1

Постникова Е.Г. Русская мифология реформ в «Помпадурах и помпадуршах» Салтыкова-Щедрина.

Автор статьи утверждает, что М.Е. Салтыков-Щедрин заметил способность русских мифологизировать социальное пространство и политические события. Автор анализирует русскую мифологию реформ, как ее понял и представил в своем творчестве писатель. Описывается открытые Щедриным феномен самооборачиваемости реформ и традиции разрыва с Традицией («выворачивания наизнанку» и переименования ценностей и ориентиров прошлого).

Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: М.Е. Салтыков-Щедрин, власть, реформы, мифология.

УДК 821.161.1.0

Зайцева Т.Б. Тип эстетика в повести Чехова «Три года».

Персонажи повести Чехова «Три года» рассматриваются в свете философии Киркегора. Главный герой повести определяется как эстетик или «человек литературный», так как литературный дискурс оказывает большое влияние на его быт и бытие. Отказ от литературности ведет героя к этической позиции.

Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: Чехов, Киркегор, эстетический образ жизни, «человек литературный», «человек социальный», этическая позиция, неоднозначность авторской позиции.

REPORTS

Power Supply and Heat Power of Metallurgy

UDC 621.313.3-83-52

Andrjushin I.J., Golovin V.V., Kosenkov A.V. Experience and prospects of a implementing of adjustable-frequency electric drives in open joint-stock company «MMK».

The characteristic of modern electric drives of open joint-stock company «MMK» is given. It is shown that the special attention is given to a implementing of frequency converters and control units of leading world manufacturers. The characteristic crane electric equipments are presented.

Fig. 4. Table 3. Bibliogr. 6 names.

Keywords: Iron-and-steel works, electric drives, a implementing, the transforming engineering, corporations-manufacturers, allocation, crane electrical equipment, industrial control units

UDC 621.313.3-83-52

Sarvarov A.S., Anisimov D.M., Usatiy D.J., Petushkov M.J., Vecherkin M.V. State analysis of electric drives of ore-dressing units of OJSC «MMK» and some ways of their enhancement.

The authors carried out the state analysis of ac electric drives, classified them according to the capacity and machinery and offered their typical characteristics. They also investigated conditions to reduce dynamic loads during start-up and offered a new concept of high-voltage starting devices.

Fig. 4. Bibliogr. 5 names.

Key words: induction motor, start-up, dynamic loads, typical characteristics, impact torque control.

UDC 621.771.06-114-52

Seliwanov I.A., Salganik V.M., Gun I.G., Petuhova O.I., Mamleeva Y.I. Study of Control Systems of Continuous Mill Using Mathematical Model.

The article considers the problems of mathematical formulation of continuous mill accounting for power connection of stands through a strip and the effect of power connection on the quality control of rolling characteristics was examined.

Fig. 9. Table 2. Bibliogr. 3 names.

Key words: a continuous mill, an indirect control system, mathematical formulation, strip gage interference.

UDC 621.311.4

Krylov J.U.A., Selivanov I.A., Rovnejkov V.V., Galljamov R.R., Gubajdullin A.R. Technical requirements to auxiliary electric drives of the thermal power station at a implementing of frequency converters.

The technological parameters of the combined heat-and-power plant of open joint-stock company «MMK» are given. Allocation of electric drives by category is presented responsibility. Demands to electric drives of responsible mechanisms are formulated at losses of supply. Power supply diagrams from two independent feedings into are offered.

Fig. 2. Table 3. Bibliogr. 6 names.

Keywords: The Thermal power station, electric drives, responsibility classes, the power supplies, violations, demands, control functions, regimes, perfection.

UDC 621.771.016

Radionov A.A., Andrjushin I.J., Galkin V.V., Gostev A.N. Limitation of the minimum rates of electric drives of the mill 2000 at round billet rolling.

Are fulfilled experimental exploration of high-speed and load regimes of electric drives of mill stands 2000 at round billet rolling. Minimum admissible rolling speeds are defined. The system of the job of rates of electric drives of stands with sub acceleration in a filling regime is observed.

Fig. 3. Table 4. Bibliogr. 3 names.

Keywords: the Mill 2000, a hot rolling, a round billet, electric drives, load, strip holding device, blowing-down, rates, the minimum meanings, a management system.

UDC 621.62-83

Lukyanov S.L., Suspitsin E.S., Kononov M.V. Diagnostics system for mechanical equipment of continuous caster pinch roller drive.

In the article there are presented design and commissioning results of the diagnostic system for mechanical equipment of continuous caster pinch roller drive.

Fig. 4. Table 1. Bibliogr. 3 names.

Key words: continuous caster, pinch roller drive, defect diagnostics, diagnostic algorithm, diagnostic system.

UDC 621.771.016

Karandaev A.S., Hramshin V.R., Petrjakov S.A. The servo-mechanism of automatic control strip gage of the hot-rolling mill.

The block diagram of the automatic control system of regulatory type of gauge of plate of the broad-strip hot rolling mill is presented. Exploration of accuracy of regulating in a linear movement mode. The regulating system of a rule of screw-down mechanisms with combined running is offered.

Fig. 5. Bibliogr. 8 names.

Keywords: the Hot-strip mill, the automatic control system of regulatory type of a thickness, linear movement, accuracy, screw-down mechanisms, rule regulating, combined running.

UDC 621.317.31

Kovalenko Y.P., Chemyshev G.V., Kovalenko A.Y., Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Ivanov V.A. Search of faulty measurement complexes of energy consumption in the example OJSC «MMK».

The article deals with techniques to identify the sources of measurement errors of energy consumption and recommendations for changes to existing automatic metering electric energy system on OJSC MMK.

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 9 names.

Key words: measurement error, electricity meters, measurement complexes, commercial automatic metering electric energy system.

UDC 314.212:620.111.3

Druzhinin N.N., Anufriev A.V., Sarlybaev A.A. Designs on influence limitation electromagnetic fields on transformer operation installations electric-furnace shop «oven-ladle» open joint-stock company «MMK».

Eddy current score on temperature conditions of the transformer of installation «oven-ladle» of electric-furnace shop open joint-stock company «MMK» is given. Alternatives of limitation of negative influence of eddy current are observed, engineer and implement technology of movement the transformer without modification of its construction is developed and technical realised.

Fig. 3. Bibliogr. 3 names.

Keywords: the Assembly «oven-ladle», the transformer, eddy current, heat, limitation, alternatives, movement, production engineering, modification.

UDC 621.333

Selivanov I.A., Omelchenko E.Ya. Electromechanical Characteristics of Induction Motors.

The authors carried out the analysis of the joint effect of a multiphase supply main and an induction motor as well as the analysis of transient processes of active and reactive power consumed in a multiphase L-R line at different input voltages and frequencies and the influence of the power factor on characteristics of electromechanical transient processes in various electric drive systems.

