

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№ 4 (32) декабрь 2010 г.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ, а также 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. 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 ГОУ 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-ichi 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;
К.Ф. Усманова – проф., д-р экон. наук;
Л.Ф. Усманова – проф., д-р юрид. наук.

Ответственные редакторы по научным направлениям экспертных советов ВАК РФ:

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

© ГОУ ВПО «МГТУ», 2010

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

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

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 29-85-17
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 21.12.2010.

Заказ 1000. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

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

№ 4 (32) December 2010

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 chief of engineering department at Moldavia metallurgical plant, D. Sc.

Ken-ichi 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.

K.F. Usmanova – Prof., Doctor of Economics

L.F. Usmanova – Prof., Doctor of Law.

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», 2010

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)29-85-17

Fax: (3519)23-57-60

Email: vestnik@magtu.ru

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

Signed for press 12.21.2010.

Order 1000. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых	5
<i>Калмыков В.Н., Котик М.В., Пергамент В.Х.</i> Разлет осколков при увеличенном заполнении скважин зарядом ВВ.....	5
<i>Петухов В.Н., Лимарев М.С., Южакова О.А.</i> Исследование влияния элементного состава и строения химических соединений на эффективность их действия при флотации углей.....	10
<i>Джиоева А.К., Паук Л.Г.</i> Разработка методики расчета числа и общей длины пробуренных скважин	12
<i>Першин Г.Д., Уляков М.С.</i> Обоснование способов подготовки к выемке блочного природного камня высокой прочности.....	14
<i>Медяник Н.Л.</i> Исследование продуктов взаимодействия молекул реагента РОЛ с ионами цинка и меди (II) методами ИК-Фурье- и масс-спектрометрии	20
Металлургия черных, цветных и редких металлов	26
<i>Сулейманов М.Г., Тимиргалеева Л.Ш., Радуль М.А., Шакирова А.К.</i> Оценка и учет промышленного риска при проектировании металлургических предприятий	26
<i>Сибатагуллин С.К., Харченко А.С., Чевычелов А.В., Колосов А.В., Гостенин В.А., Пишинограев С.Н.</i> Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи	28
<i>Сибатагуллин С.К., Иванов А.В., Решетова И.В.</i> Применение органических связующих компонентов в процессе агломерации железорудного сырья	30
Литейное производство	33
<i>Вдовин К.Н., Кольга М.А.</i> Омеднение проволоки	33
<i>Чернов В.П., Насонов П.Н.</i> Влияние скорости охлаждения на кристаллизацию оксидных сплавов.....	35
Обработка металлов давлением	38
<i>Куницын Г.А., Голубчик Э.М., Песин А.М., Салганик В.М., Пустовойтов Д.О.</i> Исследование и моделирование объёмного течения металла при холодной прокатке узкой ленты	38
<i>Железков О.С., Семашко В.В.</i> Совершенствование конструкции инструмента для обрезки граней головок клеммных болтов.....	41
Материаловедение и термическая обработка металлов	44
<i>Десятченко Л.Д., Маяченко Е.П., Корнилов В.Л., Буданов А.П.</i> Оценка ресурсов процесса термообработки рулонов холоднокатаного металла	44
<i>Романенко Д.Н., Гадалов В.Н., Рагулина Л.Г., Трепаков А.В., Ляхов А.В.</i> Нитроцементация стальных изделий в пастообразном карбюризаторе с нагревом в нейтральных соляных ваннах	48
<i>Жиркин Ю.В., Пузик Е.А.</i> Аналитическо-экспериментальное определение параметров ЭГД-смазки в подшипниках качения опор рабочих валков стана 2000 горячей прокатки.....	52
Стандартизация, сертификация и управление качеством. Методы контроля.....	57
<i>Закиров Д.М., Осипов Д.С., Гун И.Г., Сабадаш А.В., Овчинников С.В., Майстренко В.В., Мезин И.Ю.</i> Применение логики антонимов для комплексного анализа качества автомобильного крепежа	57
<i>Клочков Ю.С.</i> Методика оценки уровня качества производственного процесса	62
<i>Разыграев А.Н.</i> Разработка оптимизированного преобразователя для ультразвукового контроля сварных соединений методом тандем	64
<i>Казанцев А.Г., Караев А.Б., Саньков Н.И., Сугирбеков Б.А.</i> Об измерении твердости переносными твердомерами ударного действия	70
Энергетика металлургии, энергосбережение и теплоэнергетика	77
<i>Панова Е.А., Григорьева М.В., Малафеев А.В., Буланова О.В., Игуменцев В.А.</i> Анализ токов и напряжений в режимах несимметричных коротких замыканий в сетях 110–220 кВ Магнитогорского энергоузла	77
<i>Нешпоренко Е.Г.</i> Экспериментальное исследование гарниссажного режима регенерации теплоты через перфорированное ограждение установок.....	81
Математические методы в экономике.....	85
<i>Иванова Т.А.</i> Исследование возможности применения алгоритмов сжатия данных к прогнозированию направления движения курсов валют	85
Рефераты	89
Reports.....	93
Сведения об авторах.....	97
The information about the authors	100

CONTENT

Mining.....	5
<i>Kalmykov V.N., Kotik M.V., Pergament V.H.</i> Scattering of splinters at the increased filling of hole blast with a charge of explosives.	5
<i>Petuhov V., Limarev M., Ujakova O.</i> The influence of elemental composition and structure of chemical compounds on their efficiency during coals floatation.	10
<i>Pauk L.G., Dzhioeva A.K.</i> Development of the calculation procedure of the number and total length of boreholes. .	12
<i>Pershin G.D., Ilyakov M.S.</i> Substantiation of the ways to prepare block strong natural stone for excavation.	14
<i>Medyanik N.L.</i> Study of reaction product of ROL reagent molecules with zinc and copper (II) ions using IR-Fourier method and chromatography-mass spectrometry.	20
Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals	26
<i>Sulejmanov M.G., Timirgaleeva L.S., Radul M.A., Shakirova A.K.</i> Estimation and registration of industrial risk at metallurgical enterprises design.	26
<i>Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Chevychelov A.V., Kolosov A.V., Gostenin V.A., Pishnograev S.N.</i> The influence of coke nut on filtration of melting liquid products in the hearth of the blast furnace.	28
<i>Sibagatullin S.K., Ivanov A.V., Reshetova I.V.</i> Application of organic binding components in sintering process of iron-ore raw material.	30
Foundry Engineering.....	33
<i>Vdovin K.N., Kolga M.A.</i> Wire coppering.	33
<i>Chernov V.P., Nasonov P.N.</i> The influence of cooling rate on crystallization of oxide alloys.	35
Pressure Treatment of Metals	38
<i>Kunitsin G.A., Golubchik E.M., Pesin A.M., Salganik V.M., Pustovoitov D.O.</i> Research and modeling of 3D material flow in cold rolling of narrow strip.	38
<i>Zhelezkov O.S., Semashko V.V.</i> Development of construction of instruments for trimming of verges the head of terminal screw-bolts.	41
Material Science and Thermal Metal Treatment.....	44
<i>Devyatchenko L.D., Mayachenko E.P., Kornilov V.L., Budanov A.P.</i> Estimation of resources of heat treatment process of cold-rolled coils.	44
<i>Romanenko D.N., Gadalov V.N., Ragulina L.G., Trepakov A.V., Ljahov A.B.</i> Neutral salt-bath hardening of steel items in a slurred carburizer.	48
<i>Zhirkin Y.V., Puzik E.A.</i> Analytical and experimental method used for parameters definition in rolling bearings of the supports of working rollers in the hot rolling mill 2000.	52
Standardization, Certification and Quality Management. Controll Methods.....	57
<i>Zakirov D.M., Osipov D.S., Gun I.G., Sabadash A.V., Ovchinnikov S.V., Maystrenko V.V., Mezin I.Yu.</i> The usage of antonym logic for the complex quality of automotive fasteners.	57
<i>Klochkov Y.S.</i> Method of quality level evaluation of the manufacturing process.	62
<i>Razygraev A.N.</i> Development of the optimized probe for the ultrasonic testing of welding joins by a tandem method.	64
<i>Kazantsev A.G., Karaev A.B., Sankov N.I., Sugirbekov B.A.</i> Hardness measuring with portable impact hardness testing machines.	70
Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat Power	77
<i>Panova E.A., Grigoryeva M.V., Malafeyev A.V., Bulanova O.V., Igumenshev V.A.</i> Currents and voltages analysis in terms of Magnitogorsk industrial electric power supply system 110–220 kV networks out-of-balance short circuit operating conditions.	77
<i>Neshporenko E.G.</i> Experimental research of garnissage mode of regeneration of heat through the punched protection of installations.	81
Mathematics Methods in Economy	85
<i>Ivanova T.A.</i> Research on data compression algorithm application to forecasting currency exchange rate trend.	85
Рефераты	89
Reports.....	93
Сведения об авторах.....	97
The Information about Autors	100

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.235.2

Калмыков В.Н., Котик М.В., Пергамент В.Х.

РАЗЛЕТ ОСКОЛКОВ ПРИ УВЕЛИЧЕННОМ ЗАПОЛНЕНИИ СКВАЖИН ЗАРЯДОМ ВВ

При взрывных работах с применением скважинных зарядов безопасные по разлету осколков расстояния (r_p , м) определяются по Единым Правилам Безопасности при Взрывных Работках (ЕПБ ВР) [1] с использованием соотношения, учитывающего коэффициенты заполнения: длины скважины (H_c) зарядом ВВ ($\eta_z = l_z/H_c$) и надзарядной части скважины забойкой [$\eta_{заб} = h_{заб}/(H_c - l_z)$], а также крепость пород (f) по М.М. Протоdjяконову, диаметр скважины (d) и междускважинное расстояние (a):

$$r_p = 1250 \cdot \eta_z \cdot \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{заб}}} \cdot \frac{d}{a}. \quad (1)$$

Из (1) следует что при заполнении забойкой всей надзарядной части скважины ($\eta_{заб} = 1$) радиус разлета будет в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем при отсутствии в ней забойки ($\eta_{заб} = 0$).

В практике взрывного рыхления обычно используются скважинные заряды, длина которых не превышает 60–70% длины скважины и до 4 раз больше длины забойки. В работе рассматривается относительно редкий случай, когда длина заряда значительно (в 30–50 раз) превышает длину забойки, заполняющей лишь часть надзарядного участка скважины. Относительная длина заряда в заполненной (зарядом и забойкой) части скважины оказывается достаточно велика [$\eta_z = l_z/(l_z + h_{заб}) = 0,75 - 0,98$], а в надзарядной части скважины имеется свободная зона длиной $l_{св} = x \cdot h_{заб}$, в результате чего коэффициент заполнения этой части скважины забойкой [$\eta_{заб} = h_{заб}/(h_{заб} + l_{св}) = (1+x)^{-1}$ при $x > 0$] оказывается меньше единицы, но больше нуля. Рассматриваемый случай может проявиться как при технологических нарушениях (переполнения скважин при зарядании, нарушение норм забойки и др.), так и быть предусмотренным исходным проектом работ.

При этом взрыв одного и того же количества ВВ с одними и теми же длинами заряда и забойки в скважинах разной глубины, но одинакового диаметра, в случае более глубокой скважины, имеющей свободное надзарядное пространство ($l_{св} = x \cdot h_{заб}$) над забойкой (рис. 1, в) или между зарядом и забойкой (рис. 1, б), согласно [1] может дать больший разлет осколков, чем взрыв целиком заполненной скважины меньшей глубины (рис. 1, а).

Для случая, когда надзарядная часть заполнена забойкой лишь частично, соотношение (1) может быть представлено в виде

$$r_p = 1250 \cdot \eta_z \cdot \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{заб}}} \cdot \frac{d}{a} = 1250 \cdot z \cdot \sqrt{f \cdot d/a}, \quad (2)$$

где множитель z учитывает длину заряда (l_z), высоту столба забойки ($h_{заб}$), длину свободной (от заряда и забойки) части в надзарядной зоне скважины ($l_{св} = h_{заб} \cdot x$):

$$z = \frac{\eta_z}{\sqrt{1 + \eta_{заб}}} = \frac{n_z}{1 + x \cdot (1 - n_z)} \cdot \sqrt{\frac{x+1}{x+2}}. \quad (3)$$

В случае, когда $x = 0$, имеем $z = n_z/\sqrt{2}$.

Выразив коэффициенты заполнения: зарядом всей длины скважины $\eta_z = l_z/H_c = l_z/[l_z + h_{заб} \cdot (x+1)] = n_z/[1 + x \cdot (1 - n_z)]$ и забойкой надзарядной её части $\eta_{заб} = h_{заб}/(H_c - l_{св}) = (1+x)^{-1}$, через относительную длину ($x = l_{св}/h_{заб}$) свободной части и заряда n_z (в длинах забойки) для заполненной части скважины [$n_z = l_z/(l_z + h_{заб}) = (1 + h_{заб}/l_z)^{-1}$], имеем:

$$r_p = 1250 \cdot \frac{n_z}{1 + x \cdot (1 - n_z)} \cdot \sqrt{\frac{x+1}{x+2}} \cdot \sqrt{f \cdot d/a}. \quad (4)$$

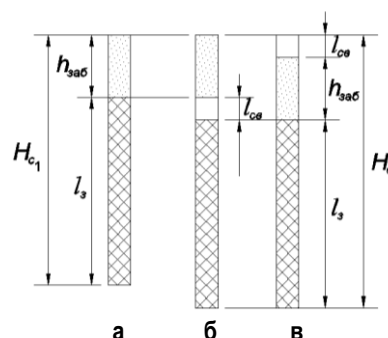


Рис. 1. Элементы конструкции скважинного заряда:

$$x = l_{св}/h_{заб}; k = l_z/h_{заб}; n_z = l_z/(l_z + h_{заб}) = (1+k)^{-1};$$

$$\eta_z = l_z/H_c = [1 + (n_z - 1)(1+x)]^{-1};$$

$$\eta_{заб} = h_{заб}/(h_{заб} + l_{св}) = (1+x)^{-1}$$

Анализ (4) свидетельствует о наличии некоторой области значений $x > 0$ и длин свободной части, для которых разлет осколков (r_p оказывается больше, чем для более короткой скважины, целиком заполненной ($x=0$) зарядом и забойкой тех же длин. Максимум относительного превышения расстояний (рис. 2) будет тем выше, чем больше отношение длин заряда и забойки ($k=l_z/h_{заб}$). Кроме того, при росте этого отношения увеличивается и ширина области значений x и $l_{св}$, для которых сохраняется такое превышение (см. рис. 2). В частности, при $k=4; 5,67; 9; 19$ и 49 для скважин с $x=0,2; 0,5; 1,2$ и $3,5$ максимальные относительные превышения ($K_y^{\max} = r_{p(x>0)}/r_{p(x=0)}$) радиусов разлета (по сравнению со случаем $x=0$) составляют 1,008; 1,02; 1,05; 1,11 и 1,2, а зависимости (1) и (4) для $x=0$ имеют вид:

$$r_{p,x=0} = (1250/\sqrt{2}) \cdot n_z \cdot \sqrt{f \cdot d/a} = 880 \cdot n_z \cdot \sqrt{f \cdot d/a}. \quad (5)$$

При увеличении общей длины скважины на величину $l_{св} = h_{заб} \cdot x$ и сохранении начальных длин заряда и забойки зависимость (3) представляется в виде:

$$r_{p,x} = r_{p,x=0} \cdot K_y, \quad (6)$$

где $K_y = r_{p,x}/r_{p,x=0}$ – коэффициент относительного (по сравнению с заполненной зарядом и забойкой скважиной) изменения радиуса разлета осколков для скважин с частичным заполнением забойкой надзарядной части при тех же абсолютных размерах $l_z, h_{заб}, a$ и d .

$$K_y = r_{p,x}/r_{p,x=0} = \sqrt{1 + x/(x+2)} \cdot [1 + x \cdot (1-n_z)]^{-1}. \quad (7)$$

Имеется определенное значение $x_{K_y^{\max}}^*$, при котором достигается максимальная величина $K_y = K_y^{\max}$, а также целая область значений $0 < x < x_{K_y^{\max}}^*$, в которой коэффициент относительного изменения разлета превышает единицу ($K_y > 1$). Ширина этой области и величина $x_{K_y^{\max}}^*$ возрастают при увеличении отношения длин заряда и забойки, и для случаев $k=4; 5,67; 9; 19$ и 49 имеем значения $x_{K_y^{\max}}^* = 0,2; 1; 2,4; 2,8$ и 19 .

Зависимость максимальных приращений (к единице) коэффициентов изменения радиусов разлета осколков ($\Delta K_y^{\max}$) для разных значений $n_z = l_z/(l_z + h_{заб}) = (1 + h_{заб}/l_z)^{-1}$ и соответствующих им отношений $k=l_z/h_{заб}$ представляется как сумма единицы и максимального относительного приращения, отображаемого экспоненциальной функцией относительной длины заряда в заполненной части скважины (рис. 3):

$$K_y^{\max} = 1 + \Delta K_y^{\max}, \quad (8)$$

где $\Delta K_y^{\max} = 0,008 \cdot e^{17,74 \cdot (n_z - 0,8)} \leq (\sqrt{2} - 1)$.

Из анализа (4) и (7) видно, что при $n_z \geq 0,8$ имеет место увеличение радиуса разлета ($K_y > 1$) для глубокой скважины по сравнению с короткой, но целиком заполненной зарядом и забойкой тех же длин. Рост величины K_y до $K_y^{\max}$ идет до определенного значения $x = x^*$, а величина $K_y^{\max}$ увеличивается с ростом относительной длины заряды в заполненной части n_z (см. рис. 2), ограничиваясь верхним пределом ($\Delta K_y^{\max} = \sqrt{2} - 1$).