Fig. 2. Tables 2. Bibliogr. 8 names.

Mining

UDC 622.013.364

Vokhmin S.A., Trebush Yu.P., Kurchin G.S., Maierov E.S. Methodical bases of rationing of losses and dilution at working off of deposits of building raw materials by underground way.

In article the methodical approach to definition of standard sizes of losses and dilution is considered by working out of nonmetallic deposits of building materials by underground way. In the given work conditions of formation of losses and dilution a mineral are shown at working off the nearcontact zones and the sequence of their calculation is resulted. And also the indicator which characterizes a parity of the maximum possible area of a holding strap of adding breeds to the area of cross-section section of the development, the providing admissible maintenance of a regulated component in end production is offered.

Key words: losses, dilution, the technique, classification, rationing, planning, extraction indicators.

UDC 622.271

Tarascenko E.A., Kislyakov V.E. Technological decisions by exploitation of boulders placer deposits.

Technological decisions of exploitation placer deposits with the considerable quantity of boulders are resulted.

Fig. 4. Bibliogr. 2 names.

Key words: placer deposits, gold, boulders.

Processing and Utilization Technologies of Formations and Wastes

UDC 622.22; 628.113

Dobrovolsky A.I., Feofanov G.L., Zhukov A.L. Technological decisions on preparation of clearing front on the Urgalsky coal-field.

In article the complex of decisions allowing essentially to reduce an operational expense and to raise rate of works on passage of mountain developments in difficult hydro geological conditions is offered. Results of realization of offered decisions in the conditions of company «Urgalugol» mine «Northern» are reflected.

Fig. 6. Table 1.

Keywords: preparation of clearing front, difficult hydro-geological conditions, water inflow, expenses and rate of works on carrying out of mountain developments.

Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals

UDC 669.046.46

Vusikhis A.S., Leontiev L.I., Kudinov D.Z., Sheshukov O.Y. The analysis of modern methods of sideritic ores processings.

Various of siderites preparation to blast furnace processing methods do not allow to get rid of their basic lack – the high contents of magnesium oxide. Therefore it is offered to use the iron, received from bakal siderites by direct reduction, as raw material for electric furnaces.

Table 1. Bibliogr. 28 names.

Key words: siderites, magnesium oxide, direct reduction, blast furnace, raw material, concentrate, agglomerate, pellets.

UDC 669.162.266.44+66.046.46

Harchenko E.M., Zhumashev K.Zh. The solid-phase reduction of copper and lead by metallic iron.

The question of copper slag treatment is one from actual question and it decision can be a consource of non-ferrous and ferrous metals, also it can improve environmental conditions in plants fetches.

In the article results of slag materials solid-phase reduction by metallic iron for the purpose of making a new aggregate technology creation about treatment of copper-smelting industry with diversification of output.

Fig. 5. Table 1. Bibliogr. 5 names.

Key words: solid-phase reduction, copper, lead, copper slag, metallic iron, thermodynamic analysis, derivatogramm, roentgen- phase analysis.

UDC 622.7: 504.063.43

Orehova N.N., Chalkova N.L. Technology of selective extract zinc from water technogenic resources copper is the muffle of deposits.

Results of comprehensive researchers of electrotype-coagulative technology of zinc extraction out of mine and underdump waters are produced in this article. The researches included thermo-dynamic substantiation, exposure of kinetic appropriateness of selective division of metals, study of phase compositions and sediments structures, laboratory and enlarge-laboratory (half industrial) tests on the model and real waters.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 8 names.

Key words: resursovo proizvodstvo, galvanokoagulyatsiya, factor analysis, podotvalnye water, mine water, extract, zinc, copper.

Pressure Treatment of Metals

UDC 669.462

Poletskov P.P. About changing of the profile and flatness parameters of rolled plates by tension and bending correction.

The evaluation of settings of tension-bending machine in terms of the impact of correcting defects and changes in indicators of flatness and profile of hot-rolled steel.

Fig. 3. Table 6. Bibliogr. 6 names.

Key words: thin plates, profile, flatness, correction in the bending and tension machine.

Technologies of Material Processing

UDC 621.9

Sergeev S.V., Shalamov V.G., Sergeev Y.S., Proshunin D.V. Calculation of errors in shaping holes and grooves by means of finite-element model.

This article describes a technique of computer simulation of the dynamics of formation of internal surfaces (holes and slots) rotating end multiblade tools.

Fig. 7. Bibliogr. 14 names.

Key words: computer simulation, finite element method, software package Ansys, the dynamics of the processes shaping surfaces.

UDC 621.81:538.3

Simonova J.E., Pachevsky V.M., Tkachenko J.S. Features of gas-flame spraying of friction pig-iron pairs of slide guide cutting machines.

The present paper presents a recovery method of pig-iron slide guides by gas-flame method with use of the designed bin and the dust feeder ensuring production of the slide guide recovered layer of various chemical compound by length or depth without the device readjustment.

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 5 names.

Key words: slide guides, recovery.

Material Science and Thermal Metal Treatment

UDC 621.791.927.55

Emeljushin A.N., Petrochenko E.V., Nefedeyeff S.P., Morozov A.N. Formation of structure and properties of a refusion zone at PTA-coating type coverings 250X15Г20C.

In article features of formation of structure and properties of a refusion zone a PTA-coating on a substrate from a steel 3 are considered. Zones formed thus are described. The method of an estimation of a tension of a refusion zone on measurement of hardness of Vikkersa is offered.

Fig. 5. Bibliogr. 5 names.

Key words: plazma-powder coating, wearproof coverings, refusion zone, crash-worthiness, current modulation.

Safety and Durability of Metallurgical Equipment

UDC 531.43/46

Antsupov, A.V., Slobodyanskiy, M.G. Forecasting the durability of supporting rolls and evaluating the effectiveness of ways to extend their working life.

A physico-probabilistic model for parametric safety of supporting rolls has been developed. During their designing phase such model allows to predict values of reliable operation probability at any stage in future service and the gamma-percentage ratio as well as to choose the most effective means to increase durability.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 13 names.

Key words: backup roll, reliability, friction, wear, prognostication, resource.

Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat Power

UDC 621.926.2(072)

Pozhidayev YU. A., Kadoshnikov V. I., Savochkina L. V. Damp- ing devices designing for energy recovery.

There are a lot of the different oscillating system sand devices in a modern technique. Energy of vibrations of which disperses in an environment and, as a rule, is irrevocably lost.

The review of existent objects is done in engineer and metallurgy. An object is found for further research it is the system of dampers of four-barrel crusher.

The system of dampers for recovery allows energy not only it is correct to carry out all problems on minimization of parameters of fluctuations, but also to collect energy. It is possible to utilize recycling the electric power recovery for local illumination, heating and other economic needs.

Fig. 2. Tabl. 2. Bibliogr. 11 names.

Key words: energy recovery, system of dampers, energy of vibrations.

Heat Power of Metallurgy

UDC 536.24

Vidin Y.V., Kazakov R.V. Heat transfer research in composite rib with finite length.

Offered construction of composite rib, designed like composite rod first part of that rod made from material, that conduct more heat, than the material of last part. In spite of the fact, that size of the first part much shorter, then size of the last part, offering set allows considerably improve coefficient of thermal efficiency.

Fig. 1. Table 3. Bibliogr. 2 names.

Key words: composite rib, thermal field, thermal conductivity, heterogeneous material, coefficient of thermal efficiency.

Automation of Technological Processes

UDC 67.02, 004.896

Andreev S.M., Parsunkin B.N., Golovko N.A., Usachev M.V., Polyko P.G., Logunova O.S. Extreme fuzzy automatic optimization system for arc-furnace power level controlling.

The work contains the conception of arc furnace power level automatic optimization system based on fuzzy logic and extreme controlling principles which helps to control the arc furnace in the conditions of maximal productivity.

As opposite to the traditional control system, described algorithm implements the optimal solution search process in the real-time, controlling the object in the terms of lack a priori information. The system assures the support of maximal active power in each moment (subject to hunting loss).

Findings allow achieving the increase the productivity of the aggregate by 2–3%, diminishing the prime cost of the production, and providing the energy-saving arc furnace work regime.

Fig. 5. Bibliogr. 8 names.

Key words: fuzzy logic, arc furnace, automatic system, optimization system, search system, optimizing control, fuzzy controller, membership function.

UDC 621.865.8

Litvin A.V. Moving algorithms of Lego Mindstorms NXT robot through a black line using proportionally – differential controller.

We have suggested methods using one or more light sensors that robot is able to find his way through a black line with the use of a linear access, also with cubic and differential controllers.

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 8 names.

Keywords: Lego, robot, programming, sensor, calibration, regulator, light, algorithm.

Economics, Management and Production Market

UDC 332.135:005.52

Polikarpova M.G. Modelling how mechanism of M&A of Russian market in 2004–2010 functions.

In this article we brought forward a worked out economic and mathematical model of the mechanism of M&A of Russian market on the basis of econometric equations system. The developed model is one of the first attempts to carry out an econometric analysis of Russian conditions in which M&A processes progress and it allows to study reasons for connection which underlies Russian market of corporate control.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 8 names.

Key words: mergers and acquisitions, system of interdependent equals, value of conflict assets, number of integration transactions/deals, value scope of integration deals market.

Культура. Филология

UDC 008

Gun G.E. Process of interaction in of the artistic culture.

Annotation: The article is devoted to the important problems of interaction between social institutions and artistic in culture. The possibilities of art-criticism and cultural approaches are described. Different types of such interactions, their structure, criteria and significance for

the artistic life are considered.

Bibliogr. 6 names.

Key words: culture, artistic culture, interaction in artistic culture.

UDC 821.161.1

Postnikova Y. Russian mythology of the reforms in «Pompadury and Pompadurshy» by M.Y. Saltykov-Shchedrin.

The author of the article states that M.Y. Saltykov-Shchedrin observed the inclination of the Russians to mythologize the social space and politics. Author analyses the Russian mythology of reforms as it is understood and represented by the writer in his literary work. The article depicts the phenomenon of «self-reversion» of the reforms and tradition of the break with the Traditions («turning inside-out» and relabeling of values and landmarks of the past), which were investigated by Shchedrin.

Bibliogr. 3 names.

Key words: M.Y. Saltykov-Shchedrin, power, reforms, mythology.

UDC 821.161.1.0

Zaitseva T.B. Type of Esthetician in Chekhov's Story «Three Years».

Characters in the story «Three Years» by Chekhov are considered in the article in the light of the philosophy of Kierkegaard. The main hero of the novel is defined as an esthetician or «a literary person», as literary discourse has a great influence on his life and existence. The rejection of the literariness leads the hero to the ethical position.

Bibliogr. 11 names.

Key words: Chekhov, Kierkegaard, the aesthetic way of life, «a literary person», «a social person», the ethical position, the features of the author's position.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреев Сергей Михайлович – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298527. E-mail: pk_su@bk.ru.

Андрюшин Игорь Юрьевич – зам. главного энергетика, главный инженер УГЭ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Направление исследований: энергетика металлургических предприятий. Тел. (3519)243825. E-mail: andryushin.iy@mmk.ru.

Анисимов Дмитрий Михайлович – главный энергетик ГОП ОАО «ММК», г. Магнитогорск. Направление исследований: создание объектно-ориентированных пусковых устройств для асинхронных электроприводов и диагностирование состояния электрооборудования. Тел. (3519)247524. E-mail: anisimov@mmk.ru.

Ануфриев Антон Владимирович – ведущий специалист по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования электросталеплавильного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Направление исследований: методы технического обслуживания высоковольтного электрооборудования, системы управления электросталеплавильными печами; контактный телефон: 8(3519)350077. E-mail: anufriev@mmk.ru.

Анщупов Алексей Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры МОМЗ ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: повышение надежности деталей машин. E-mail: ants@mgn.ru.

Вечеркин Максим Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры физики, зам. директора по научной работе института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: создание объектно-ориентированных пусковых устройств для асинхронных электроприводов и диагностирование состояния электрооборудования. Тел. (3519)235750. E-mail: max_vecherin@mail.ru.

Видин Юрий Владимирович – проф., канд. техн. наук Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Направление исследований: проблемы теплообмена. Тел. (391)24974-13. E-mail: roman.kazakov@list.ru.

Вохмин Сергей Антонович – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Шахтное и подземное строительство» Института горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. E-mail: svokhmin@mail.ru.

Вусихин Александр Семенович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург. Тел. (343)2329072. E-mail: vas58@mail.ru.

Галкин Виталий Владимирович – начальник научно-технического центра ОАО «ММК». Направление исследований: современные методы диагностирования состояния вращающегося оборудования, вибродиагностика. Тел. (3519)247293.

Галлямов Раис Равильевич – главный инженер ТЭЦ ОАО «ММК». Направление исследований: частотно-регулируемый электропривод вспомогательных механизмов тепловых электростанций. Тел. (3519)244610. E-mail: gallyamov.rr@mmk.ru.

Головин Вячеслав Васильевич – канд. техн. наук, начальник центральной электротехнической лаборатории ОАО «ММК». Направление исследований: электроэнергетика металлургических предприятий. Тел. (3519)247149. E-mail: golovin.vv@mmk.ru.

Головкин Никита Анатольевич – аспирант кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298558.

Гостев Анатолий Николаевич – электрик цеха ЛПЦ-10 ОАО «ММК». Направление исследований: энергетика металлургических предприятий. Тел. (3519)243825.