Предельное значение $K_y^{\max}$ увеличивается с ростом

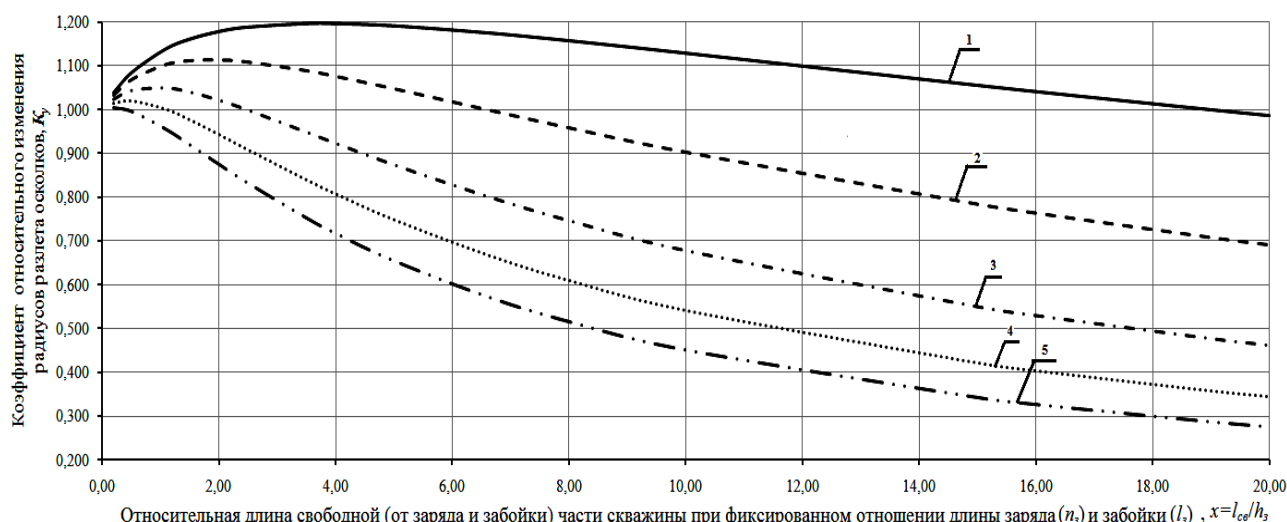


Рис. 2. Коэффициент относительного (по сравнению с целиком заполненной скважиной) изменения радиусов разлета осколков ($K_y = r_{p,x}/r_{p,x=0}$) в зависимости от относительной длины ($x = l_{св}/h_{заб}$) свободной части в надзарядном участке скважины при фиксированных относительных длинах заряда и забойки

[$n_z = l_z/(l_z + h_{заб}) = (1 + h_{заб}/l_z)^{-1} = const$] в заполненной части скважины (линии 1, 2, 3, 4, 5 для $n_z=0,98; 0,95; 0,90; 0,85; 0,80$)

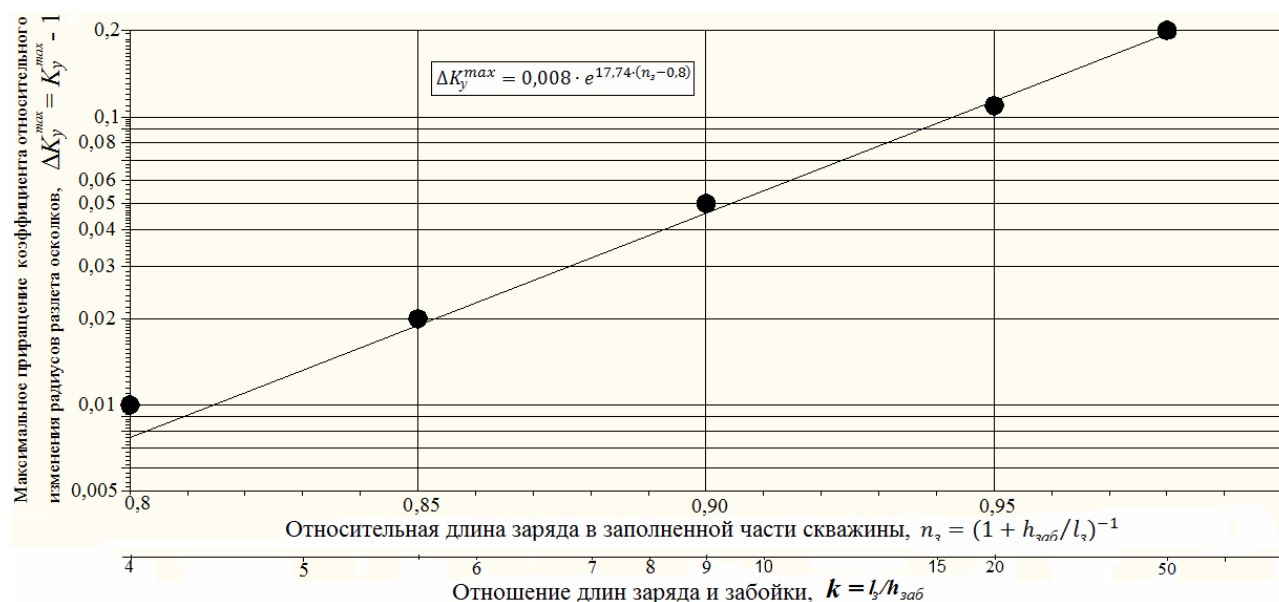


Рис. 3. Максимальное относительное приращение $\Delta K_y^{\max} = K_y^{\max} - 1$ радиуса разлета осколков в зависимости от относительной длины заряда $n_3 = (1 + h_{\text{заб}}/l_3)^{-1}$ в заполненной части скважины при значениях $x^* = l_{\text{св}}^*/h_{\text{заб}}$, соответствующих максимуму K_y для заданного n_3

n_3 и приближается к пределу $\sqrt{2} - 1$. Предельное значение $x = x^*$, при котором достигается величина $K_y^{\max}$, отображается степенной функцией относительной длины заряда в заполненной части скважины (рис. 4):

$$x_{K_y=\max}^* = 4,35 \cdot n_3^{13,7}. \quad (9)$$

Также увеличивающаяся с ростом n_3 предельная относительная длина ($x_{K_y \geq 1}^{\max}$) свободной части надзарядного участка, для которой ещё выполняется условие $K_y > 1$, может быть представлена (рис. 5) экспоненциальной зависимостью относительной длины заряда (n_3) в заполненной части скважины.

$$x_{K_y \geq 1}^{\max} = 0,19 \cdot e^{25,5(n_3 - 0,8)}. \quad (10)$$

Точками на рис. 3–5 показаны результаты, полученные на основе (7) для выбранных значений $n_3 = 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 0,98$, а линиями – зависимости, соответствующие аналитическим приближениям (8), (9) и (10).

В соответствии с требованиями ЕПБ ВР полученные расчётные значения должны округляться до ближайших больших, кратных 50 м, и полученные результаты приниматься в качестве безопасных. При наличии в скважине участка, свободного от заряда и забойки ($x > 0$; $l = x \cdot h_{\text{заб}}$), принимаемые безопасные расстояния в случае $n_3 > 0,8$, $x > 0$ и $K_y^{\max} > 1$ иногда отличаются от значений для заполненной ($x=0$) скважины более чем в $K_y^{\max}$ раз (рис. 6). Например, для $x=0$ (скважина заполнена зарядом и забойкой) при относительной длине заряда $n_3 = 0,98$ для $f = 7$ и $a/d = 45,2$ расчетное расстояние $r_{p,x=0} = 340$ м округляется до безопасного значения 350 м; а при наличии

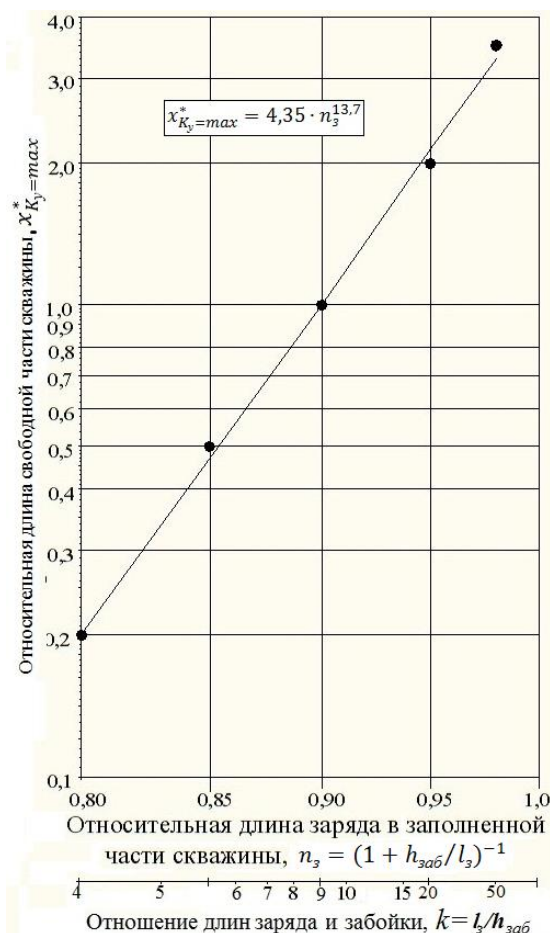


Рис. 4. Зависимость относительных длин заряда и свободной части скважины ($x_{K_y=\max}^*$) при условии достижения $K_y^{\max}$

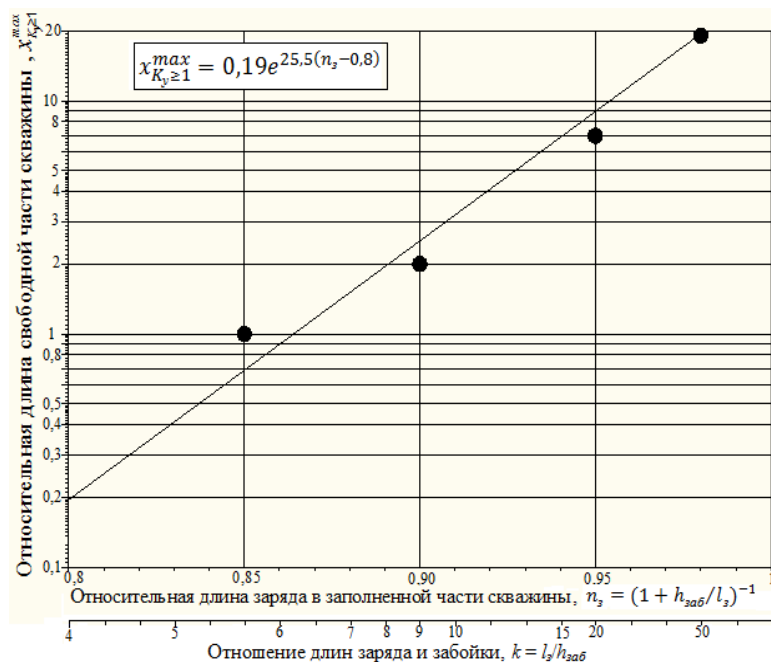


Рис. 5. Зависимость предельных (для $K_y \geq 1$) относительных длин свободной части скважины ($x_{K_y \geq 1}^{max} = l_{св}^* / h_{заб}$) и длины заряда $n_3 = (1 + h_3 / l_3)^{-1}$ в её заполненной части

в скважине свободной части $l_{св}^* = 3,5h_{заб}$ для тех же длин заряда и забойки величина K_y^{max} составит 1,196, и полученное расчетное расстояние $r_{p, x=x^*} = 407$ м в соответствии с правилами округления увеличивается до 450 м. То есть относительная разница округленных безопасных расстояний составит 1,29 раз, превышая расчётное значение $K_y=1,196$.

Разница округленных, безопасных по разлету осколков расстояний, при наличии в скважине свободного пространства над зарядом (или забойкой) и его отсутствии, может достигать 100 м при тех же длинах заряда и забойки (например, для $n_3=0,98$, $K_y^{max}=1,196$, $x^*=3,5$; см. рис. 6, см. таблицу).

Сравнение принимаемых (округленных) безопасных расстояний (линии – 2, 3, 4, см. рис. 6) при разных относительных длинах ($0 < x^* \leq l_{св}^* / h_{заб}$) свободной части надзарядного участка с зонами разлета для скважин, целиком заполненных зарядом и забойкой (линия 1), свидетельствует, что при более глубоких скважинах разлет осколков в расчетах по указаниям [1] оказывается большим, чем для взрывов скважин меньшей глубины с такими же длинами заряда и забойки. Результаты расчетов для случаев $n_3=0,80-0,98$ отражены в сводной таблице.

Представленные результаты кажутся несколько парадоксальными: разлет от взрывов более глубоких скважин оказывается большим, чем от коротких, где такой же длины заряд под таким же столбом забойки оказывается ближе к свободной поверхности.

Похожее явления отмечается для стрелкового оружия и артиллерийских орудий, когда скорость пуль и снарядов продолжает увеличиваться при росте длины ствола уже после достижения максимума и последующего спада давления газов в стволе. В частности, приведенные в [2] данные крешерных измерений давлений и скоростей движения пуль, массами

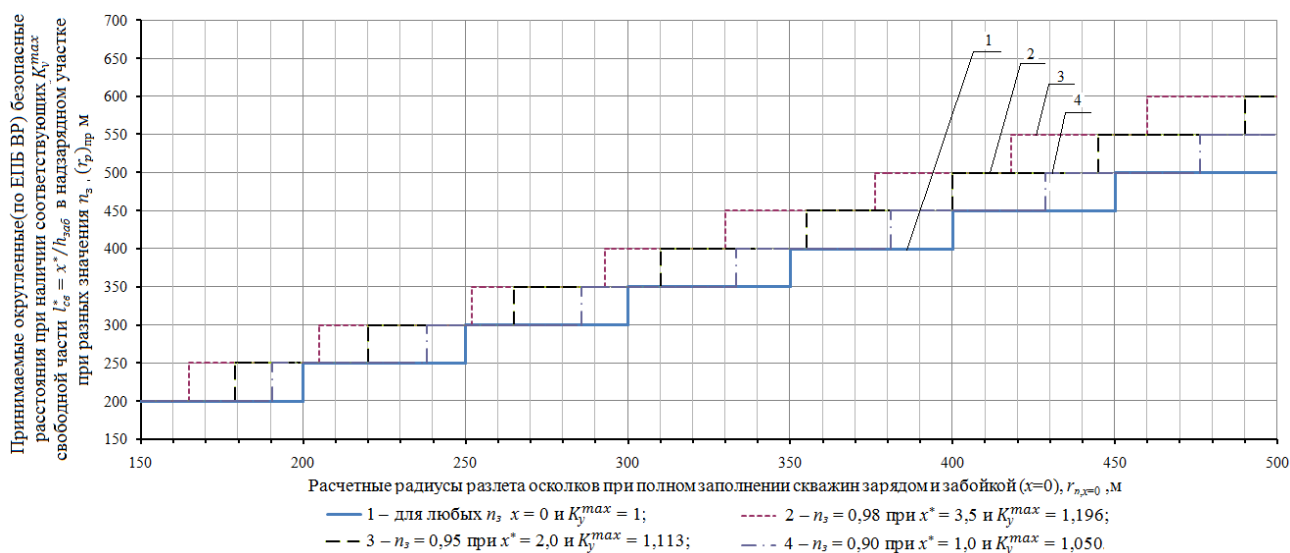


Рис. 6. Принимаемые безопасные расстояния $(r_p)_{np}$ для максимальных увеличений (K_y^{max}) зон разлета при разных относительных длинах свободной части ($x^* = l_{св}^* / h_{заб}$) и фиксированных значениях длин заряда в заполненной части $n_3 = (1 + h_{заб} / l_3)^{-1}$ скважин в зависимости от расчетного безопасного расстояния $r_{p, x=0; n_3}$ при заполненной до устья ($x = 0$) скважине

9,6 и 2,65 г, в цилиндрических стволах ($L=0,68$ м) разных калибров (7,62 и 5,4 мм) свидетельствуют, что нарастание давления (до $P_{\max} = 2850$ и 1300 кг/см²) происходит на участках длиной около 9 калибров. При этом скорости пуль достигали значений $V_{\max P} = 375$ и 130 м/с соответственно для калибров 7,62 и 5,4 мм. При дальнейшем движении пули до дульного среза увеличение её скорости отображается (наша аппроксимация данных [2] для $l/d > 9$) соотношением

$$V_{\text{вылет}} = V_{\max P} [1 + 1,4745 \lg(l/9d)], \quad (11)$$

где $V_{\max P}$ – скорость пули на границе достижения максимума давления ($l/d \approx 9$); для патронов калибров 7,62 и 5,4 мм $V_{\max P} = 375$ и 130 м/с.

В отличие от артиллерийского и стрелкового оружия, когда удлинение ствола обеспечивает увеличение скорости вылета и дальности полета пули [2], при взрывах в скважинах по мере удаления заряда от дневной поверхности скорость вылета и дальность разлета осколков уменьшаются вследствие того, что забойка, заполняющая надзарядную часть скважины, не является монолитным образованием, порода в районе устьев скважин отличается от снаряда, запирающего канал ствола, дополнительный участок скважины над забойкой увеличивает потери энергии на трение при выбросе забойки из скважины, а в случае воздушного промежутка между зарядом и забойкой уменьшается давление в зарядной камере.

Отмеченное завышение радиуса разлета осколков, хотя и обеспечивает дополнительный резерв безопасности, но может сопровождаться организационными трудностями при проведении взрывов. Поэтому для длин зарядов, превышающих 4 длины забойки, когда в надзарядном пространстве имеется свободная часть, для исключения этого завышения предлагается принимать длину скважины меньше фактической, а именно равной суммарной длине заряда и забойки, полагая коэффициент заполнения забойкой надзарядной части равным единице, определяя безопасное расстояние для такой укороченной скважины в соответствии с указаниями ЕПБ ВР при этом случае.