Губайдуллин Андрей Рифович – аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: методы диагностирования асинхронных электроприводов. Тел. 8(3519)298416.

Гун Галина Евгеньевна – канд. филос. наук, доц., зав. кафедрой философских, социально-экономических и гуманитарных дисциплин, проф. МаГК, г. Магнитогорск. E-mail: filosof_gun@mail.ru.

Гун Игорь Геннадьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологий, сертификации и сервиса автомобилей» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: разработка и исследование современных агрегатов для производства стальных полос.

Добровольский Александр Иванович – управляющий Хабаровским филиалом ОАО «СУЭК». Направление исследований: повышение безопасности производства на основе совершенствования функций руководителей и специалистов угледобывающих шахт. Тел. (42149)51768. E-mail: Urgalugol@yrgal.suek.ru.

Дружинин Николай Николаевич – инженер-технолог участка технологии и ремонтов центральной электротехнической лаборатории ОАО «ММК». Направление исследований: электроэнергетика металлургических предприятий. Тел. (3519)247160. E-mail: druzhinin.nn@mmk.ru.

Емелюшин Алексей Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Материаловедение и термическая обработка металлов» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: износостойкие материалы, покрытия и инструмент. Упрочняющие технологии. E-mail: emelushin@magtu.ru.

Жуков Александр Леонидович – канд. техн. наук, научный сотрудник ОАО «Научно-технический центр угольной промышленности по открытым горным разработкам – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по добыче полезных ископаемых открытым способом» (ОАО «НПЦ-НИИОП»). Направление исследований: формирование единого технологического процесса на угледобывающих предприятиях. Тел. (351)2655504. E-mail: ZhukovAL@ntc-niiop.ru.

Жумашев Калкаман – д-р техн. наук, доц., зав. лабораторией «Физико-химия комплексного использования конденсированных отходов», ДГП «Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан. E-mail: innovaciya-zh@mail.ru.

Зайцева Татьяна Борисовна – канд. филол. наук, доц. кафедры русской классической литературы ГОУ ВПО «МаГУ». Направление исследований: русская литература 19 века, Антон Чехов. Тел. 8(3519)422092. E-mail: tbz@list.ru.

Иванов Владимир Александрович – менеджер управления главного энергетика Череповецкого металлургического комбината ОАО «Северсталь». Направление исследований: компенсация реактивной мощности энергоемких потребителей металлургического предприятия. Тел. (8202)568517. E-mail: ivanovva@severstal.com.

Кадошников Владимир Иванович – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Прикладная механика и графика» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298475. E-mail: kvi-51@mail.ru.

Казakov Роман Владимирович – аспирант Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Направление исследований: проблемы теплообмена. Тел. (391)2881610. E-mail: roman.kazakov@list.ru.

Карадаев Александр Сергеевич – д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник кафедры электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: разработка энергосберегающих и высокодинамичных электроприводов, диагностика электрооборудования. Тел. 8(3519)298434. E-mail: askaran@mail.ru.

Кисляков Виктор Евгеньевич – д-р техн. наук, проф. кафедры открытых горных работ Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Тел. 8(391)2133164. E-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru.

Коваленко Алексей Юрьевич – ведущий инженер ЦЭТЛ ОАО «ММК». Направление исследований: потери электроэнергии в электрических сетях крупных металлургических предприятий. Тел. (3519)242778. E-mail: cetl_kovalenko@mmk.ru.

Коваленко Юрий Петрович – ведущий инженер лаборатории систем управления энергохозяйством центральной электротехнической лаборатории ОАО «ММК». Направление исследований: системы электроснабжения металлургических предприятий. Тел. (3519)242778. E-mail: kovalenko.yu@mmk.ru.

Коновалов Максим Владимирович – канд. техн. наук, инженер ООО «Техноап-Маг», г. Магнитогорск. Научные интересы: электропривод, диагностирование, машинное обучение. E-mail: mkovmgn@gmail.com.

Корнилов Геннадий Петрович – д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: оптимизация режимов работы энергоемких электротехнических комплексов черной металлургии. E-mail: (3519)298479. E-mail: Korn_mgn@mail.ru.

Косенков Алексей Васильевич – зам. начальника ЦЭТЛ ОАО «ММК». Направление исследований: совершенствование автоматизированных электроприводов металлургических предприятий. Тел. (3519)241030. E-mail: kosenkov.av@mmk.ru.

Крылов Юрий Алексеевич – д-р техн. наук, профессор кафедры Московского энергетического института (Технического университета). Направление исследований: энергосбережение в промышленности и на объектах ЖКХ средствами современного частотно-регулируемого электропривода. Тел. (495)6605019. E-mail: ya.krylov@energiset.com.

Кудинов Дмитрий Захарович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург. Тел. (343)2329030. E-mail: d.kudinov@mail.ru.

Курчин Георгий Сергеевич – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры «Шахтное и подземное строительство» Института горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. E-mail: KurchinGS@mail.ru.

Леонтьев Леопольд Игоревич – д-р техн. наук, академик, гл. науч. сотрудник ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург. Тел. (343)2679124. E-mail: leo@presidium.ras.ru.

Литвин Андрей Вячеславович – аспирант Магнитогорского государственного университета, преподаватель информатики и ИКТ в МОУ Магнитогорский городской лицей при Магнитогорском государственном университете. Направление исследования: прикладное программирование и конструирование в образовательной робототехнике как средство подготовки будущих специалистов в творческой инновационной деятельности. E-mail: csgrrek@yandex.ru.

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, действительный член АИН им. А.М. Прохорова, доц., проф. кафедры вычислительной техники и прикладной математики ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. (3519)298563. E-mail: logunova66@mail.ru.

Лукьянов Сергей Иванович – д-р техн. наук, проф. кафедры электроники и микроэлектроники, проректор по инновационным технологиям и инвестициям ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Научные интересы: электропривод, диагностирование, машинное обучение.

Майоров Евгений Сергеевич – ст. преп. кафедры «Шахтное и подземное строительство» Института горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Мамлеева Юлия Игоревна – ассистент кафедры «Электротехники и электротехнических систем» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: методы повышения надежности автоматизированных систем управления. Тел. (3519)298416.

Морозов Алексей Николаевич – студент гр. ТТ-06 ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. E-mail: rushome87@mail.ru.

Нефедьев Сергей Павлович – ассистент кафедры «Материаловедение и термическая обработка металлов» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: металловедение сварки, наплавки и родственные процессы, а также, поверхностного упрочнения металлов и сплавов. E-mail: magoktant74@mail.ru.

Николаев Александр Аркадьевич – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: статические тиристорные компенсаторы сверхмощных дуговых сталеплавильных печей, системы управления электрическим режимом дуговых сталеплавильных печей. Тел. (3519)298479. E-mail: alexniko@inbox.ru.

Омельченко Евгений Яковлевич – канд. техн. наук, доц. кафедры АЭПиМ ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований – автоматизированный электропривод, силовая электроника, системы управления. Тел. 8-(3519)296840. E-mail: momentum2@yandex.ru.

Орехова Наталья Николаевна – канд. техн. наук, доц. каф. ОПИ ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел.: (3519)298555, 298540. E-mail: nn_orehova@mail.ru.

Парсушкин Борис Николаевич – д-р техн. наук, действительный член АИН им. А.М. Прохорова, проф. кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298432.

Пачевский Владимир Морищович – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ, г. Воронеж. Тел. (4732)461977.

Петрченко Елена Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Материаловедение и термическая обработка металлов» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: разработка составов и технологий производства отливок из белых износостойких чугунов. Тел. (3519)298567.

Петряков Сергей Анатольевич – аспирант кафедры электроники и микроэлектроники ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: разработка и исследование систем автоматического регулирования толщины полосы на прокатных станах. Тел. 8(3519)298416.

Петухова Ольга Игоревна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехники и электротехнических систем» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: автоматизированный электропривод станов холодной прокатки, тел. (3519)298416.

Петушков Михаил Юрьевич – канд. техн. наук, доц., зам. заведующего кафедрой электроники и микроэлектроники института энергетики и автоматики ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: создание объектно-ориентированных пусковых устройств для асинхронных электроприводов и диагностирование состояния электрооборудования. Тел. (3519)235750. E-mail: petyshkov@magtu.ru.

Пожидаев Юрий Александрович – аспирант кафедры «Прикладная механика и графика» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298438. E-mail: yoran74@rambler.ru.

Полецков Павел Петрович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Обработка металлов давлением» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел.: (3519)298525. E-mail: mgtu@magtu.ru; pavel_poletskov@mail.ru.

Поликарпова Мария Геннадьевна – канд. экон. наук, доц. кафедры математических методов в экономике ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. E-mail: mariyshka@rambler.ru.

Полько Павел Геннадьевич – учебный мастер кафедры вычислительной техники и прикладной математики ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск.

Постникова Екатерина Георгиевна – канд. филол. наук, доц. кафедры русской классической литературы ГОУ ВПО «МаГУ», г. Магнитогорск. E-mail: ekaterinapost@mail.ru.

Прошунин Денис Викторович – ведущий инженер-конструктор 6 отдела ОАО «Агрегат», г. Сим. E-mail: kbvt@list.ru.

Радионов Андрей Александрович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: разработка и совершенствование автоматизированных электроприводов систем и промышленных мехатронных модулей. (3519)224587. E-mail: RadionovAA@rambler.ru.

Ровнейко Виктор Васильевич – начальник ТЭЦ ОАО «ММК». Направление исследований: энергосбережение и экология на объектах промышленной энергетики. Тел. (3519)247729. E-mail: govnevyko.vv@mmk.ru.

Савочкина Любовь Викторовна – ст. преп. кафедры «Прикладная механика и графика» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. 8 (3519)298484.

Салганик Виктор Матвеевич – д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой «Обработки металлов давлением» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: обработка металлов давлением, автоматизация прокатного производства, (3519)232085.

Сарваров Анвар Сабулханович – д-р техн. наук, профессор, директор института энергетики и автоматики ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: создание объектно-ориентированных пусковых устройств для асинхронных электроприводов и диагностирование состояния электрооборудования. Тел. (3519)235750. E-mail: anvar@magtu.ru.

Сарлыбаев Артур Азатович – инженер-электроник I категории цеха эксплуатации электрооборудования электросталеплавильного цеха ООО НПО «Автоматика», г. Магнитогорск. Направление исследований: автоматизированные системы контроля технического состояния оборудования электродуговых печей. Тел. (3519)242618. E-mail: mahmutov@mmk.ru.

Селиванов Игорь Андреевич – д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой «Электроника и микроэлектроника» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: автоматизированный электропривод агрегатов непрерывных технологических линий. Тел. (3519)227279.

Сергеев Сергей Васильевич – канд. техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты» ГОУ ВПО «ЮУрГУ», филиал в г. Златоусте. E-mail: sergeev-sv@list.ru.

Сергеев Юрий Сергеевич – ассистент кафедры «Электрооборудование и автоматизация производственных процессов» ГОУ ВПО «ЮУрГУ», филиал в г. Златоусте. E-mail: kbvt@list.ru.

Симонова Юлия Эдуардовна – ассистент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ, г. Воронеж. Тел. (4732)461977. E-mail: jsim2@bk.ru.

Слободянский Михаил Геннадьевич – аспирант кафедры МОМЗ ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: повышение надежности деталей машин. E-mail: smngn@rambler.ru.

Суспицын Евгений Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры электроники и микроэлектроники ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Научные интересы: электропривод, диагностирование, машинное обучение. E-mail: e_sus@mail.ru.

Тарасенко Евгений Андреевич – аспирант кафедры открытых горных работ Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Тел. 8(391)2133490. E-mail: EATarasenko1986@mail.ru.

Ткаченко Юрий Сергеевич – доц. кафедр «Шахтное и подземное строительство» Института горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. E-mail: trebush@yandex.ru.

Требущ Юрий Прокопьевич – доц. кафедр «Шахтное и подземное строительство» Института горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. E-mail: trebush@yandex.ru.

Усатый Дмитрий Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры электроники и микроэлектроники, зам. директора по учебной работе института энергетики и автоматики ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: создание объектно-

ориентированных пусковых устройств для асинхронных электроприводов и диагностирование состояния электрооборудования. Тел. (3519)235750. E-mail: UsatyDU@rambler.ru.

Усачев Максим Валерьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298527. E-mail: pk_su@bk.ru.

Феофанов Григорий Леонартович – технический директор ОАО «Ургалуголь». Направление исследований: совершенствование подготовки очистного фронта месторождений каменного угля в сложных гидрогеологических условиях. Тел. (42149)52338. E-mail: FeofanovGL@suek.ru.

Харченко Елена Михайловна – ассистент кафедры «Металлургия и материаловедение» РГП «Карагандинский государственный индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан. E-mail: harchenko271279@mail.ru.

Храмшин Вадим Рифхатович – канд. техн. наук, доц. кафедры электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО

«МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: разработка энергосберегающих и высокودинамичных электроприводов. Тел. 8(3519)298416. E-mail: hvrg_mgn@mail.ru.

Чалкова Наталья Леонидовна – аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. E-mail: chalkova-mgn@mail.ru.

Чернышёв Геннадий Викторович – начальник ЛСУЭ ЦЭТЛ ОАО «ММК». Направление исследований: прогнозирование электропотребления крупных металлургических предприятий. Тел. (3519)247801. E-mail: chernyshev@mmk.ru.