Уменьшение скорости осколков вблизи устьев скважин при удалении заряда от свободной поверхности учитывается в разработанной программе «Разлет Осколков Взрыва» (РОВ) [3], используемой рядом проектных и производственных организаций. Пользователь имеет возможность сравнивать полученные по [1] и [3] радиусы разлета осколков в этом направлении. При этом в программный расчет могут быть введены полученные по данным практики фактические углы вылета

Относительные величины элементов конструкции скважинного заряда (длин заряда ВВ, забойки и свободного участка в надзарядной части скважины) и коэффициенты увеличения зон разлета осколков для скважин с частично свободным надзарядным пространством

Относительная длина заряда в заполненной части скважины $n_z = (1 + h_{\text{заб}} / l_z)^{-1} = (1 + k)^{-1}$	0,98	0,95	0,9	0,85	0,8
Относительная длина заряда в длинах забойки $k = l_z / h_{\text{заб}} = n_z / (1 - n_z)$	49	19	9	5,67	4
Длина (в длинах забойки) свободной части скважины, при которой достигается $K_y^{\max}$; $x_{K_y^{\max}}^* = l_{\text{св}}^* / h_{\text{заб}}$	3,4	2,15	1,03	0,47	0,2
Коэффициент заполнения забойкой надзарядной части скважины при $K_y^{\max}$, $(\eta_{\text{заб}})$	0,222	0,333	0,5	0,6	0,833
Относительная (в длинах забойки) длина заряда в общей длине скважины $\eta_z = l_z / H_c = [1 + (n_z - 1)(1 + x)]^{-1}$	0,916	0,863	0,818	0,73	0,6
Максимальное значение коэффициента увеличения разлета $K_y^{\max}$	1,2	1,11	1,05	1,02	1
Предельное значение относительной длины свободного участка скважины $x_{\max}$, при котором выполняется условие $K_y > 1$, $x_{\max \text{ для } K_{y \geq 1}}^*$ (*)	$\frac{18,7}{19}$	$\frac{8,7}{7}$	$\frac{2,43}{2}$	$\frac{0,68}{1}$	$\frac{0,19}{0}$
Коэффициент заполнения зарядом всей длины скважины для заданных $k = l_z / h_{\text{заб}}$ и $x = x_{\max \text{ для } K_{y \geq 1}}$, $\eta_z = l_z / (l_z + h_{\text{заб}} + l_{\text{св}})$	0,710	0,704	0,879	0,739	0,771
Коэффициент заполнения забойкой надзарядной части скважины для заданных k при $x = x_{\max \text{ для } K_{y \geq 1}}$, $h_{\text{заб}} / (h_{\text{заб}} + l_{\text{св}})$	0,05	0,125	0,333	0,5	1,0

* Числитель – расчет по (10); знаменатель – из расчетов по указаниям ЕПБ ВР (см. рис. 2).

осколков в сторону устьев скважин. Как правило, эти углы бывают значительно больше, чем предусмотренное в [1] значение 45° , принятие которого обеспечивает дополнительный резерв безопасности. Кроме того, программа позволяет учитывать разлет в направлении боковой свободной поверхности, который в ряде случаев оказывается большим, чем в направлении устьев скважин. При этом получают не вытекающие из рекомендаций ЕПБ ВР, отличающиеся друг от друга размеры осколкоопасных зон в направлении боковой поверхности уступа и в тыл блока. Заложенные в программу принципы определения приведенного заглубления для удлиненного заряда, при двух свободных поверхностях массива, могут быть использованы и при расчетах действия воздушных волн взрывов заглубленных зарядов.

Список литературы

1. Единые правила безопасности при взрывных работах (ПБ 13-407-01) // Безопасность при взрывных работах. Вып. 1. Сер. 13. М.: ГУП НТЦ по безопасности в промышленности ГГТН, 2001. 244 с.
2. Пономарев П.Д. Прикладная баллистика для стрелка. М., 1935. 172 с.
3. Программа «Разлет Осколков Взрыва (POB)». Рег. номер 2007612351 // RU ОБПБТ. 2007. № 3(60).

Bibliography

1. Uniform safety rules at explosive works (SR 13-407-01) // Safety at explosive works. Release 1. A series 13. M.: Scientific and technological centre State Unitary Enterprise on safety in industry GGTN, 2001. 244 p.
2. Ponomarev P.D. Applied ballistics for the marksman. M., 1935. 172 p.
3. The Program «Scattering of Splinters of Explosion (DITCH)». Reg. number 2007612351 // RU ОБПБТ. 2007. № 3 (60).

УДК 622.765.063:622.33

Петухов В.Н., Лимарев М.С., Южакова О.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ДЕЙСТВИЯ ПРИ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ

На коксование поступают угли после предварительного их обогащения до содержания минеральных веществ в концентратах в пределах 7–9%. При добыче каменных углей содержание тонких классов менее 0,5 мм непрерывно увеличивается и достигает 25–35% от рядового угля. Для обогащения тонких классов углей наиболее эффективным методом обогащения является флотация, которая в связи с использованием дорогостоящих реагентов значительно увеличивает себестоимость концентратов. Используемые флотационные реагенты являются, как правило, отходами нефтепереработки непостоянного группового химического состава, что приводит не только к высокому их расходу, но и к значительным потерям органической массы угля с отходами флотации. Особенно существенные потери органической массы углей наблюдаются в случае обогащения углей с высокой минерализацией органической массы.

Для повышения эффективности флотации углей в

направлении повышения извлечения горючей массы в концентрат при одновременном снижении расхода реагентов собирателей ищутся новые реагенты на основе исследования механизма их действия.

Известно использование новых реагентов собирателей и комплексных реагентов, содержащих в групповом химическом составе α -олефины [1] или кремнийорганические кислородсодержащие соединения [2, 3]. Однако их незначительные ресурсы и дефицитность не позволяют использовать предлагаемые реагенты на углеобогащательных фабриках.

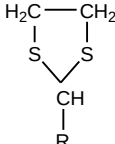
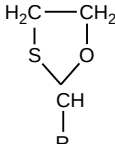
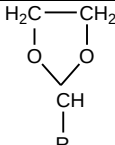
Исследованиями установлено, что флотационная активность химических соединений при флотации углей определяется структурными особенностями молекул и величиной σ -электронной плотности на полярном атоме.

Так, в случае использования в качестве комплексного реагента циклических соединений с различными гетероатомами установлено, что наиболее низкую флотационную активность проявляют 1,3-дитианы.

При расходе алкилзамещенных 1,3-дитианов в количестве 0,6–0,8 кг/т выход концентрата изменяется с 73 до 76%.

Замена одного атома серы в молекуле циклического соединения на атом кислорода приводит к повышению эффективности действия реагента. Так, например, использование 1,3-оксатиолонов, имеющих во втором положении молекулы от 3 до 6 углеводородных групп, позволило повысить выход флотоконцентрата с 73–76 до 78–81% по сравнению с алкилзамещенными 1,3-дитианами (см. таблицу). При этом расход 1,3-оксатиолонов снижается с 0,6–0,8 до 0,5–0,52 кг/т, а зольность флотоконцентрата повышается с 5–6 до 5,8–6,1%.

Влияние полярного атома химического соединения на показатели флотации

N п/п	Комплек- сный реагент	Структурная формула		σ-электронная плотность на полярном атоме	Показатели флотации		
					γ _к , %	A _к ^d , %	Расход, кг/т
1	1,3-дитиа- ны		R – ал- килради- кал (3–6 атомов углерода)	0,0422–0,0448	73–76	5–6	0,6–0,8
2	1,3-оксатио ланы		R – ал- килради- кал (3–6 атомов углерода)	S=0,042–0,044 O=0,258–0,264	78–81	5,8–6,1	0,5–0,52
3	1,3-диокса- ланы		R – ал- килради- кал (3–6 атомов углерода)	0,2589–0,2645	80–85	6,2–6,4	0,5–0,52

Одной из причин повышенной эффективности действия 1,3-оксатиолонов является повышение σ -электронной плотности на атоме кислорода до 0,258–0,264 по сравнению с электронной плотностью на атоме серы (0,042–0,044). В связи с этим повышается энергия адсорбции 1,3-оксатиолонов на положительно заряженных центрах угольной поверхности и, как следствие, увеличивается ее гидрофобизация.

Применение в качестве комплексного реагента алкилпроизводных 1,3-диоксаленов позволило получить наиболее высокие показатели флотации для исследованных гетероциклических соединений. Выход концентрата при равном расходе реагентов (0,5–0,52 кг/т) выше на 2–4% по сравнению с 1,3-оксатиоланами (см. таблицу). Это объясняется увеличением суммарной σ -электронной плотности на кислородных атомах молекул алкилпроизводных 1,3-диоксалана на 0,2154 долей единицы, что определяет увеличение дипольного момента молекул, их адсорбционную способность и гидрофобизацию поверхности угольных частиц.

Установлено, что изостроение углеводородного радикала приводит к улучшению флотуемости углей. Применение 2-изопропил-1,3-оксатиолана позволяет повысить выход флотоконцентрата на 3,5–5,5% в зависимости от расхода реагента по сравнению с использованием 2-пропил-1,3-оксатиолана. При этом алкилпроизводные 1,3-диоксалана с изостроением углеводородного радикала имеют более высокую флотационную активность. Применение 2-изопропил-1,3-диоксалана при флотации угля позволило повысить выход концентрата на 14–20% по сравнению с 2-изопропил-1,3-оксатиолоном при равном расходе реагентов (рис. 1).

Исследованием установлено, что повышение длины углеводородного радикала оказывает положительное влияние на флотационную активность химических соединений. Применение 2-гексил-1,3-оксатиолана в качестве комплексного реагента при флотации угля с зольностью 13,7% позволило повысить выход флотоконцентрата примерно на 27–35% по сравнению с 2-пропил-1,3-оксатиолоном и на 2% по сравнению с 2-бутил-1,3-оксатиолоном при общем расходе реагентов 0,4–0,5 кг/т (см. рис. 1).

Одним из важных показателей процесса флотации является селективность действия реагентов, которую можно оценить коэффициентом селективности, определяемым по формуле:

$$\eta_{\text{сел}} = \frac{E_{\text{г.м.}}}{E_{\text{м.ч.}}},$$

где $E_{\text{г.м.}}$ – извлечение горючей массы в концентрат, %; $E_{\text{м.ч.}}$ – извлечение минеральной

части в концентрат, %.

Установлено, что наиболее высокие показатели по селективности действия достигаются при применении 2-изопропил-1,3-оксатиолана в случае исследования химических соединений одинакового строения и количества углеводородных групп в молекуле. Коэффициент селективности 2-изопропил-1,3-оксатиолана значительно выше по сравнению с 2-изопропил-1,3-диоксаленом (рис. 2). Это объясняется тем, что атомы кислорода в молекуле 2-изопропил-1,3-диоксалана имеют более высокий заряд и, взаимодействуя с активными центрами угольной поверхности, образуют более прочные связи. Это обеспечивает более высокую их адсорбцию на угольной по-

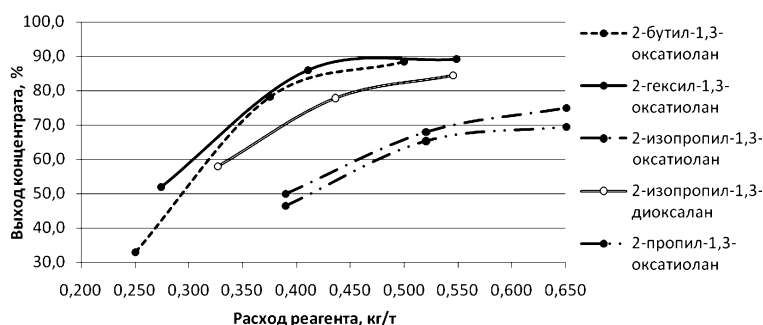


Рис. 1. Зависимости выхода концентрата от расхода реагента

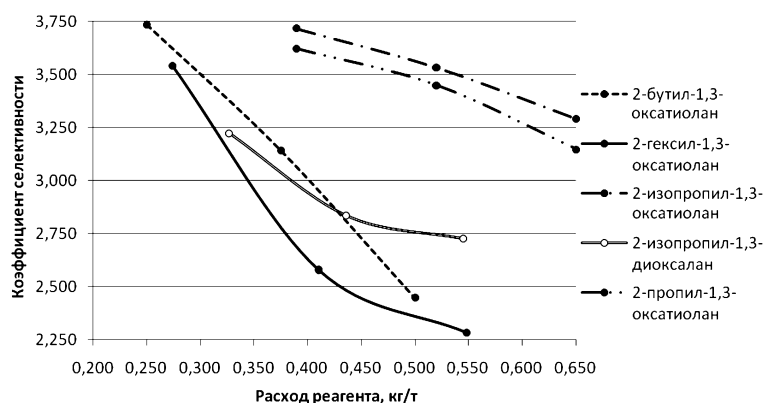


Рис. 2. Зависимости коэффициента селективности от расхода реагента

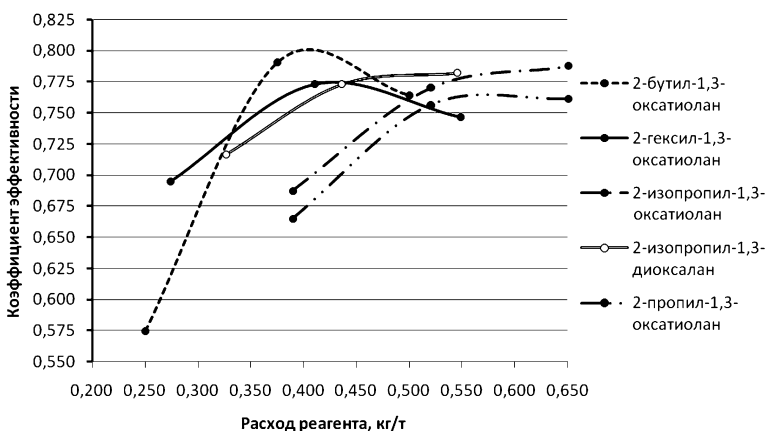


Рис. 3. Зависимости коэффициента эффективности от расхода реагента

верхности, повышение ее гидрофобности и флотуемости не только угольных частиц, но и их сростков с минеральными вкраплениями.

Установлено повышение эффективности действия алкилпроизводных 1,3-диоксаланов по сравнению с 1,3-оксатиоланами.

Коэффициент эффективности 2-изопропил-1,3-диоксалана выше на 7–9% по сравнению с применением 2-изопропил-1,3-оксатиолана при расходе реагентов 0,39–0,45 кг/т.

Увеличение длины углеводородного радикала с 3 до 6 атомов углерода во втором положении молекулы обеспечивает значительное повышение эффективности флотации (рис. 3) с одновременным ухудшением селективности процесса. Применение в качестве реагента 2-бутил-1,3-оксатиолана вместо 2-пропил-1,3-оксатиолана приводит к повышению коэффициента эффективности с 0,665–0,745 до 0,764–0,800 при расходе реагентов в пределах 0,39–0,5 кг/т (см. рис. 3). В то же время коэффициент селективности снижается с 3,62–3,48 до 3,07–2,45 долей единицы (см. рис. 2).

Наиболее высокая эффективность процесса флотации угля из исследованных алкилзамещенных 1,3-оксатиоланов установлена для 2-бутил-1,3-оксатиолана (см. рис. 3). Применение 2-гексил-1,3-оксатиолана, несмотря на увеличение выхода концентрата, приводит к снижению селективности процесса флотации по сравнению с использованием 2-бутил-1,3-оксатиолана (см. рис. 2) и соответственно к ухудшению коэффициента эффективности (см. рис. 3). Это объясняется тем, что коэффициент эффективности учитывает как извлечение горючей массы в концентрат, так и извлечение минеральной части в отходы. Коэффициент эффективности рассчитывали по следующей формуле [4]:

$$\eta_{эф} = 0,01 \sqrt{E_{г.м} \cdot E_{м.ч.о}},$$

где $E_{г.м}$ – извлечение горючей массы в концентрат, %; $E_{м.ч.о}$ – извлечение минеральной части в отходы, %.

Увеличение длины углеводородного радикала в молекуле 1,3-оксатиоланов обеспечивает повышенную гидрофобизацию поверхности высокоминерализованных частиц, которые переходят в пенный продукт, увеличивая его зольность.

Однако для легкообогатимых и низзолых углей целесообразно использовать реагенты, обеспечивающие высокое извлечение горючей массы в концентрат при его общей зольности ниже 9%.

Это связано с тем, что концентраты углей поступают на коксование, и их зольность не должна превышать 9%, чтобы обеспечить зольность кокса для доменного производства в пределах 11–12%.

При флотации углей с повышенной исходной зольностью необходимо использовать реагенты, обладающие как высокой флотационной активностью, так и повышенной селективностью действия.

Из исследованных химических соединений к таким реагентам следует отнести алкилзамещенные 1,3-оксатиоланы с изостроением углеводородных радикалов. Применение их в качестве самостоятельных реагентов при флотации угля позволяет повысить выход концентрата при одновременном снижении расхода реагентов.

Список литературы

1. Исследование и разработка нового реагентного режима флотации углей на основе термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности / Петухов В.Н., Осина Н.Ю., Юнаш А.А. и др. // Башкирский химический журнал. 2007. Т. 14. № 3. С. 69–71.
2. Дебердеев И. Х., Пиккат-Ордынский Г.А., Рудановская Л.А. О применении новых эффективных реагентов во флотации / Уголь. 1988. № 11. С. 49–50.
3. Совершенствование технологии флотации углей за счет использования кремнийорганических соединений / Петухов В.Н., Осина Н.Ю., Кукушкин В.В. и др. // Вестник Кузбас. гос. техн. ун-та. 2003. № 5. С. 78–81.
4. Павлович В.И., Фоменко Т.Г., Погарцева Е.М. Определение показателей обогащения углей. М.: Недра, 1965.