Шаламов Виктор Георгиевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Станки и инструмент» ГОУ ВПО «ЮУрГУ», филиал в г. Златоусте. E-mail: kbvt@list.ru.

Шешуков Олег Юрьевич – д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург. Тел. (343)2679715. E-mail: ferro1960@mail.ru.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andreev Sergey Mihailovich – candidate of technical science, director of Industrial cybernetics and control systems department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. Phone: 8(3519)298527. E-mail: pk_su@bk.ru.

Andrjushin Igor Jurevich – the deputy of the main thing a power engineering, chief engineer VTJ Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». A direction of explorations: a power engineering of the metallurgical factories. Ph. (3519) 24-38-25. E-mail: andryushin.iy@mmk.ru.

Andrjushin Igor Jurevich – the deputy of the main thing a power engineering, chief engineer VTJ Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». A direction of explorations: a power engineering of the metallurgical factories. Ph. (3519) 24-38-25, E-mail: andryushin.iy@mmk.ru.

Anisimov Dmitry Mikhailovich – Chief power engineer of the ore-dressing plant of OJSC «MMK», research field: development of object-oriented starting devices for induction electric drives and diagnostics of electrical equipment. Phone: (3519)247-524. E-mail: anisimov@mmk.ru.

Antsupov Aleksei Viktorovich – Doctor of Science, Associate Professor of MOMZ (Mechanical Equipment of Metallurgical Plants) Sub-Faculty, Magnitogorsk State Technical University, increasing safety of car parts. E-mail: ants@mgn.ru.

Anufriev Anton Vladimirovich – the leading expert on maintenance service and reconditioning of an electric equipment of electric-furnace shop of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works», a direction of explorations: methods of maintenance service of a high-voltage electric equipment, a control system of electrosteel melting furnaces; the contact telephone: 8(3519) 35-00-77; E-mail: anufriev@mmk.ru

Chernyshev Gennady Viktorovich – chief of factory energetic control system laboratory of central electrotechnical laboratory of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Research field: power consumption prediction of large ironworks. Phone: (3519)247801. E-mail: chernyshev@mmk.ru.

Druzhinin Nikolay Nikolaevich – the process engineer of a section of production engineering and reconditionings of central electro-technical laboratory (IJTJ) Open joint-stock company «MMK». A direction of explorations: electric power industry of the metallurgical factories. Ph. (3519) 24-71-60, E-mail: druzhinin.nn@mmk.ru.

Emeljushin Alexey Nikolaevich – prof., a Dr.Sci.Tech. managing chair «Materials technology and thermal processing of metals» SEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I.Nosova». E-mail: emelushin@magtu.ru. A direction of researches: wearproof materials, coverings and the tool. Strengthening technologies.

Galkin Vitaly Vladimirovich – the chief of the scientific and technical centre of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works», a direction of explorations: modern methods of diagnosing of a condition status of the rotating equipment, vibration-based diagnostics, (3519) 24-72-93.

Gallyamov Rais Ravilevich – the chief engineer of thermal power station of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works», a direction of explorations: the variable-frequency electric drive of auxiliary mechanism thermal power stations. Ph. (3519) 24-46-10, E-mail: gallyamov.rr@mmk.ru.

Golovin Vyacheslav Vasilevich – a Cand. Tech. Sci., the chief of central electro technical laboratory (IJTJ) Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». A direction of explorations: electric power industry of the metallurgical factories. Ph. (3519) 24-71-49. E-mail: golovin.vv@mmk.ru.

Golovko Nickita Anatolievich – postgraduate of Industrial cybernetics and control systems department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. Phone: 8(3519)298558.

Gostev Anatoly Nikolaevich – the main electric shop #10 of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». A direction of explorations: a power engineering of the metallurgical factories. Ph. (3519) 24-38-25.

Gubajdullin Andrey Rifovich – post-graduate student ГОУ ВПО «МГТУ», a direction of explorations: methods of diagnosing of asynchronous electric drives, 8(3519) 29-84-16.

Gun Galina Evgenjevna – PhD, assistant professor, Head of philosophical, sociological, economical and human disciplines chair of Magnitogorsk state Conservatoire (Academy) after M. I. Glinka. E-mail: filosof_gun@mail.ru.

Gun Igor Gennadevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the professor of chair «Production engineering, certification and tools of cars», a direction of explorations: development and exploration of modern assemblies for manufacturing of steel strips.

Harchenko E.M. – an assistant of «Metallurgy and Materials technology» department, RSD «Karagandian state industrial university», Temirtau, Kazakhstan. E-mail: harchenko271279@mail.ru.

Hramshin Vadim Rifhatovich – a Cand.Tech.Sci., the senior lecturer, the senior lecturer of chair of an electrical engineering and electro-technical systems of MITY; a direction of explorations: development energy saving and high dynamic electric drives. Phone: 8(3519) 29-84-16. E-mail: hvr_mgn@mail.ru.

Ivanov Vladimir Aleksandrovich – manager of chief power engineer department of Cherepovets Iron and Steel Works OJSC «Severstal». Research field: reactive power compensation of power-intensive electrotechnical complexes of ironworks. Phone: (8202)568517. E-mail: ivanovva@severstal.com.

Kadoshnikov Vladimir Ivanovich – candidate of Technical Sciences, the senior lecturer, managing faculty «the applied mechanics and the schedule» of the state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 29-84-75. E-mail: kvi-51@mail.ru.

Karandaev Alexander Sergeevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the principal scientific employee of chair of an electrical engineering and electrotechnical systems of MITY. A direction of explorations: development energy saving and high dynamic electric drives, electric equipment diagnostic. Phone: 8(3519) 29-84-34. E-mail: askaran@mail.ru.

Kazakov Roman Vladimirovich – PhD student, Siberian Federal University. Research field: problems of heat-mass exchange. Phone: 8-(391)-288-16-10. E-mail: roman.kazakov@list.ru.

Konovalov Maksim Vladimirovich – PhD, Engineer, OOO «Technoap-Mag», Magnitogorsk. Research interests: electric drive, diagnostics, machine learning. E-mail: mkovmgn@gmail.com.

Kornilov Gennady Petrovich – doctor of technical science, associate professor, head of the department «Power supply industrial enterprises» of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: operation modes optimization of power-intensive electrotechnical complexes of ironworks. Phone: (3519)298479. E-mail: Korn_mgn@mail.ru.

Kosenkov Alexey Vasilevich – the deputy chief of central electro technical laboratory (IJTJ) Open joint-stock company «MMK», a direction of explorations: perfection of automatic electric drives of the metallurgical factories. Ph. (3519) 24-10-30. E-mail: kosenkov.av@mmk.ru.

Kovalenko Alexey Yurievich – electrical engineer of central electro-technical laboratory of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Research field: power loss in ironworks power supply. Phone: (3519)242778. E-mail: cetl_kovalenko@mmk.ru.

Kovalenko Yuri Petrovich – chief electrical engineer of factory energetic control system laboratory of central electrotechnical laboratory of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Research field: power supply of ironworks. Phone: (3519)242778. E-mail: kovalenko.yp@mmk.ru.

Krylov Jury Alekseevich – a Dr.Sci.Tech., the professor of chair of the Moscow energetic institute (Technical university), a direction of explorations: an energy conservation in the industry and on installations of housing and communal services tools of the modern variable-frequency electric drive, (495)660-50-19, ya.krylov@energiset.com.

Kudinov Dmitriy Z. – Cand.Sci.(Eng.), Senior Sci. Researcher of Institute of metallurgy of the RAS Ural branch. Phone: (343)2329030. E-mail: d.kudinov@mail.ru.

Leontiev Leopold I. – Dr.Sci.(Eng.), Professor, RAS Actual Member, Chief Sci. Researcher of metallurgy of the RAS Ural branch. Phone: (343)2679124. E-mail: leo@presidium.ras.ru.

Logunova Oksana Sergeevna – doctor of technic, academician of A.M. Prohorov engineering academy, associate professor, professor of Computer science and applied mathematics department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. Phone: 8(3519)298563. E-mail: logunova66@mail.ru.

Lukyanov Sergey Ivanovich – Dr. Sc., professor of electronics and microelectronics, Vice President for Technology Innovation and Investment «MGTU», Magnitogorsk. Research interests: electric drive, diagnostics, machine learning.

Mamleyeva Julia Igorevna – the assistant to chair «the Electrical engineering and electrotechnical systems», a direction of explorations: methods of a reliability augmentation of the automated control systems, skew fields, (3519) 29-84-16.

Morozov Alexey Nikolaevich – the student of group of a TT-06 the SEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I.Nosova». E-mail: rushome87@mail.ru.

Nefedeyev Sergey Pavlovich – the assistant to chair «Materials technology and thermal processing of metals» SEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I.Nosova». E-mail: magoktant74@mail.ru. A direction of researches: welding metallurgical science, coating and related processes, and also, superficial hardening of metals and alloys.

Nikolaev Alexander Arkadyevich – candidate of technical science, senior lecture of the department «Power supply industrial enterprises» of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: static var compensator of ultra high-power electric arc furnaces, electrical modes control systems of electric arc furnaces. Phone: (3519)298479. E-mail: alexniko@inbox.ru.

Omelchenko Evgenie Yakovlevich – Candidate of the technical sciences, associate professor of Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosova. Scientific interests: automatic electric drive, power electronics, control systems. Phone: 8-(3519) 29-68-40. E-mail: momentum2@yandex.ru.

Pachevsky Vladimir M. – Cand.Tech.Sci. head of faculty subdepartment, professor of faculty «Automated equipment of machine-building industry» of Voronezh State Polytechnic University. Phone: (4732) 46-19-77.

Parsunkin Boris Nikolaevich – Doctor of technic, academician of A.M. Prohorov engineering academy professor of Industrial cybernetics and control systems department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. Phone: 8(3519)298432.

Petrjakov Sergey Anatolevich – the post-graduate student of chair of electronics and MITY microelectronics. A direction of explorations: development and exploration of automatic control systems of regulatory type of gauge of plate on vacuum mills. Phone: 8(3519) 29-84-16.

Petrochenko Elena Vasilevna – Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Materials technology and thermal processing of metals» SEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I.Nosova». A direction of researches: working out of structures and the production technology casting from white wearproof pig-iron.

Petuhova Olga Igorevna – a Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «the Electrical engineering and electrotechnical systems», a direction of explorations: the automatic electric drive of cold mills, skew fields. (3519 29-84-16.

Petushkov Mikhail Yuryevich – Candidate of technical science, Associate Professor, Deputy Head of the department of electronics and microelectronics of the Institute of power engineering and automation of FGBOU «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Research field: development of object-oriented starting devices for induction electric drives and diagnostics of electrical equipment. Phone: (3519)235-750. E-mail: petvshkov@magtu.ru.

Poletskov Pavel Petrovich – cand. of sciences, assist. prof. of the department «Metal forming» at the State Education Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-85-25. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Polikarpova Maria – Ph.D. in Economics, assistant professor of the department of mathematical methods in economics of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University after G.I.Nosov». E-mail: marjshka@rambler.ru.

Polyko Pavel Gennadievich – educational wizard of Computer science and applied mathematics department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov/

Postnikova Y. – Ph.D, associate professor of the Russian Classics Department of Magnitogorsk State University. E-mail: ekaterinapost@mail.ru.

Pozhidaev Yuri Alexandrovich – post-graduate department at «the applied mechanics and the schedule» of the state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 29-84-38. E-mail: yoran74@rambler.ru.

Proshunin Denis Viktorovich – Leading design engineer 6 Department of JSC «Agregat», in the Sim. E-mail: kbvt@list.ru.

Radionov Andrey Aleksandrovich – the professor, a Dr.Sci.Tech. managing chair of the automatic electric drive and mechatronics MITY, a direction of explorations: development and perfection of the automated electromechanical systems and industrial mechatronic units, (3519) 22-45-87, RadionovAA@rambler.ru.

Rovnejkov Victor Vasilevich – the chief of thermal power station of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works», a direction of explorations: an energy conservation and ecology on installations of an industrial power engineering. Ph. (3519) 24-77-29, E-mail: rovnejkov.vv@mmk.ru.

Salganik Victor Matveevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the honoured worker of a science of the Russian Federation, managing chair «Metal forming», a direction of explorations: a metal forming, plate rolling automation, (3519) 23-20-85.

Sarlybaev Arthur Azatovich – the engineer of electronics engineering of I class of department of maintenance of an electric equipment of electric-furnace shop of Open Company НПО «Автоматика», a direction of explorations: the automated monitoring systems of availability index of product of the equipment of electroarc furnaces. Ph. (3519)

24-26-18, E-mail: mahmutov@mmk.ru.

Sarvarov Anvar Sabulhanovich – Doctor of technical science, Professor, Director of the Institute of power engineering and automation of FGBOU «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Research field: development of object-oriented starting devices for induction electric drives and diagnostics of electrical equipment. Phone: (3519)235-750. E-mail: anvar@magtu.ru.

Savochkina Love Viktorovna – senior teacher at «the applied mechanics and the schedule» of the state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 29-84-84.

Selivanov Igor Andreevich – Doctor of the technical sciences, professor, honoured scientist of the Russian Federation, the head of Electronics and Microelectronics department of Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov. Scientific interests: automatic electric drive, power electronics, control systems. Phone: 8-(3519) 22-72-79.

Selivanov Igor Andreevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the honoured worker of a science of the Russian Federation, managing chair «Electronics and microelectronics», a direction of explorations: the automatic electric drive of assemblies of continuous production lines, (3519 22-72-79.