Bibliography

1. Research and working out of the new reagent condition of flotation of coals on the basis of thermodynamic parameters of adsorption of hydrocarbons on a coal surface / Petuhov V.N., Osina N.U., Unash A.A. and other // The Bashkir chemical journal. 2007. Vol. 14. № 3. P. 69–71.
2. Deberdeev I.H., Pikkat-Ordinsky G.A., Rudanovskaya L.A. About application of new effective reagents in flotation // Coal. 1988. N 11. P. 49–50.
3. Perfection of technology of coals flotation at the expense of use organosilicic compounds / Petuhov V.N., Osina N.U., Kukushkin V.V. and other // Reporter of Kuznetsk Basin State Technical University. Kemerovo, 2003. № 5. P. 78–81.
4. Pavlovich V.I., Fomenko T.G., Pogarceva E.M. Definition of factors of coals enrichment. M.: Nedra, 1965.

УДК 622.27

Джигоева А.К., Паук Л.Г.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЧИСЛА И ОБЩЕЙ ДЛИНЫ ПРОБУРЕННЫХ СКВАЖИН

В практике применения скважинной отбойки широкое распространение получили веерное и параллельное расположение взрывных скважин. Целесообразность применения первого или второго способа

зависит от многих факторов, основными из которых являются: необходимая точность оконтуривания взрывающего массива, равномерность распределения ВВ, а также экономичность буровых работ.

При равномерном и одинаковом распределении ВВ общая длина скважин при веерном расположении всегда больше, чем при параллельном. Увеличение длины скважины отражается коэффициентом K_d , который равен отношению суммарной длины скважин при веерном L_v и параллельном L_n их расположении:

$$K_d = \frac{L_v}{L_n}. \quad (1)$$

Некоторые авторы считают, что коэффициент увеличения длины скважин K_d является величиной примерно постоянной и изменяется от 1,4 до 2 [1, 2]. Для определения этого коэффициента были сделаны графические построения веерных скважин при различных параметрах обуренного слоя, при этом коэффициент увеличения длины скважин (K_d) изменяется от 1,20 до 1,86.

При веерном расположении скважин (см. **рисунок, а**) постоянным принимается кратчайшее расстояние W между концами одних, более коротких, и осями соседних, более длинных скважин. Параллельные скважины располагаются во взрывном массиве, как показано на **рисунке, б**. Из рисунка видно, что площадь обуриваемого участка может быть представлена суммой площадей треугольников ОАБ, ОВС, ОСД...

$$S = mh = \sum S_{\Delta} = \frac{1}{2} W \left(l_2 + l_3 + \dots + 2l_{\frac{n}{2}} + \dots + l_{n-1} \right), \quad (2)$$

где m – мощность рудного тела; h – высота подэтажа; W – линия наименьшего сопротивления Л.Н.С; $l_2, l_3 \dots$ – соответствующие длины скважин.

При определении площадей треугольников из расчета выпадают первая и последняя скважины, составляющие в сумме мощность рудного тела, и центральная скважина равна высоте обуриваемого слоя. Самые длинные скважины участвуют в расчете дважды, поэтому можно записать:

$$mh = \frac{1}{2} W \left(\sum l_i - m - h + 2\sqrt{h^2 + \left(\frac{m}{2}\right)^2} \right). \quad (3)$$

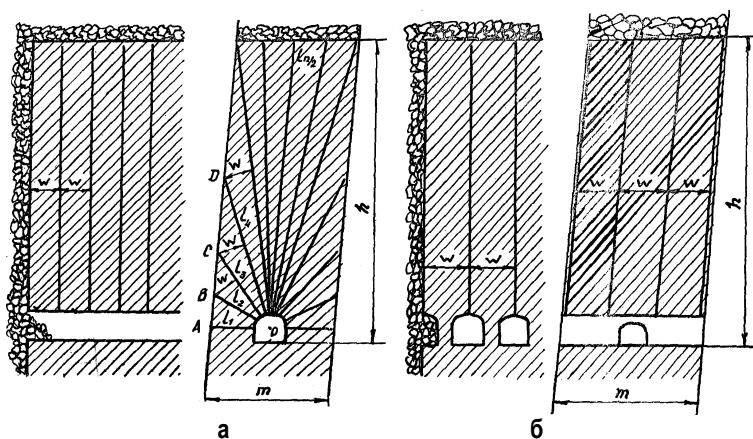


Схема расположения взрывных скважин: а – веерное, б – параллельное

Заменяя $\sum l_i = Z_v$ и преобразуя, получим

$$Z_v = \frac{2mh}{W} + m + h - \sqrt{4h^2 + m^2}. \quad (4)$$

Как показывают расчеты, величина $m + h - \sqrt{4h^2 + m^2}$ невелика по сравнению с величиной $\frac{2mh}{W}$, причем она частично компенсируется несколько меньшей глубиной скважин вследствие расположения буровой выработки в обуриваемом слое. Поэтому с достаточной для практики точностью можно записать

$$Z_v = \frac{2mh}{W}. \quad (5)$$

При параллельном распределении (см. **рисунок, б**) общую длину пробуренных скважин можно определить:

$$Z_n = \left(\frac{m}{W} + 1 \right) \cdot h. \quad (6)$$

Из (1) можно найти K_d

$$K_d = \frac{2mh \cdot W}{W(m+W)h} = \frac{2m}{m+W}. \quad (7)$$

Количество скважин в веере с некоторым приближением можно представить

$$n_v = \frac{Z_v}{l_{cp}}. \quad (8)$$

Среднюю длину скважины при веерном расположении можно определить как среднюю арифметическую между минимальной и максимальной скважинами.

$$l_{cp} = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2}. \quad (9)$$

Из **рисунка а** видно, что $l_{\min} = \frac{m}{2}$, $l_{\max} = \frac{1}{2}\sqrt{4h^2 + m^2}$

тогда

$$l_{cp} = \frac{m + \sqrt{4h^2 + m^2}}{4}. \quad (10)$$

Подставляя значения (5) и (10) в (8), получим

$$n_v = \frac{8mh}{W(m + \sqrt{4h^2 + m^2})}. \quad (11)$$

Для проверки достоверности полученных выражений (5), (7) и (11) по данным графических построений были определены значения общей длины скважин (Z_v), количество их в веере (n_v) и коэффициент увеличения длины скважин (K_d) при веерном расположении

Результаты проверки расчетов по данным графических построений

Мощность рудного тела, м	Высота подэтажа (этажа) h , м	Л.н.с. W , м	Общая длина скважин в веере			Количество скважин в веере			Коэффициент увеличения длины скважины		
			Факт $Z_{в.ср}$, м	Расчет $Z_{в.}$, м	Ошибка, %	Факт $n_{в.ср}$	Расчет $n_{в.}$	Ошибка, %	Факт, $K_{дф}$	Расчет $K_{д}$	Ошибка, %
40	80	5	1238	1280	+2,6	24	25	+4,1	1,72	1,78	+3,5
30	60	5	697	720	+3,3	18	18,7	+3,9	1,66	1,72	+3,5
20	40	5	300	320	+6,7	11,5	12,5	+8,7	1,50	1,60	+6,7
30	60	3	1187	1200	+1,1	31	31,1	–	1,80	1,86	+3,4
20	40	3	506	534	+5,5	20	20,8	+4	1,65	1,74	+5,5
10	30	3	176	200	+12	12	11,3	–5,8	1,47	1,54	+4,7
10	20	3	115	133	+15,6	10	10,4	+4	1,34	1,54	+15
10	10	3	65	67	+3,1	8	8,2	+2,5	1,62	1,54	–5
20	40	1,5	1064	1068	+0,4	41	42	+2,4	1,86	1,86	–
10	40	1,5	503	534	+6,	25	23,4	–6,4	1,64	1,74	+6,1
10	20	1,5	262	267	+1,9	21	20,8	–1,0	1,71	1,74	+2,0
10	10	1,5	124	133	+8,9	15	17	+13,4	1,77	1,74	–1,7
5	20	1,5	112	133	+18,7	10	12	+20,0	1,40	1,54	+10,0
5	10	1,5	60	67	+11,7	10	10,5	+5,0	1,50	1,54	+2,7
5	5	1,5	32	33	+3,1	8	8,3	+3,7	1,60	1,54	4,0

скважин, которые приведены в **таблице**. Отклонения фактических значений указанных величин от расчетных в основном не превышают 10%. Такая точность вполне достаточна для технико-экономических расчетов.

Список литературы

1. Зеленкин В.Н., Горбатов Ю.В. Сравнительная оценка параллельного и веерного расположения взрывных скважин // Изв. вузов. Горный журнал. 1970. № 2.

2. Иофин С.Л. и др. Принудительное этажное обрушение. М.: Metallurgizdat, 1957.

Bibliography

1. Zelenkin V.N., Gorbato J.V. Comparative assessment of parallel and radial pattern of blastholes drilling // Bulletin of universities Mining Journal. 1970. № 2.
2. Iofin S.L. et al. Artificial block caving: Metallurgizdat, 1957.

УДК 622.35:622.271.4

Першин Г.Д., Уляков М.С.

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ К ВЫЕМКЕ БЛОЧНОГО ПРИРОДНОГО КАМНЯ ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ

Природный камень высокой прочности (ПКВП) характеризуется входящими в его состав минералами с твердостью 6–7 по шкале Мооса (полевой шпат, кварц, слюда и др.) и его предел прочности на сжатие составляет 110–220 МПа.

ПКВП представлены не только гранитами. Среди изверженных пород существуют как глубинные (сиениты, диориты, габброиды, лабрадориты и др.), так и излившиеся (диабазы, порфириды, базальты, липариты и др.). К метаморфическим относят гнейс, кварциты.

При добыче блочного ПКВП распространенным способом извлечения является шпуровой с применением различных распорных средств: механических клиньев и гидроклиньев, НРС и ВВ (бурение и подрыв, бурение и расклинивание, бурение сплошной щели). В качестве вспомогательных процессов при проходке фланговых щелей применяются термическая резка, пиление алмазным канатом.

Одной из главных особенностей при разработке месторождений облицовочного камня является требование сохранения монолитности добываемых блоков и их декоративных качеств, обеспечение правильной геометрической формы блоков и сохранности разрабатываемого массива. Этим требованиям удовлетворяют механические способы отделения блоков и их разделка с помощью клиньев (гидроклиньев, гидрораскалывающих устройств – ГРУ), сплошное обрушение массива, использование невзрывчатых разрушающих составов или смесей (НРС) [1, 2], а также в последнее время при подготовке прочных пород к выемке в России и за рубежом применяется алмазно-канатная технология [3, 4].

Алмазно-канатное пиление еще в большей степени удовлетворяет условиям сохранения монолитности и геометрических параметров блоков. Как следствие, возможно повышение выхода товарных блоков. Появляется возможность производства блоков повы-

шенного качества при их высоком выходе.

В то же время технология с применением алмазно-канатных пил обладает следующими недостатками:

- значительные затраты на алмазный канат, который подвержен высокому износу при пилении прочных пород, которые являются высоко абразивными;
- сложность пиления в зимний период;
- большое количество и неупорядоченность трещин, тектонических разломов или расщелин снижает эффективность резания и работоспособность алмазного каната. То есть необходимы благоприятные структурно-тектонические условия месторождений с преимущественно упорядоченным характером трещиноватости, которые предполагают достаточно высокую блочность пород;
- необходимо оптимальное сочетание минералого-петрографических характеристик и физико-механических свойств камня, определяющих наиболее высокие параметры пилимости.

Следует отметить, что комплексы оборудования для подготовки блоков к выемке можно применять с различным выемочно-погрузочным оборудованием, например: деррик-краном, передвижным краном и погрузчиком.

В настоящее время большинство карьеров на Урале отрабатываются с использованием передвижного крана, а в зарубежной практике широкое распространение получили нетрадиционные схемы вскрытия месторождений природного камня, включающие в себя несколько видов бестраншейного вскрытия [5].

В работе представлен анализ вариантов строительства карьера с применением различных видов выемочно-погрузочного оборудования, способов подготовки камня к выемке и годовой производительности на примере Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов.

В качестве выемочно-погрузочного оборудования приняты: деррик-кран МДК-63-1100 (наибольший вылет стрелы 40 м, грузоподъемность 63 т), фронтальный колесный погрузчик Caterpillar 992G (24 т) и автокран КС55730 (32 т). В рассматриваемых вариантах строительства карьера деррик-краном для погрузки блоков в автосамосвалы САМС-НН3250Р34С6М (20,7 т) на временном складе как вспомогательное оборудование во всех случаях предусмотрен один автокран.

В случае алмазно-канатного пиления схема отделения блоков принимается двухстадийная, пиление осуществляется карьерными машинами СВС75НРН (мощность 55 кВт, диаметр ведущего шкива 810 мм) и СВС-МД75НР (57 кВт, 810 мм) испанской компании Grupo Hedisa Cor. Бурение пилотных скважин предусматривается установкой Long hole drilling machine (пневмопривод, диаметр коронки 90 мм, Grupo Hedisa Cor.). На разделке первичного монолита (высота 6 м, длина 10, ширина 2 м) применяется установка строчечного бурения СОФ-2 (оборудована двумя пневмоперфораторами с ожидаемой технической производительностью на гранитах 0,6 м/мин каждый, Grupo Hedisa Cor.), ручные пневмоперфораторы ПП-63 отечественного производ-

ства (0,19 м/мин), механические клинья и пневмомолоток. При шпуровом способе подготовки камня к выемке также предусмотрены ручные перфораторы. Отделение блоков осуществляется по одностадийной схеме, шпуров диаметром 36 мм бурятся самоходной установкой DC 120 (Sandvik, Финляндия), которая оборудована одним гидроперфоратором марки HEX 1. Расчетная техническая производительность буровой установки в условиях Нижне-Санарского месторождения составляет 0,79 м/мин. Удаление рыхлой вскрыши осуществляет экскаватор Hyundai R250LC-7 (емкость ковша 1,27 м³, для дробления скальной вскрыши предусмотрено сменное оборудование – гидромолот F20, энергия удара 5000 Дж). В числе вспомогательного оборудования бульдозер Б-170 и погрузчик К-701 (5 т).

Юго-Восточный участок Нижне-Санарского месторождения облицовочных гранодиоритов находится на территории Троицкого районного муниципального образования Челябинской области в 2,0 км к юго-востоку от поселка Нижняя Санарка. Районный центр – г. Троицк расположен в 12 км к востоку от месторождения.

Нижне-Санарское месторождение приурочено к южной части Санарского интрузивного массива. В плане Санарский массив имеет овально-вытянутую форму, несколько сужен к северу и расширен к югу. Протяженность массива по простиранию составляет 30–40 км, а в крест простирания 10–15 км. Массив в районе Нижне-Санарского месторождения сложен, большей частью плагиогранитами и гранодиоритами, среди которых выделяются тела кварцевых диоритов, габбро-диоритов и диабазовых порфиритов.

Вскрышные работы во всех рассматриваемых случаях предусмотрено производить двумя уступами. Первый – снятие рыхлой вскрыши; второй – выемка скальной вскрыши над продуктивным слоем.

Схема разработки Нижне-Санарского месторождения на момент строительства карьера с применением для выемки блоков автокрана (а) и погрузчика (б) представлена на **рис. 1** (проектная производительность по блокам 6 тыс. м³/год, подготовка блоков к выемке предусматривается с помощью механических клиньев, гидроклиновых установок, с применением распорных средств типа НРС).

На схеме автокран размещен на верхней площадке добычного уступа, такое расположение позволяет сократить срок строительства карьера за счет уменьшения рабочей площадки. После соответствующего развоза рабочей площадки предполагается отсыпка съезда и размещение крана на рабочей площадке. Погрузчик размещен на рабочей площадке. Для заезда на рабочую площадку погрузчиком требуется создание наклонного съезда, что увеличивает срок строительства карьера.

Схема разработки Нижне-Санарского месторождения на момент строительства карьера с применением для выемки блоков – деррик-крана (а) и погрузчика (б) представлена на **рис. 2** (проектная производительность по блокам 14,4 тыс. м³/год, подготовка блоков к выемке предусматривается с помощью алмазно-канатных пил).

На схеме деррик-кран размещен на кровле скальной вскрыши, такое расположение позволяет значительно



Рис. 1. Схема разработки Нижне-Санарского месторождения с применением шпуровой технологии для добычи блоков: 1 – горизонт рыхлой вскрыши; 2 – добычной горизонт; 3 – погрузчик; 4 – автокран; 5 – шпуры для откола блока; 6 – горизонт скальной вскрыши; 7 – граница горного отвода; 8 – ось дороги. Производительность 12000 м³ в год по гранодиоритам (6000 м³ по товарным блокам): а – выемка и погрузка автокраном; б – погрузчиком

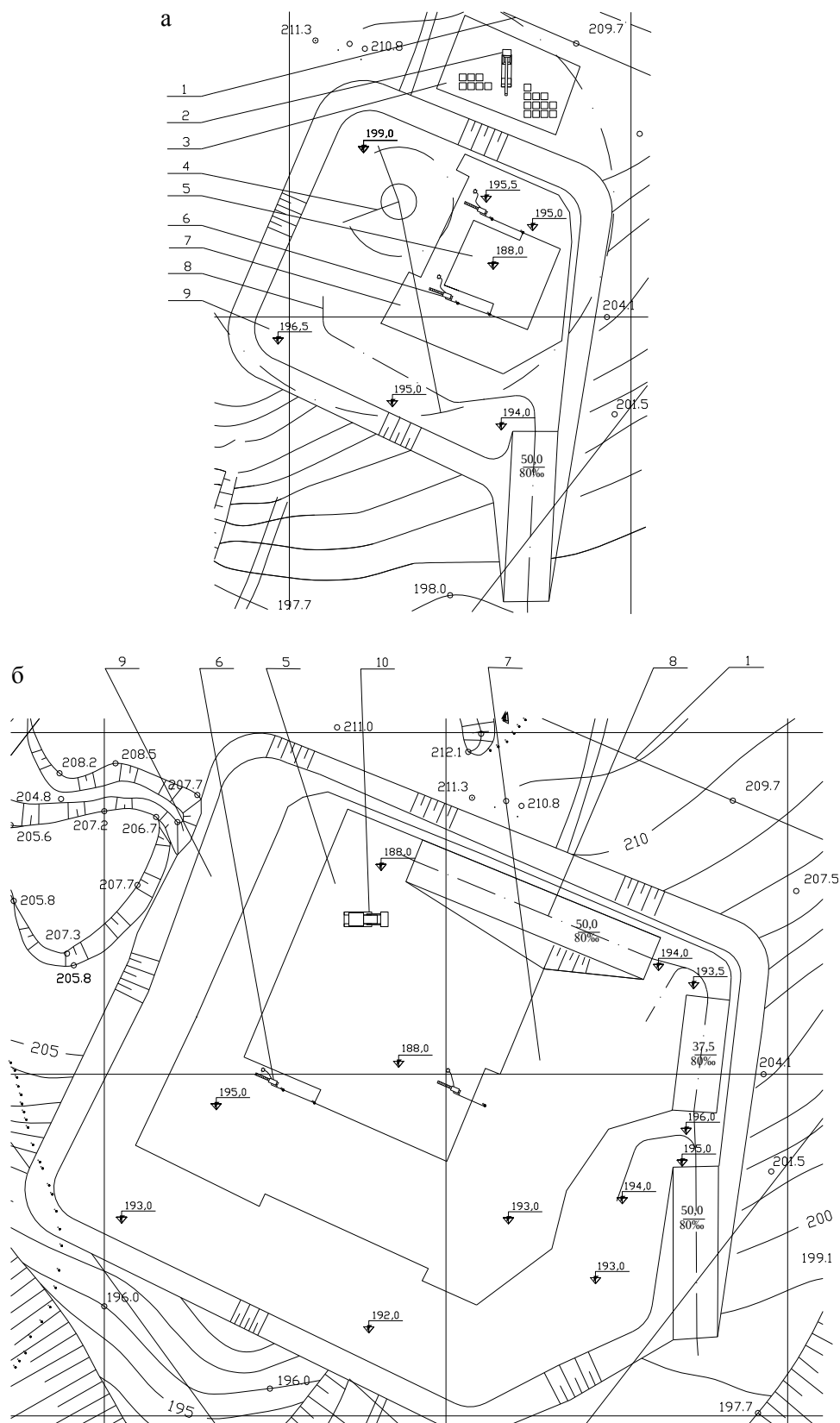


Рис. 2. Схема разработки Нижне-Санарского месторождения с применением алмазно-канатной технологии для добычи блоков: 1 – граница горного отвода; 2 – автокран; 3 – склад блоков; 4 – деррик-кран; 5 – добычной горизонт; 6 – алмазно-канатная машина; 7 – горизонт скальной вскрыши; 8 – ось дороги; 9 – горизонт рыхлой вскрыши; 10 – погрузчик. Производительность 24000 м³ в год по гранодиоритам (14400 м³ по товарным блокам): а – выемка и погрузка автокраном; б – погрузчиком

сократить срок строительства карьера за счет снижения объемов скальной вскрыши.

На рис. 3 представлены графики зависимости капитальных затрат и общей рентабельности от производительности при различных способах подготовки камня к выемке.

Представленные на рис. 4 данные показывают, что наименьший срок окупаемости карьера ожидается при использовании для выемки и погрузки блоков деррик-крана. Его применение при выемке прочных пород наиболее рационально при использовании для подготовки блоков к выемке алмазно-канатных пил, так как при шпуровой отбойке блоков характерна большая протяженность фронта горных работ.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) дает абсолютную оценку принятых решений. В рассматриваемом периоде (10 лет) проект эффективен ($ЧДД > 0$) в варианте выемки блоков деррик-краном с использованием алмазно-канатных пил при производи-

сти 24000 и 36000 м³/год.

Индекс доходности (ИД) характеризует уровень относительной эффективности проекта. Проект эффективен ($ИД > 1$) также в случае применения деррик-крана.

Недостатками использования деррик-крана являются:

- необходимость периодической передвигки, что потребует дополнительных затрат (планируемый период передвигки – около 3 лет);
- низкая скорость подъема и опускания груза;
- сложность работы при сильном ветре;
- ограниченная зона работы деррик-крана;
- целесообразность использования при значительной глубине карьера и освоении нагорных месторождений.

Преимущества использования деррик-крана:

- снижение срока строительства карьера;
- снижение капитальных затрат;
- уменьшение площади горного отвода;
- увеличение угла откоса борта карьера.

Преимуществами использования погрузчика являются:

- возможность обслуживать несколько горизонтов одной единицей техники;
- возможность отрабатывать различные участки месторождения в зависимости от требований заказчика к качеству камня.

Основные недостатки погрузчика – это значительная стоимость и необходимость вскрытия нового горизонта капитальной траншеей, что увеличивает как срок формирования нового горизонта, так и срок строительства карьера. В связи с чем эффективным применением погрузчика будет при достаточно большой производительности карьера.

Основным недостатком использования передвижного крана является низкий коэффициент использования оборудования, так как каждый добычный участок должен обслуживаться одним краном, что, в свою очередь, повышает капитальные затраты как на строительство, так и эксплуатацию карьера.

В настоящее время на гранитных карьерах в Европе для выемочно-погрузочных работ, а иногда и при транспортировке, повсеместно применяется погрузчик грузоподъемностью 35–40 т со сменным ковшом (вилы, кочерга). В числе этих стран мировые лидеры в добыче блочного ПКВП: Испания, Норвегия, Финляндия и др. В Италии при разработке месторождений гранита, сосредоточенных главным образом на о. Сардиния, также применяют погрузчики, отказываясь от деррик-кранов, даже в случае нагорных месторождений и малой производительности. Это говорит о том, что недостатки использования деррик-крана на практике существенно уменьшают его экономическую привлекательность.

Результаты сравнения подготовки блоков к выемке шпуровым способом и алмазно-канатным резанием показывают, что резание алмазным канатом можно рекомендовать на уральских месторождениях бескварцевых разновидностей серпентинита, пироксенита и некоторых других пород высокой прочности после проведения экспериментов в производственных условиях. Резание алмазным канатом в прочных породах целесообразно только в случае высокой вязко-

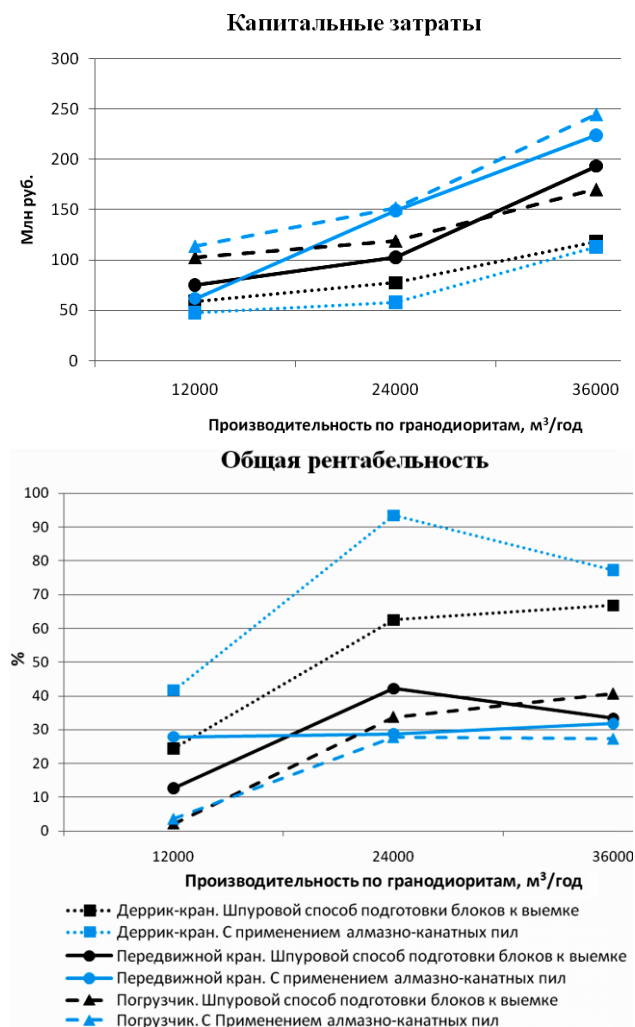


Рис. 3. Графики зависимости капитальных затрат и общей рентабельности от производительности при различных способах подготовки камня к выемке и применении различного выемочно-погрузочного оборудования

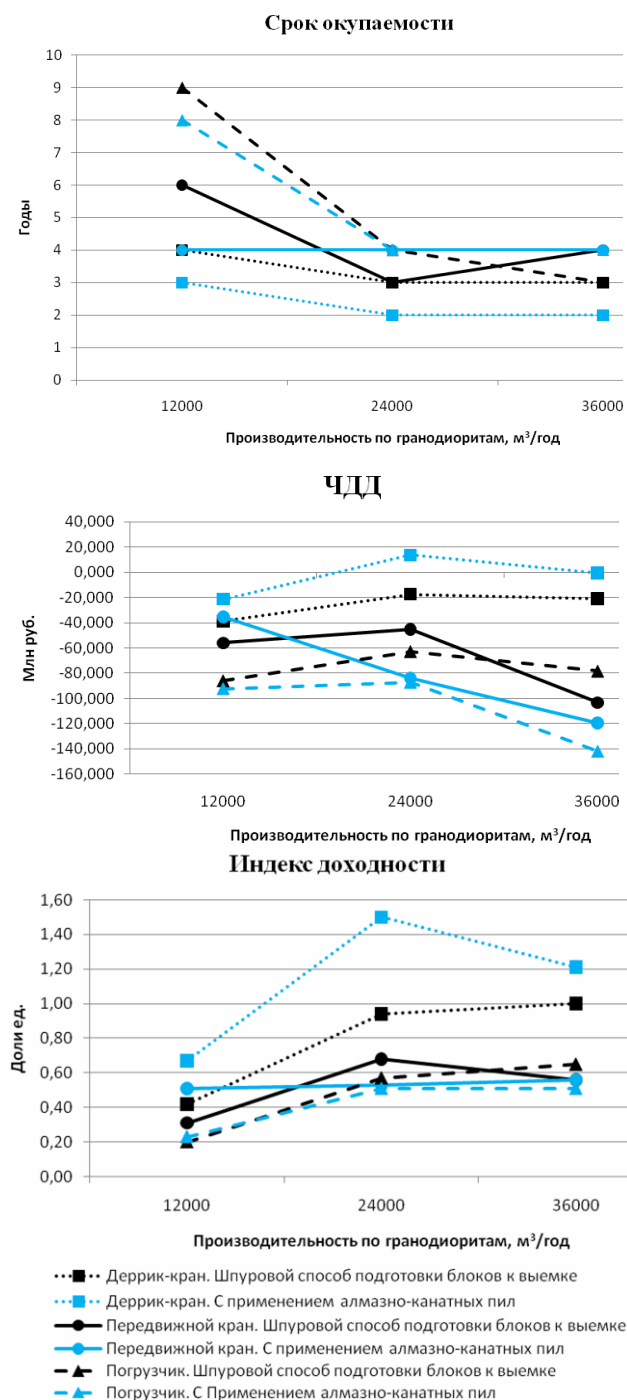


Рис. 4. Графики зависимости срока окупаемости, чистого дисконтированного дохода и индекса доходности от производительности при различных способах подготовки камня к выемке и применении различного выемочно-погрузочного оборудования

сти и плохой раскалываемости их, а также при выемке высокодекоративных пород. На хорошо раскалывающихся горных породах буроклиновой способ подготовки к выемке блочного камня эффективнее резания.

На горных породах высокой прочности и повышенной абразивности с относительно невысоким сопротивлением на растяжение должны применяться преимущественно двухстадийные технологические схемы, основанные на строчечном бурении по контуру с последующим отколом. Здесь более рационально использование высокоуступных технологических схем с бурением на глубину 5–6 м.

Представленные данные указывают на необходимость выбора рационального выемочно-погрузочного оборудования и способа подготовки блоков к выемке для конкретных условий разработки.

Список литературы

1. Пшеничная Е. Г., Першина Н. Г. Экспресс-метод оценки работоспособности НРС в лабораторных условиях // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. трудов. Магнитогорск, 2008. С. 106–113.
2. Першин Г. Д., Пшеничная Е. Г. Технично-экономическое обоснование оптимальных параметров подготовки гранитных блоков к выемке с помощью НРС // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. трудов. Магнитогорск, 2002. С. 28–35.
3. Савельев Г. П. Опыт применения технологии добычи гранитных блоков алмазно-канатными пилами (карьер Восточно-Варламовского месторождения гранитов) // Камень вокруг нас. 2007. С. 8–9.
4. Синельников О. Б. Норвежские лабрадоритовые карьеры в районе г. Ларвик // Камень вокруг нас. 2009. С. 21–25.
5. Бычков Г. В., Кокунин Р. В. Оптимальные способы вскрытия рабочих горизонтов на перспективных и эксплуатирующихся месторождениях природного камня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2007. С. 83–92.

Bibliography

1. Pshenichnaya E.G., Pershina N.G. Express-method of the estimation to capacity to work NRS in laboratory condition // Mining, processing and using natural stone: collection of the scientific works. Magnitogorsk, 2008. P. 106–113.
2. Pershin G.D., Pshenichnaya E.G. Feasibility study optimum parameter preparation granite block to extraction by means of NRS // Mining, processing and using natural stone: collection of the scientific works. Magnitogorsk, 2002. P. 28–35.
3. Savelyev G.P. Experience of the using technologies of the mining granite block diamond-rope saw (the quarry Vostochno-Varlamovskoe deposit granite) // Stone around us. 2007. P. 8–9.
4. Sinelnikov O.B. Norwegian labradorite quarries in region Larvik // Stone around us. 2009. P. 21–25.
5. Bychkov G.V., Kokunin R.V. Optimum ways of the opening worker horizon on perspective and exploiting deposits natural stone // Mining, processing and using natural stone: collection of the scientific works. Magnitogorsk: SEI HPE «MGTU», 2007. P. 83–92.

Медяник Н.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛЕКУЛ РЕАГЕНТА РОЛ С ИОНАМИ ЦИНКА И МЕДИ (II) МЕТОДАМИ ИК-ФУРЬЕ- И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Для практики флотационного извлечения катионов тяжёлых и цветных металлов из техногенных рудничных и сточных вод медно-колчеданных месторождений синтезирован реагент-собирающий РОЛ, представляющий собой стабильную эмульсию полиэфиров терефталевой кислоты, состава: моногидроксизетилтерефталат (25%), дигидроксизетилтерефталат (50%), терефталевая кислота (15%) и этиленгликоль (10%) [1]. Реагент РОЛ получен при химической де-струкции вторичного лавсана (полиэтиленгликольтерефталатных волокон). Реагент РОЛ хорошо растворим в воде, устойчив при хранении, перевозке и при-готовлении рабочих растворов, температура кипения 210,5°C, температура замерзания -65°C, плотность 1,17-1,20 г/см³, обладает высокой поверхностной активностью. По избирательности действия, меньшей чувствительности к поливалентным катионам, снижению температуры технологического раствора, меньшими эксплуатационными расходами, предлагаемый реагент превышает сульфидрильные собиратели.

Ранее [2-4] экспериментально установлена принципиальная возможность применения терефталевой кислоты и её производных сложных полиэфиров для флотационного извлечения ионов цинка и меди (II) из рудничных и сточных вод медно-колчеданных месторождений Южного Урала. Эффективность применения реагента-собирающего РОЛ подтверждена опытно-промышленными испытаниями, проведёнными в ОАО «Гайский ГОК» при ионной флотации Zn^{+2} , Cu^{+2} из кислых подот-вальных вод. Исследованы физико-химические свойства, компонентный состав и квантово-химические характеристики молекул реагента, определены оптимальные условия извлечения тяжёлых металлов в пенную фракцию и предложен вероятный механизм действия реагента-собирающего РОЛ. Методом кондуктометрического титрования установлено, что катионы цинка и меди(II) извлекаются из модельных двухкомпонентных растворов в виде различных терефталатов металлов в соотношении $[Me(II)]:[реагент] = 1:1$ и $1:2$.

В настоящей работе представляется целесообразным изучить структуру и химические формулы соединений, образующихся при взаимодействии молекул реагента РОЛ с ионами цинка и меди(II), с целью рассмотрения возможности их дальнейшей переработки в качестве кондиционных товарных продуктов для химической промышленности.

Значительный интерес к терефталатам металлов определяется возможностью их широкого применения в химической промышленности как мономеров в реакции поликонденсации полиалкил-терефталатов, загустителей смазочных материалов, сшивающих агентов при синтезе карбоксилатных полимеров, активаторов вул-

канизации при производстве резины, адсорбентов для поглощения N_2 , Ag и He , ёмкостных диэлектриков, полупроводников, добавок к текстильным волокнам [5].

Методики проведения эксперимента

Для установления структуры и химических формул продуктов взаимодействия реагента РОЛ с ионом цинка и меди (II) были применены методы ИК-Фурье-спектрометрии и масс-спектрометрии. Регистрацию и обработку ИК-спектров реагента РОЛ и пенных продуктов цинковой и медной флотации проводили на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet 6700 Thermo Fisher Scientific с разрешением 4 см⁻¹ в диапазоне частот от 4000 до 400 см⁻¹ и с использованием приставки однократного нарушенного внутреннего полного отражения (НПВО) Smart Orbit с алмазным кристаллом. Математическую обработку результатов выполняли с помощью программного обеспечения Thermo OMNIC.

Метод ИК-Фурье-спектрометрии позволяет идентифицировать функциональные группы в молекулах и определять основной состав неизвестного вещества. Инфракрасные спектры поглощения, отражения или рассеяния несут чрезвычайно богатую информацию о составе и свойствах анализируемых продуктов, а программное обеспечение Thermo OMNIC позволяет собирать и хранить полученные спектральные данные, что дает возможность создания своей спектральной библиотеки, использовать сторонние ИК-библиотеки для идентификации и анализа полученных спектров с указанием показателя качества совпадения Hit Quality Index (HQI), что дополнительно подтверждает достоверность полученных данных.