Selivanov Igor Andreevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the honoured worker of a science of the Russian Federation, managing chair «Electronics and microelectronics», a direction of explorations: the automatic electric drive of assemblies of continuous production lines, (3519 22-72-79.

Sergeev Sergey Vasiljevich – candidate of technical science, professor of department «Engineering technology mills and instruments» at the State Educational Institution of High Professional Education South Ural State University, branch in Zlatoust. E-mail: sergeev-sv@list.ru.

Sergeev Yury Sergeevich – assistant of department «Electrical equipment and automation of production processes» at the State Educational Institution of High Professional Education South Ural State University, branch in Zlatoust. E-mail: kbvt@list.ru.

Shalamov Viktor Georgievich – doctor of technical science, professor of department «Machines and tools» at the State Educational Institution of High Professional Education South Ural State University, branch in Zlatoust. E-mail: kbvt@list.ru.

Sheshukov Oleg Y. – Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of Laboratory of Institute of metallurgy of the RAS Ural branch. Phone: (343)2679715. E-mail: ferro1960@mail.ru.

Simonova Julia E. – assistant to faculty «Automated equipment of machine-building industry» of Voronezh State Polytechnic University. Phone: (4732) 46-19-77. E-mail: jsim2@bk.ru.

Slobodianskiy Mikhail Gennadievich – Postgraduate student of MOM Sub-Faculty, Magnitogorsk State Technical University, increasing safety of car parts. E-mail: sm-mgn@rambler.ru.

Suspitsyn Evgueni Sergeevich – Ph.D, assistant professor of electronics and microelectronics «MGTU», Magnitogorsk. Research interests: electric drive, diagnostics, machine learning. E-mail: e_sus@mail.ru.

Tkachenko Jury S. – Dr.Sci.Tech., senior lecturer, professor of faculty «Automated equipment of machine-building industry» of Voronezh State Polytechnic University. Phone: (4732) 46-19-77.

Usachev Maksim Valerievich – candidate of technical science of Industrial cybernetics and control systems department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. Phone: 8(3519)298527. E-mail: pk_su@bk.ru.

Usatyi Dmitry Yuryevich – Candidate of technical science, Associate Professor of the department of electronics and microelectronics, Deputy Director for teaching activity of the Institute of power engineering and automation of FGBOU «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Research field: development of object-oriented starting devices for induction electric drives and diagnostics of electrical equipment. Phone: (3519)235-750. E-mail: UsatyiDU@rambler.ru.

Vecherkin Maxim Viktorovich – Candidate of technical science, Associate Professor of the department of physics, Deputy Director scientific work of the Institute of power engineering and automation of FGBOU «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Research field: development of object-oriented starting devices for induction electric drives and diagnostics of electrical equipment. Phone: (3519)235-750. E-mail: max_vecherin@mail.ru.

Vidin Yuri Vladimirovich – professor, Ph.D, Siberian Federal University. Research field: problems of heat-mass exchange. Phone: 8-(391) 249-74-13. E-mail: roman.kazakov@list.ru.

Vusikhis Alexander S. – Cand.Sci.(Eng.), Senior Sci. Researcher of Institute of metallurgy of the RAS Ural branch. Phone: (343)2329072. E-mail: vas58@mail.ru.

Zaitseva Tatyana Borisovna – a candidate of philological sciences, assistant professor of Russian classical literature SEI HPT «Magnitogorsk State University». The area of scientific interest – Russian literature of 19 century, Anton Chekhov. Tel.: 8(3519)422092. E-mail: tbz@list.ru.

Zhumashev K.Zh. – a doctor of technical science, associate professor, «Physico-chemistry of condensed waste multipurpose use» laboratory manager. «Chemico-metallurgical institute in honour of Zh. Abishev», Karaganda, Kazakhstan. E-mail: innovaciya-zh@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.

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы.

Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

I. Рекомендуемый объем статьи – 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) акт экспертизы;
- 2) рецензия;
- 3) сведения об авторах (на английском и русском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения, направление исследований, контактный телефон и E-mail каждого автора;
- 4) реферат на английском и русском языках по следующему образцу (~200 знаков):

UDC 622.27

Ivanov I.I., Petrov P.P. Development of gold-ore deposits extraction systems.

The method of sloping is represented...

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 7 names.

5) библиографический список на английском и русском языках;

6) ключевые слова на английском и русском языках.

II. Текст статьи, сведения об авторах, реферат, библиографический список и ключевые слова представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами Microsoft Word 2003, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата A4.

При наборе статьи в Microsoft Word рекомендуются следующие установки:

- 1) **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- 2) при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками;
- 3) **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). Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата A4 и отдельным файлом в формате *.TIF, *.JPG, с разрешением **300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисуночные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t)=I_{nt}/I_{n0}$ от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования представляется 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. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 29-85-17.

Факс (3519) 22-41-46.

E-mail: vestnik@magtu.ru; rio_mgtu@mail.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).



Плодотворное сотрудничество ЦЭТЛ и УГЭ с энергетическим факультетом и факультетом автоматики и вычислительной техники МГТУ, на базе которых с 1 февраля 2011 г. создан институт энергетики и автоматики, имеет давнюю историю. Специалистами института ежегодно выполняются научно-исследовательские работы, тематика которых связана с совершенствованием автоматизированных электроприводов и систем технологической автоматики, с проблемами энергосбережения, вопросами диагностирования и повышения надежности эксплуатации электрооборудования, оптимизацией режимов систем электроснабжения и другими не менее сложными научными проблемами. Результаты работ всегда заканчиваются практическим внедрением, а специалисты ОАО «ММК», участвующие в разработке научных проблем, имеют возможность повышать свою научную квалификацию.

Обучение в аспирантуре МГТУ и защита диссертаций в настоящее время является реальной и, безусловно, достойной формой повышения квалификации. Достаточно отметить, что с 2003 г. по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы 8 сотрудников ЦЭТЛ и УГЭ защитили кандидатские диссертации. Это В.Н. Маколов (2003 г.), С.Е. Криницын (2004 г.), Д.С. Лукьянов (2005 г.), В.В. Головин (2006 г.), А.Ю. Юдин (2006 г.), С.Е. Мостовой (2011 г.), А.С. Мурзинов (2011 г.), Н.А. Николаев (2011 г.). Особо следует отметить успешные защиты диссертаций Ю.П. Журавлевым (2009 г.) – главным энергетиком ОАО «ММК» и П.В. Шильевым (2010 г.) – в настоящее время – заместителем генерального директора по производству ОАО «ММК», а до этого работником ЦЭТЛ и УГЭ. Таким образом, можно с удовлетворением утверждать, что защиты диссертаций, связанных с решением реальных научно-практических задач, поставленных производством, становятся доброй традицией трудового коллектива Центральной электротехнической лаборатории и других подразделений Управления главного энергетика.