Масс-спектры цинковых и медных сублатов были сняты на квадрупольном хроматомасс-спектрометре Shimadzu LCMS-2010, причём масс-спектры положительных и отрицательных ионов записывали в режиме электрораспылительной ионизации (ESI) для растворов в водном метаноле (~1:1) при скорости потока 0,3 мл/мин (мобильная фаза метанол-вода 95:5) и расходе азота 4,5 л/мин без хроматографического разделения на колонке. Параметры масс-спектрометра были установлены по процедуре автонастройки.

Масс-спектрометрия позволяет определять молекулярную массу и структуру органических соединений. Молекулярную массу удобно устанавливать по пику молекулярного иона. В некоторых случаях, когда пик молекулярного иона в масс-спектре недостаточно интенсивен, можно с определенной степенью надежности рассчитать валовую (брутто) формулу органического соединения по числу атомов каждого вида. Для этого используют соотношение интенсивностей пиков изотопов элементов, входящих в органическое соединение.

Результаты экспериментов

Согласно анализу [6] ИК-спектра реагента РОЛ (рис. 1, а) в области наиболее высоких частот ($3500\text{--}2800\text{ см}^{-1}$) находятся полосы, отвечающие валентным колебаниям групп, содержащих легкий атом водорода (С–Н, N–Н, O–Н). В ИК-спектре реагента РОЛ наблюдается полоса поглощения в области 3436 см^{-1} средней интенсивности, которую следует отнести к колебаниям O–Н группы. Участие гидроксильной группы в образовании межмолекулярных водородных связей проявляется в смещении полосы поглощения в сторону более низких частот ($3280\text{--}3550\text{ см}^{-1}$). Интенсивная полоса поглощения в области $1270\text{--}1274\text{ см}^{-1}$ связана с плоскими деформационными колебаниями группы O–Н. Полярная связь С–О вызывает появление интенсивной полосы поглощения в области 1016 см^{-1} , обусловленной участием этой группы в скелетных колебаниях. Наличие в ИК-спектре реагента РОЛ ароматического кольца обнаруживается по поглощению в трех областях: $2930\text{--}2879$, $1688\text{--}1456$ и ниже 908 см^{-1} . При 2930 см^{-1} проявляются валентные колебания связи С–Н, имеющие низкую интенсивность. Поглощение в области $1520\text{--}1450\text{ см}^{-1}$ проявляется в виде двух полос при 1504 и 1456 см^{-1} , оно соответствует скелетным колебаниям углерод-углеродных связей ароматического кольца. Полоса при 1504 см^{-1} интенсивнее полосы при 1456 см^{-1} . Интенсивное поглощение в спектре ниже 900 см^{-1} относится к внеплоскостным деформационным колебаниям связей С–Н ароматического кольца. По количеству полос поглощения и их положению в этой области спектра устанавливается тип замещения бензольного кольца: 1,4-дизамещенные бензола, в том числе

и терефталевая кислота, имеют полосы поглощения в области при $860\text{--}815\text{ см}^{-1}$.

В ИК-спектрах карбоновых кислот и их функциональных производных проявляются интенсивные полосы поглощения в области $1900\text{--}1600\text{ см}^{-1}$, обусловленные валентными колебаниями связи С=О. На положение и интенсивность полос поглощения влияет масса атомов, связанных с карбонильной группой, а также проявляемые ими электронные эффекты и пространственные факторы. Большое влияние на частоту колебаний связи С=О оказывают внутри- и межмолекулярные водородные связи, координация молекул, электростатические взаимодействия. Следовательно, интенсивная полоса поглощения 1714 см^{-1} принадлежит валентным колебаниям карбонильной группы С=О карбоксила. Идентифицировать карбоновые кислоты можно также по интенсивному поглощению в области $1450\text{--}1200\text{ см}^{-1}$, вызванному деформационными колебаниями O–Н и валентными колебаниями С–О групп. Но при одновременном присутствии в молекуле гидроксильных и карбоксильных групп происходит наложение полос.

Наличие полос с частотой 1271 и 1067 см^{-1} , вызванных колебаниями с участием эфирной связи --C(O)--O--C-- , подтверждает, что РОЛ содержит как свободные карбоксильные, так и сложноэфирные группы, связанные с ароматическими кольцами, влияющими на распределение электронной плотности в молекулах.

Таким образом, установлено, что реагент РОЛ, полученный в процессе химической деструкции изделий из лавсана, содержит в своем составе гетерополярные соединения, молекулы которых включают

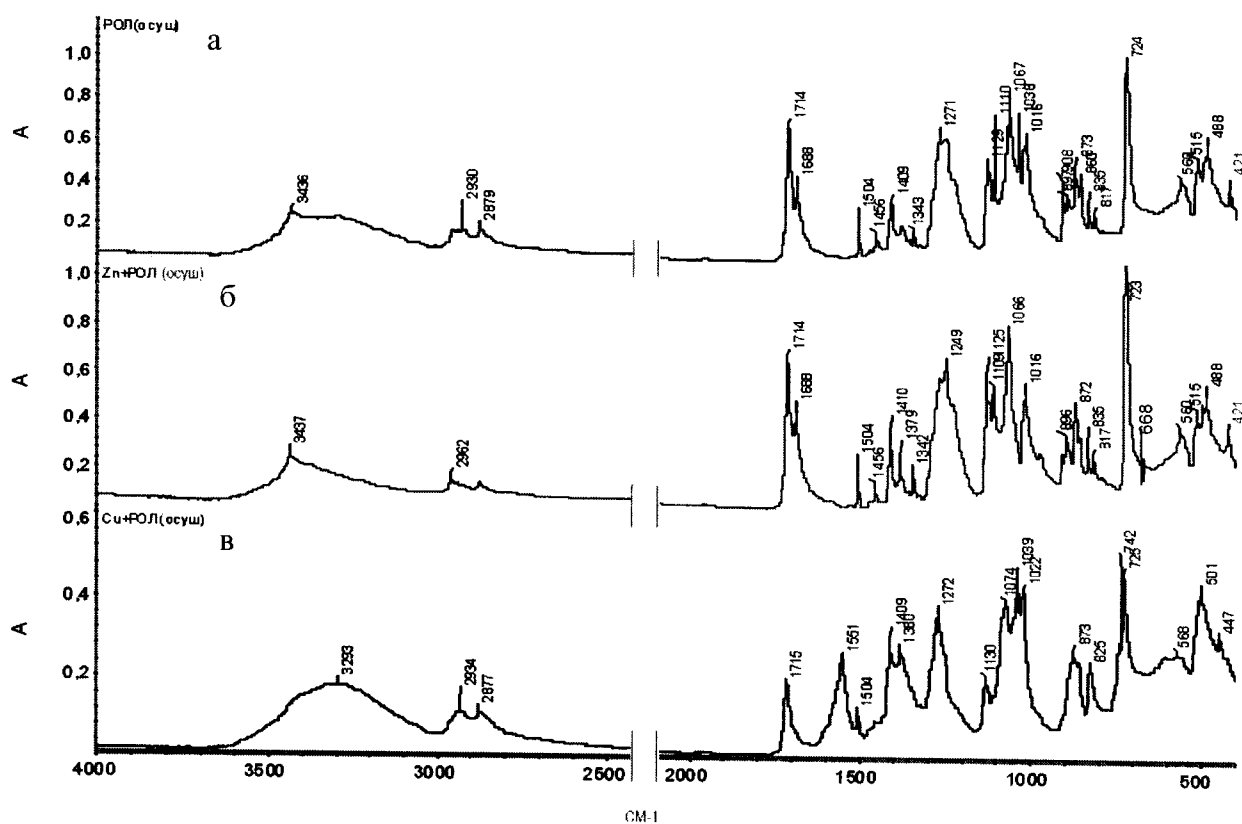


Рис. 1. Фурье ИК-спектры образцов РОЛ (а), продукта взаимодействия РОЛ с катионами цинка (б), продукта взаимодействия РОЛ с гидроксидом меди (II) (в)

гидроксильные – OH, сложноэфирные – C(O)–O–C, карбоксильные – C(O)–O–H группы и ароматические структуры, что хорошо согласуется с результатами хроматографического анализа [1].

При сравнении спектров реагента РОЛ (см. **рис. 1, а**) и пенного продукта цинковой флотации – сублата Zn, условно названного (Zn+РОЛ) (**рис. 1, б**) видно, что в спектре Zn+РОЛ наблюдается интенсивная полоса поглощения при 1688 см⁻¹, соответствующая асимметричным валентным колебаниям, и полоса при 1411 см⁻¹, соответствующая симметричным валентным колебаниям солей карбоновых кислот. Известно, что соли карбоновых кислот характеризуются также двумя интенсивными полосами поглощения в области валентных колебаний группы C=O. Они обусловлены асимметричными и симметричными колебаниями двух равноценных связей. В карбоксилат-ионе две углерод-кислородные связи являются промежуточными между C=O и C–O. Полоса асимметричных валентных колебаний более интенсивна и проявляется при 1680–1610 см⁻¹, а полоса симметричных колебаний при – 1420–1300 см⁻¹.

Таким образом, интенсивные полосы поглощения в спектре Zn+РОЛ при 1688 и 1410 см⁻¹, наличие полосы поглощения при 668 см⁻¹, соответствующее связи Zn–O, даёт основание предполагать, что происходит взаимодействие цинка в первую очередь с терефталевой кислотой по реакции первого порядка солеобразования, а более полно цинк осаждается за счёт образования осадка со сложными эфирами терефталевой кислоты, являющимися основными компонентами реагента.

Сравнительный анализ ИК-Фурье-спектров реагента РОЛ (см. **рис. 1, а**) и пенного продукта медной флотации – сублата Cu+РОЛ (**рис. 1, в**) показал существенные между ними различия, что может свидетельствовать о химическом взаимодействии катионов меди с реагентом РОЛ на атомно-молекулярном уровне и изменении в их составе и свойствах.

Строение сложных эфиров терефталевой кислоты реагента РОЛ таково, что они способны формировать хелатное кольцо. Молекулы, содержащие хелатное кольцо, легко образуют внутрикомплексные соединения с ионами переходных металлов, характеризующихся высокими значениями энергии стабилизации полем лигандов ЭСПЛ. Согласно естественному ряду устойчивости комплексов двухзарядных ионов металлов первого переходного ряда от Mn до Zn ионы меди(II) проявляют высокие значения ЭСПЛ_{сд}=8/5:

Mn ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺
ЭСПЛ	0	2/5	4/5	6/5	8/5	0

Спектры таких соединений с медью в области 1560–1500 см⁻¹ имеют две полосы поглощения, которые принадлежат колебаниям всей системы хелатного кольца [6, 7]. Среди комплексов Cu²⁺ с кислородно-донорными лигандами наиболее устойчивы хелаты, в которых замыкание цикла сопровождается вытеснением из кислотной функциональной группы –ОН протона ионом металла. В ходе образования внутрикомплексных соединений возникает один или больше замкнутых циклов (хелатов), которые сильно стабилизируют комплекс (хелатный эффект). Они не имеют внешней координационной сферы и не несут формального заряда. Как правило, внутрикомплексные

соединения не имеют центров сольватации и не растворяются в воде [7].

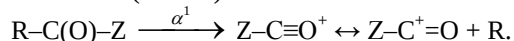
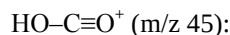
В ИК-спектре Cu+РОЛ, в сравнении с ИК-спектром РОЛ (см. **рис. 1, а, в**), значительно снизилась интенсивность пиков, соответствующих валентным колебаниям групп C=O, принадлежащим эфирам терефталевой кислоты (1715 см⁻¹) и самой кислоте (1688 см⁻¹). Появление в спектре Cu+РОЛ широкой полосы 3600–3200 см⁻¹ соответствует координационным и кристаллизационным молекулам воды. Подтверждением такого предположения могут быть данные термического анализа [3], поскольку при нагревании соединения до температуры 165°C указанные полосы поглощения в ИК-спектре исчезают. В то же время в спектре Cu+РОЛ наблюдаются пики 1551 и 1504 см⁻¹, которые соответствуют колебаниям группы –CO₂– и пики с максимумами 1409 и 1380 см⁻¹ (симметричные и несимметричные валентные колебания группы C=O), принадлежащие солям органических кислот, в данном случае терефталевой кислоте. Кроме того, появление полосы поглощения в области 501 см⁻¹, обусловленной образованием связи Cu–O, в результате замещения водорода свободной гидроксильной группы эфиров терефталевой кислоты и полосы поглощения в области 1074 см⁻¹ прямо говорит о взаимодействии гидроксида меди Cu(OH)₂ с терефталевой кислотой и её производными сложными эфирами с образованием комплексных солей. Увеличение массы атомов при сохранении порядка связи смещает полосы поглощения в длинноволновую область, что также указывает на то, что молекула реагента входит в состав комплекса в депротонированной форме.

Наблюдаемые значительные изменения в спектрах реагента РОЛ и Cu+РОЛ позволяют говорить о химическом взаимодействии меди(II) с реагентом РОЛ при pH 7–8 в процессе ионной флотации не только с образованием новых ковалентных, но и донорно-акцепторных связей.

Согласно литературным данным [8] в масс-спектрах электронной ионизации ароматических кислот и их производных пики молекулярных ионов интенсивны. Предпочтительным процессом фрагментации кислот является расщепление α- и α¹-связей, соседних с карбонильной группой. В карбонилсодержащих фрагментах положительный заряд в основном локализован на атоме кислорода. Преимущественное направление фрагментации по тому или иному пути определяется природой группы Z. В сложных эфирах преимущественно образуются ацилий-катионы:



В карбоновых кислотах в результате расщепления образуются ионы



В масс-спектре реагента РОЛ имеются органические соединения с молекулярной массой 210, 254, 402, 594 Дальтон, содержащие гидроксильные –OH, сложноэфирные –C(O)–O–C, карбоксильные –C(O)–O–H группы и ароматические структуры (**рис. 2**).

Это подтверждается наличием соответствующих отрицательно заряженных ионов (–209; –253, –401; –593

Дальтон) в масс-спектре реагента в отрицательном режиме съемки. Интенсивность большинства остальных положительных ионов в масс-спектре была зарегистрирована на уровне фонового сигнала.

Далее для подтверждения предлагаемой структуры соединений были сняты масс-спектры сублатов Zn+РОЛ и Cu+РОЛ.

В режиме регистрации положительных ионов записанные для данных смесей масс-спектры были похожи по отдельным мультиплетным сигналам. Так, в частности, фиксировались интенсивные ионы +467 и +466. Данные ионы представляют собой катионированные цинком и медью молекулы терефталевой кислоты [9].

Так как цинк в природе является полиизотопным атомом, среди множества сигналов при анализе записанного масс-спектра смеси легко отбросить пики, относящиеся к соединениям, в состав которых не входит атом цинка. Область молекулярных ионов целевых соединений должна быть представлена мультиплетом пиков, который отвечал бы распространенности изотопов цинка 100:57:8:39:1 (или соответственно ^{64}Zn – 76,4%; ^{66}Zn – 43,9%; ^{67}Zn – 6,5%; ^{68}Zn – 29,9%; ^{70}Zn – 1,0%). Реальное соотношение интенсивностей пиков кластера молекулярного иона для цинкорганических соединений всегда сложнее из-за наличия в молекуле других полиизотопных атомов (^{13}C и т.д.).

При изучении полученных масс-спектров смеси соединений в отрицательных ионах была отмечена область, для которой возможно предложить эмпирическую формулу продукта $\text{Zn}+\text{РОЛ}$ – $\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_5$ моногидроксистерфталата цинка молекулярной массой 555 а.е.м. и $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_{12}\text{Zn}$ терефталата цинка молекулярной массой 467 а.е.м.

Ниже приведены ожидаемые для данных брутто-формулы виды кластеров с участием молекулярного иона цинка, сгенерированных в программе Isoform, а также соответствующая область масс в реально наблюдаемом масс-спектре (в отрицательных ионах $[\text{M}-\text{H}]^-$). По дан-

ным масс-спектрометрии (рис. 3) установлены эмпирические формулы соединений цинка с молекулярной массой 555,261933 и 467,426507.

Мы отметили также образование других кластеров отрицательных пиков, в частности, это области масс 643, 519 и 197 Дальтон, которые могут относиться к цинкорганическим соединениям. Однако интенсивности соответствующих ионов были невысоки, поэтому нет точности в воспроизведении изотопного паттерна сигнала, что не позволило предположить строение соответствующих соединений.

При идентификации масс-спектров медного сублата (рис. 4) следует помнить, что распространенность изотопов меди в природе: ^{63}Cu – 76,39%, ^{65}Cu – 34,05%, (^{63}Cu : ^{65}Cu = 100:44,6), поэтому по изотопному распределению для области молекулярного иона легко можно видеть количество атомов меди в молекуле.

При этом было установлено, что после сушки количество мультиплетных сигналов увеличилось и, в частности, увеличилась интенсивность мультиплета в области 466 Дальтон, что можно объяснить дегидратацией. Для достоверности результатов масс-спектрометрии исходную смесь $\text{Cu}+\text{РОЛ}$ сушили при 110°C в течение нескольких часов.

На рис. 4 приведены мультиплетные сигналы кластеров с участием молекулярного иона меди, также сгенерированных в программе Isoform.

По данным масс-спектроскопии установлены следующие эмпирические формулы, образующихся соединений (а.е.м.): $\text{C}_{20}\text{H}_{22}\text{O}_{12}\text{Cu}$ молекулярной массой 518,261933, $\text{C}_{24}\text{H}_{30}\text{O}_{14}\text{Cu}$ молекулярной массой 606,350798 и $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_{12}\text{Cu}$ молярной массой 466,180954. Интенсивность большинства остальных положительных ионов в масс-спектре была зарегистрирована на уровне фонового сигнала.

На основании полученных данных ИК-Фурье- и масс-спектрометрии, а также учитывая естественный ряд устойчивости комплексов двухзарядных ионов ме-

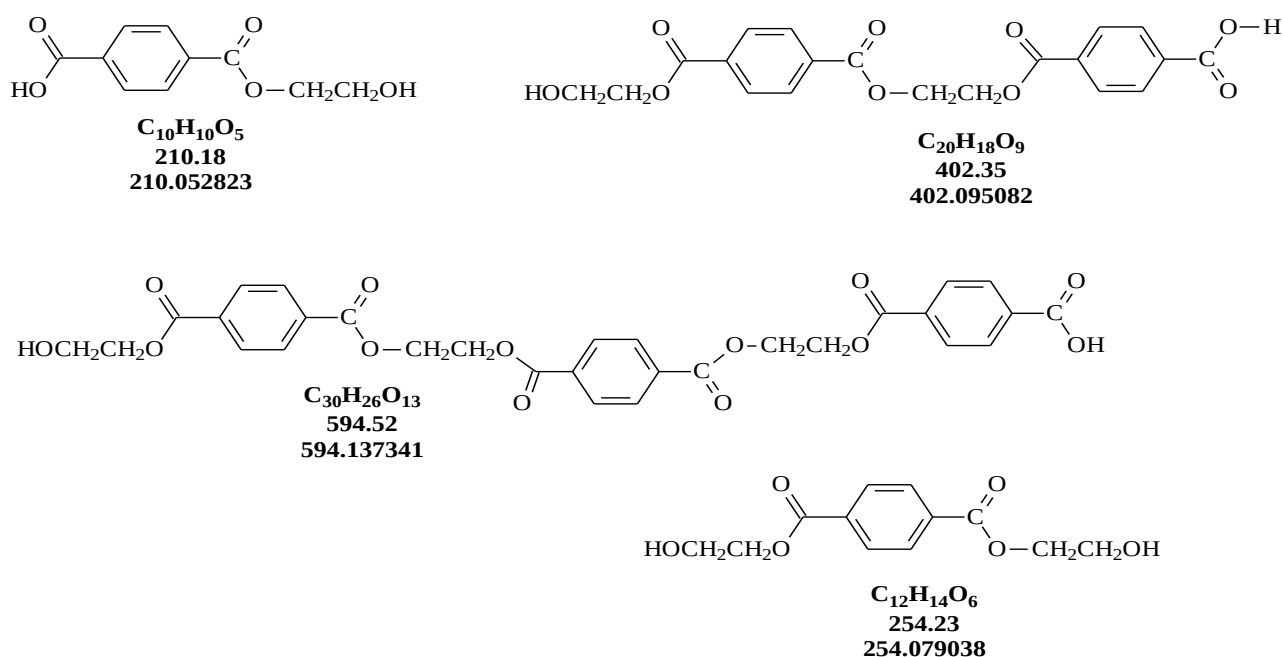
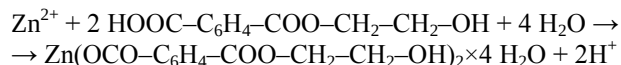


Рис. 2. Органические компоненты по данным интерпретации масс-спектров смеси Me-РОЛ

таллов первого переходного ряда, в котором ЭС- $ПЛ_{Zn} = 0$, структурно-химические формулы продуктов взаимодействия Zn^{2+} с реагентом РОЛ при $pH = 2$ могут быть представлены в результате обменной реакции с моногидроксиэтилтерефталатом, с терефталевой кислотой и являются кристаллогидратами моногидроксиэтилтерефталата цинка $Zn(MonoEtgl-tPht)_2 \times 4H_2O$ моляр-

ной массой $M_{Zn(MonoEtgl-tPht)_2 \times 4H_2O} = 555$ а.е.м.:



и терефталата цинка

$Zn(tPht)_2 \times 4H_2O$ $M_{Zn(tPht)_2 \times 4H_2O} = 467$ а.е.м.:

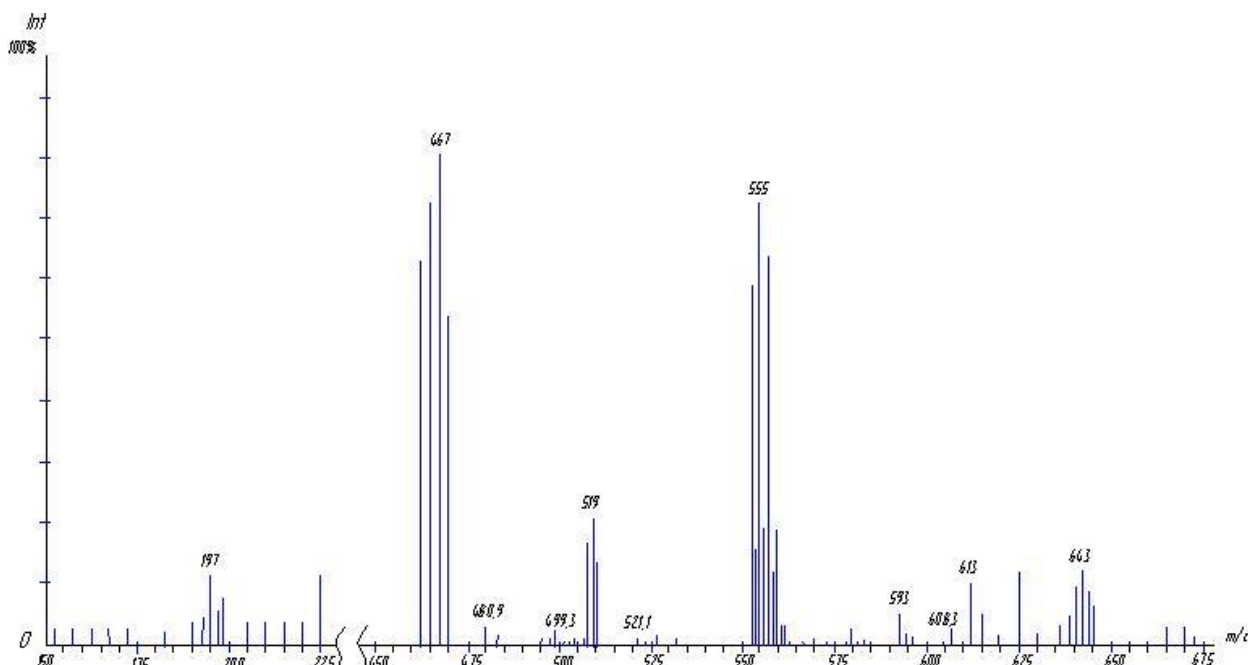


Рис. 3. Распределение интенсивностей пиков в области молекулярного иона цинка 467 и 555 Дальтон

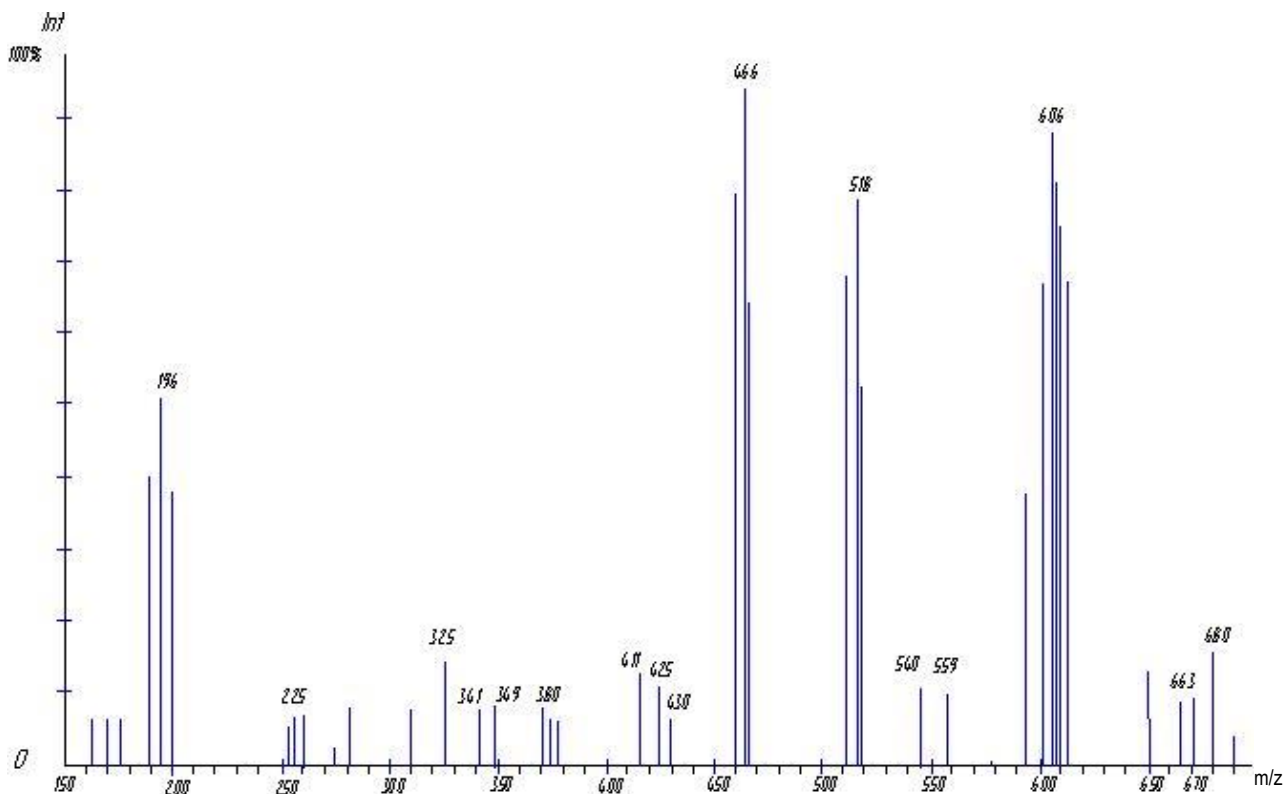
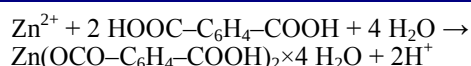
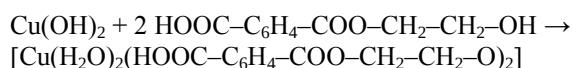


Рис. 4. Распределение интенсивностей пиков в области молекулярного иона меди 606, 518 и 466 Дальтон

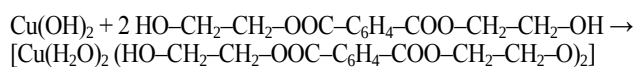


Выделяющиеся протоны водорода в ходе флотации ионов цинка реагентом РОЛ повышают кислотность раствора, что и было подтверждено pH-метрией. Образующиеся терефталаты цинка $\text{Zn}(\text{OCO-C}_6\text{H}_4\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH})_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Zn}(\text{OCO-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ выпадают в осадок.

На основании полученных данных о структурно-химических формулах продуктов взаимодействия Cu^{+2} при pH 7–8 с моно- и дигидроксиэтилтерефталатом можно представить их в виде хелатных аквакомплексов: $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{DiEtgl-tPht})_2]$ $M_{[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{DiEtgl-tPht})_2]} = 606$ а.е.м.



и $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{MonoEtgl-tPht})_2]$ $M_{[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{MonoEtgl-tPht})_2]} = 518$ а.е.м.



Комплексы образуются по донорно-акцепторному механизму. Они не имеют внешней сферы и нерастворимы в воде и в большинстве органических растворителей. По отношению к действию различных веществ полученные внутрикомплексные соединения достаточно устойчивы. На их прочность указывает тот факт, что медь не осаждается сероводородом из раствора моно- и дигидроксиэтилтерефталата меди.

Высокая устойчивость медных хелатных комплексов в растворах является следствием экранирования иона Cu^{+2} окружающими атомными группировками лигандов, в результате чего создаются неблагоприятные условия для доступа и атаки частиц H_2O , H_3O^+ и других, вызывающих обычно диссоциацию химических связей донорно-акцепторного типа.

Кроме того, по результатам исследований установлено наличие в составе медного сублата терефталата меди $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{tPht})_2]$ молярной массой $M_{[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{tPht})_2]} = 466$ а.е.м.

Выводы

Проведенными исследованиями продуктов взаимодействия молекул реагента РОЛ с ионами цинка и меди(II) методами ИК-Фурье- и масс-спектрометрии:

- установлено, что взаимодействие катионов тяжелых металлов с молекулами реагента РОЛ протекает на атомно-молекулярном уровне и сопровождается изменениями в их составе и свойствах. Эти изменения определяются природой и энергетическим состоянием взаимодействующих фаз;
- доказано, что при pH 2 цинк выделяется и концентрируется в пенный продукт – сублат, благодаря взаимодействию с терефталевой кислотой и моногидроксиэтилтерефталатом, в виде солей $\text{Zn}(\text{tPht})_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Zn}(\text{MonoEtgl-tPht})_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$, образующихся в результате обменной реакции;
- обосновано, что при pH 7–8 медь(II) первоначально осаждается в виде $\text{Cu}(\text{OH})_2$, а затем извлекается в медный сублат после взаимодей-

ствия с моно- и дигидроксиэтилтерефталатом, терефталевой кислотой. Структурно-химические формулы продуктов взаимодействия меди(II) с реагентом РОЛ представляют собой устойчивые хелатные комплексы $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{DiEtgl-tPht})_2]$, $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{MonoEtgl-tPht})_2]$ и $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{tPht})_2]$.

Список литературы

1. Пат. 2359920 РФ. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Медяник Н.Л., Шадрунова И.В., Гиревая Х.Я., Строкань А.М. (РФ) // БИПМ. 2009. № 18. С. 897–898.
2. Медяник Н.Л., Гиревая Х.Я. Извлечение ионов меди из сточных вод с помощью осадителей-восстановителей // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 113–114.
3. Медяник Н.Л. Количественная оценка активности собирателей для флотационного извлечения катионов цветных металлов из техногенных рудничных вод // Обогащение полезных ископаемых: сб. науч. тр. / под общ. ред. В.М. Авдохина. М.: Горная книга, 2009. № 0814. С. 210–215.
4. Выбор высокоэффективных реагентов для флотационного извлечения ионов меди (II) и цинка из техногенных гидроминеральных ресурсов / Медяник Н.Л., Варламова И.А., Калугина Н.Л., Гиревая Х.Я. // Вестник ИГТУ. 2010. № 3 (43). С. 91–96.
5. Панасюк Г.П., Азарова Л.А., Ворошилов И.Л. и др. // Неорганические материалы. 2005. 41. № 11. С. 1361–1365.
6. Bradley D.C., Mehrotra R.C., Rothwell I.P. and Singh A. // Alkoxo and Aryloxo Derivatives of Metals. Elsevier, 2001.
7. Органическая химия: учебник для вузов: в 2 кн. / Белобородов В.Л., Зурабян С.Э., Лузин А.П., Тюкавкина Н.А.; под ред. Н.А. Тюкавкиной. М.: Дрофа, 2008.
8. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 493 с.
9. Gross J.H. Mass Spectrometry / Institute of Organic Chemistry. Heilderberg, Germany, 2004. 912 p.

Bibliography

1. Patent 2359920 RF. The Way of Waste Water Refining of Ions of Heavy Metals / Medyanik N.L., Shadrunkova I.V., Girewaya H.Y., Strokana A.M. // BIPM. 2009. № 18. P. 897–898.
2. Medyanik N.L., Girewaya H.Y. Copper ions recovery out of waste water using precipitating- reducing agent // Bulletin of Magnitogorsk state technical university. 2007. № 1. P. 113–114.
3. Medyanik N.L. Quantitative assessment of precipitators activity for flotation recovery of non-ferrous metals cations out of mine waste waters // Mineral dressing: collection of scientific papers / under the editorship of V.M. Avdohin. M.: Mining Book, 2009. № 0814. P. 210–215.
4. Selection of high-performance agents for flotation recovery of copper (II) and zinc ions out of industrial hydro mineral resources / Medyanik N.L., Varlamova I.A., Kalugina H.L., Girewaya H.Y. // Bulletin of Irkutsk state technical university. 2010. № 3 (43). P. 91–96.
5. Panasuk G.P., Azarova L.A., Voroshilov I.L. et al. // Inorganic Materials. 2005. 41. № 11. P. 1361–1365.
6. Bradley D.C., Mehrotra R.C., Rothwell I.P. and Singh A. // Alkoxo and Aryloxo Derivatives of Metals. Elsevier, 2001.
7. Organic Chemistry: textbook for Universities: 2 books / Beloborodov V.L., Zurabyan S.E., Luzin A.P., Tukavkina N.A.; under the editorship of N.A. Tukavkina. M.: Drofa, 2008.
8. Lebedev A.T. Mass spectrometry in organic chemistry. M.: BINOM. Laboratory of knowledge, 2003. 493 p.
9. Gross J.H. Mass Spectrometry / Institute of Organic Chemistry. Heilderberg, Germany, 2004. 912 p.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 658.512:669.1.013

Сулейманов М.Г., Тимиргалеева Л.Ш., Радуль М.А., Шакирова А.К.

ОЦЕНКА И УЧЕТ ПРОМЫШЛЕННОГО РИСКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Современные металлургические предприятия представляют собой сложный комплекс технических систем, в которые входят значительное количество цехов и хозяйств. В них эксплуатируется множество машин и мощных агрегатов. Между агрегатами цехов существует тесная технологическая, энергетическая и другие виды связи. Нарушение нормального хода процессов из-за аварий, инцидентов и отклонений от предусмотренных технологическими регламентами параметров приводит к большим экономическим потерям и снижению эффективности и устойчивости работы объекта. В большинстве случаев указанные явления реализуются в связи с недостаточной изученностью процессов, быстрым выходом из строя оборудования из-за их несовершенства, отсутствием или неисправностью средств защиты, отсутствием от требований технологической документации, нарушением регламента ревизии технических устройств и т.д. Значительное влияние на устойчивость работы агрегатов оказывает так называемый «человеческий фактор». С целью снижения отказов оборудования его выбирают с требуемым запасом прочности, регламентируемым правилами безопасности, нормами и инструкциями. В некоторых случаях отдельные элементы оборудования выполняют менее надежными, то есть используют принцип «слабого звена».

Выбор того или иного способа повышения устойчивости работы предприятий осуществляется соответствующими проектными решениями и путем использования управленческих мероприятий в процессе эксплуатации промышленного объекта. Поэтому проектные и эксплуатирующие организации должны установить, внедрить и выполнить процедуры идентификации, оценки и определения необходимых мер управления рисками [1–5]. Риски рассчитываются как произведение вероятности на последствия события.

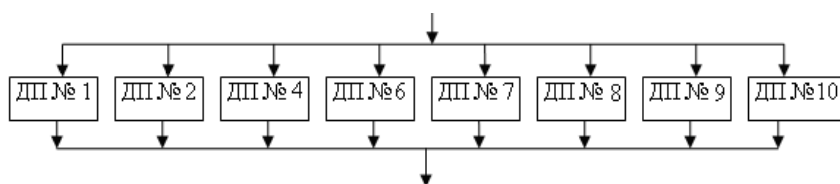
В рамках сложившихся в настоящее время норм и правил проектирования разработка технических заданий на проект, технико-экономическое обоснование и

предэскизное проектирование выполняются с косвенным учетом требований промышленной безопасности. Это связано с недостатком изученности возможных аварийных ситуаций и отсутствием методов оценки вероятности их возникновения. В большинстве случаев считают, что для обеспечения промышленной безопасности достаточно соблюдения действующих нормативов по безопасности. Поэтому учет факторов риска для нормального функционирования объекта осуществляется выбором производительности и производственной мощности объекта путем резервирования отдельных видов оборудования и времени их работы.

Производительность цеха определяется объемом готовой продукции, выпускаемой в единицу времени. В настоящее время производительность рассчитывают исходя из допущения, что процесс производства является установившимся, то есть не учитываются факторы промышленного риска, нарушающие устойчивость работы предприятия. Проектная мощность представляет собой определяемое расчетом количество готовой продукции заданного сортамента и количества, которое может быть получено в цехе в течение календарного года при освоении запроектированной технологии производств и оборудования, бесперебойном снабжении исходным сырьем, энергоносителями, материалами, инструментом при передовых методах управления производством, высокой квалификации персонала и с учетом промышленного риска. При расчете производительности и производственной мощности также учитываются периодичность и продолжительность всех видов ремонтов, текущее обслуживание механизмов, замена сырья, оборудования, инструмента и другие регламентирующие факторы [6, 7]. Расчетную производительность объекта корректируют введением коэффициента запаса, составляющего на практике 1,05–1,5 и более.

Для установления резерва оборудования по времени и мощности с учетом аварий и инцидентов возникает необходимость в разработке методики оценки вероятности отказов отдельного вида оборудования, системы оборудования и рассматриваемого промышленного объекта.

Вероятность аварийной ситуации Q (по техническим, организационным и прочим причинам) и безотказной работы P каждого из



Упрощенная схема технологического процесса доменного цеха

агрегатов рекомендуется рассчитать по формулам:

$$Q = 1 - \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{раб}} + T_{\text{восст}}} = \frac{T_{\text{восст}}}{T_{\text{раб}} + T_{\text{восст}}}; \quad (1)$$

$$P = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{раб}} + T_{\text{восст}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{раб}}$ – фактическое время работы агрегата, ед. времени; $T_{\text{восст}}$ – среднее время, в течение которого агрегат находился на восстановительном ремонте в результате инцидентов, ед. времени.

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{ремонт}} - T_{\text{восст}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{кал}}$ – общий годовой баланс времени (365 сут); $T_{\text{ремонт}}$ – время, необходимое для производства всех видов ремонтных работ и осмотров, предусмотренное системой планово-предупредительных ремонтов, ед. времени.

Для последовательно работающих агрегатов вероятности безотказной работы $P_{\text{общ}}$ и отказов $Q_{\text{общ}}$ рекомендуется рассчитать по формулам:

$$P_{\text{общ}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i; \quad (4)$$

$$Q_{\text{общ}} = 1 - \prod_{i=1}^n P_i, \quad (5)$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ – вероятность безотказной работы каждого агрегата.

Для параллельно работающих агрегатов вероятности безотказной работы $P_{\text{общ}}$ и отказов $Q_{\text{общ}}$ рекомендуется рассчитать по формулам:

$$P_{\text{общ}} = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - P_j); \quad (6)$$

$$Q_{\text{общ}} = (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \dots \cdot (1 - P_n) = \prod_{j=1}^k (1 - P_j). \quad (7)$$

Формулы (4)–(7) применимы при одновременной работе оборудования в последовательных или параллельных системах. В качестве примера приведены расчеты для прокатного цеха (ЛПЦ-10) по усредненным показателям за семь лет. Установлено, что среднее время восстановления составило 319 ч, время регламентированных простоев 1588 ч, фактическое время работы оборудования 6860 ч. Вероятность того, что прокатная линия не простаивает, – 0,96, вероятность того, что прокатная линия исправна, – 0,04. Следовательно, для рассматриваемого объекта коэффициент резерва по производительности должен составлять 4%.

Для систем с однотипным оборудованием, работающих периодически (по контактному графику), то есть поочередно, например для доменных печей (см. рисунок), указанные выражения использовать затруднительно. Для этих систем, с учетом того, что поток инцидентов (ава-

рийных ситуаций) является пуассоновским, рекомендуется использовать выражение, выведенное на основании теории массового обслуживания [8, 9].

Вероятность того, что все агрегаты (в данном случае доменные печи) свободны от работы:

$$P_{\text{общ}} = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}}, \quad (8)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n$ – количество рассматриваемых агрегатов.

Вероятность занятости работой к агрегатов:

$$P_k = \frac{\alpha^n \cdot P_{\text{общ}}}{(n-1)!(n-\alpha)}, \quad (9)$$

где n – количество рассматриваемых однотипных видов технических систем, работающих по контактному графику; $\alpha = \lambda / \gamma$ – параметр, характеризующий поток заявок на обслуживание, λ – плотность потока заявок (входящих требований); γ – параметр потока обслуживания.

Вероятность простоя оборудования из-за возникающих инцидентов:

$$Q_k = 1 - P_k. \quad (10)$$

Использование формул (8)–(10) рассмотрим на примере оценки вероятностей нахождения доменных печей свободными от работы, занятыми работой и в состоянии простоев.

В примере рассматривается один из годов докризисного периода, когда эксплуатировались восемь печей ($n = 8$), имеющих основные показатели, приведенные в **таблице**. Количество фактических выпусков чугуна в сутки составляло $\gamma = 115$. Количество плановых выпусков одной печи 15. Параметр $\alpha = 115 / 15 = 7,67$.

В результате расчетов получено: вероятность того, что все печи свободны от работы $P_{\text{общ}} = 0,00012$;

Сведения о годовой работе доменного цеха

Показатель работы	Номер доменной печи								Сумма
	1	2	4	6	7	8	9	10	
Количество выпусков в сутки (факт)	14,5	14,4	14,0	14,5	14,2	14,1	14,6	14,7	115
Средний объем чугуна за выпуск, т (план)	230	219	207	210	215	220	293	271	233,2
Средний объем чугуна за выпуск, т (факт)	229	227	206	209	222	224	283	302	237,7

вероятность того, что все печи готовы к выдаче плавки $P_k = 0,864$; вероятность простоя оборудования $Q_k = 1 - 0,864 = 0,136$.

Расчеты показали, что 13,6% времени доменные печи не выдавали продукцию (отсутствовал выпуск чугуна). Анализ **таблицы** показывает, что все печи в период эксплуатации работали с повышенной нагрузкой, о чем свидетельствует разница между средним объемом чугуна за выпуск (фактические и плановые значения). Этому способствовала реконструкция отдельных элементов печей. Указанное равносильно увеличению количества выпусков в 1,02 раза (237,70/233,17). Поэтому $\alpha = 115 \cdot 1,02 / 15 = 7,82$. Тогда вероятность того, что все печи свободны от работы $P_{\text{общ}} = 0,000062$; вероятность того, что все агрегаты заняты работой $P_k = 0,956$; вероятность простоя оборудования $Q_k = 0,044$.

Таким образом, увеличение среднего объема чугуна за выпуск на 2% за счет реконструкции объектов привело к повышению надежности работы цеха до 95,6 %, что является весьма высокой для такого рода производств.

Так как вероятность того, что все агрегаты доменного цеха безотказно работают 95,6% времени, при проектировании объектов доменного цеха следует закладывать в проектные мощности коэффициент запаса до 5%, направленный на учет возможных рисков ситуаций (аварий и инцидентов). Это позволит повысить устойчивость и эффективность их работы.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», в ред. от 18.12.2006.
2. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании», в ред. от 09.05.2005.

3. Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов: утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 18 октября 2002 г. № 61-А.
4. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
5. РД 03-616-03. Методические рекомендации по осуществлению идентификации опасных производственных объектов.
6. Авдеев В.А., Друян В.М., Кудрин Б.И. Основы проектирования металлургических заводов. М.: Интермен инжиниринг, 2002. 464 с.: ил.
7. Методы и модели управления проектами в металлургии / Смирнов В.В., Власов С.А., Ваулинский Е.С., Лебедев В.И. М.: СИНТЕГ, 2001. 176 с.
8. Кодгман Л., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложение. М.: Мир, 1965.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

Bibliography

1. Federal statute 21.07.1997 116-FS «About the industrial safety of dangerous industrial objects» edition 18.12.2006.
2. Federal statute 27.12.2002 184-FS «About technical regulation» edition 09.05.2005.
3. General rules of industrial safety for organization realizing their activities in the dangerous industrial objects industrial safety field.
4. MD 03-418-01. Risk analysis execution methodological guidance for dangerous industrial objects.
5. MD 03-616-03. Identification dangerous industrial objects methodological recommendations.
6. Avdeev V.A., Druyan V.M., Kudrin B.I. Metallurgical works design basis. M.: Interminengineering, 2002. 464 p.
7. Project management methods and models in metallurgy / Smirnov V.V., Vlasov S.A., Vaulinskiy E.S., Lebedev V.I. M.: SINTEG, 2001. 176 p.
8. Kodgman L., Kruon R. Queueing theory. The theory and application. Moscow: World, 1965.
9. Ventcel E.S. Theory of chances. Moscow: Science, 1969. 576 p.

УДК 669.162.16

Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Чевычелов А.В., Колосов А.В., Гостенин В.А., Пишнограев С.Н.

ВЛИЯНИЕ КОКСОВОГО ОРЕШКА НА ФИЛЬТРАЦИЮ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

На доменной печи № 4 ОАО «ММК» исследовали влияние коксового орешка на дренажную способность горна без использования компенсирующих мероприятий. Оценили дренаж жидких продуктов плавки, используя ряд показателей [1]. В дополнение оценили время появления шлака.

В исследованиях коксовый орешек имел следующий ситовый состав:

фракция, мм	+25	17,5–25	15–17,5	12–15	10–12
содержание, %	18,8	73,5	5,1	2,2	0,5

В базовом периоде (I) коксовый орешек не грузили. В двух последующих периодах его загружали в количестве 350 кг (II) и 650 кг в подачу (III) соответственно. Орешек поступал в средний рудный скип, обозначенный в матрице загрузки как $A_{\text{ор}}$ (табл. 1).

В скипе материалы располагались следующим образом: на дно высыпался агломерат, орешек – предположительно перед окатышами. В печь материалы попадали в обратном порядке. Таким образом, создавались условия для некоторого перемешивания агломерата и коксового орешка.

Основные технологические показатели работы печи представлены в **табл. 2**.

Коэффициент замены кокса коксовым орешком после приведения второго и третьего периодов к условиям базового составил 0,68 кг/кг.

По нижнему перепаду давления газов оценили взаимное сопротивление шихты и газов при их противоточном движении. Сопоставили его величину в первой и второй половинах периода накопления про-

Таблица 1

Матрица загрузки доменной печи № 4 ОАО «ММК»

Содержание скипа	Станции лотка										
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
К			1			1	1				
К				1			1	1			
К						1				2	
А	3										
А _{ор}	1	1	1								
А		1			1		1				
К			1			1	1				
К				1			1	1			
К						1			2		
К				1				2			
А	3										
А _{ор}	1	1	1								
А		1			1		1				

Таблица 2

Основные технологические показатели работы доменной печи № 4

Наименование показателя	Период		
	I	II	III
Расход коксового орешка (сухого), кг/т чугуна	0	12,2	22,6
Удельный расход кокса (сухого, скипового), кг/т чугуна: фактический	434,3	428,1	421,5
	434,3	425,2	418,8
Производительность, т/сут: по фактическому количеству загруженных подач	3654	3706	3657
	3654	3760	3664
Расход, м³/т чугуна: дутья	1154	1132	1099
	109,5	110,7	112,8
Удельный расход всего топлива, кг/т чугуна: фактический (кокс, природный газ, коксовый орешек)	514,1	521,0	526,3
	434,3	440,3	441,1
	434,3	437,4	441,4
Расход сырьевых материалов, кг/т чугуна	1693	1693	1703
Интенсивность хода, т/м³ сутки: по руде	3,071	3,115	3,093
	0,701	0,699	0,700
Рудная нагрузка т/т	3,613	3,776	3,856
Содержание железа в шихте, %	57,19	57,17	56,84
Содержание в чугуне, %: Si	0,67	0,70	0,71
	Mn	0,31	0,33
	S	0,018	0,017
	C	4,762	4,764
Содержание в шлаке, %: SiO ₂	36,9	36,6	37,0
	Al ₂ O ₃	12,6	12,8
	CaO	36,5	36,3
	MgO	9,3	9,6
	S	0,693	0,678

дуктов плавки между выпусками из печи. Коэффициент сопротивления шихты при этом определяли по формуле Стефановича [2]. Дополнительно учитывали длительность срабатывания подач, поскольку она тем меньше, чем лучше дренаж чугуна и шлака через коксовую насадку в горне печи (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что в первом периоде, когда коксовый орешек не использовали, отношение перепадов давления в нижней части доменной печи составило 0,994, а отношение коэффициентов сопротивления шихты – 0,988. Во втором периоде, когда расход орешка составил 350 кг/подачу, отношения $\Delta P_{\text{нн}}/\Delta P_{\text{нк}}$ и $\lambda_{\text{шнн}}/\lambda_{\text{шнк}}$ повысились до 0,995 и 0,991 соответственно, что свидетельствует об улучшении газодинамики в нижней части доменной печи. Отношение $\Delta t_{\text{н}}/\Delta t_{\text{к}}$ во втором периоде относительно первого возросло с 0,948 до 0,958, что также указывает на улучшение дренажной способности горна. Увеличение содержания орешка в шихте доменной печи до 650 кг в подачу (период III) сопровождалось ухудшением дренажной способности горна, на что указывает уменьшение всех вышеперечисленных соотношений.

В табл. 4 представлены показатели, характеризующие сформировавшиеся продукты плавки. Вязкость шлака оценили по степени приближения фактического коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком к равновесной величине [3]. Количество оставшегося в печи шлака после выпуска рассчитали по формуле Кропотова В.К. [4].

Из табл. 4 видно, что введение коксового орешка в количестве 350 кг/подачу привело к более позднему появлению шлака. Скорость выпуска чугуна незначительно

Таблица 3

Показатели, характеризующие дренажную способность горна в период накопления жидких продуктов плавки

Наименование показателя	Период		
	I	II	III
Величина нижнего перепада давления, кПа:			
от конца предыдущего выпуска к середине межвыпускного периода $\Delta P_{\text{нн}}$	97,25	97,15	94,53
от середины межвыпускного периода к началу следующего выпуска, $\Delta P_{\text{нк}}$	97,79	97,59	95,15
Отношение $\Delta P_{\text{нн}}/\Delta P_{\text{нк}}$	0,994	0,995	0,994
Величина коэффициента сопротивления шихты в нижней части печи:			
от конца предыдущего выпуска к середине межвыпускного периода $\lambda_{\text{шнн}}$	12264	12930	13221
от середины межвыпускного периода к началу следующего выпуска $\lambda_{\text{шнк}}$	12412	13071	13403
Отношение $\lambda_{\text{шнн}}/\lambda_{\text{шнк}}$	0,988	0,991	0,987
Длительность срабатывания шихтовых материалов, с:			
от конца предыдущего выпуска к середине межвыпускного периода $\Delta t_{\text{н}}$	101	100	99
от середины межвыпускного периода к началу следующего выпуска $\Delta t_{\text{к}}$	107	104	106
Отношение $\Delta t_{\text{н}}/\Delta t_{\text{к}}$	0,948	0,958	0,937
$\Delta t_{\text{к}} - \Delta t_{\text{н}}$	6	4	7

Таблица 4

Показатели, характеризующие дренажную способность кокса в горне печи в период выпуска жидких продуктов плавки

Наименование показателя	Периоды		
	I	II	III
Расчетная вязкость шлака, Па·с	0,30	0,33	0,38
Количество остающегося в печи шлака после выпуска, ковша (ΔV)	0,706	0,682	0,842
Время от начала выпуска до появления шлака, мин:			
на летке № 1 (t_1)	6,5	7,2	6,1
на летке № 2 (t_2)	10,83	12,69	9,65
Среднеарифметическое значение между t_1 и t_2 (t)	8,67	9,95	7,88
Скорость выпуска чугуна, т/мин:			
из летка № 1 (V_1)	4,46	5,34	4,68
из летка № 2 (V_2)	5,45	4,84	5,32
Среднеарифметическое значение между V_1 и V_2	4,96	5,1	5,0

Таблица 5

Характеристики чугуна

Наименование показателя	Период		
	I	II	III
Содержание Si в чугуне, %:			
летка № 1 [Si_1]	0,68	0,71	0,73
летка № 2 [Si_2]	0,65	0,67	0,69
Отношение [Si_1]/[Si_2]	1,05	1,06	1,06
Среднеарифметическое значение между [Si_1] и [Si_2]	0,668	0,695	0,711
Температура чугуна, °C:			
поступающего из летки № 1 (t_1)	1468	1467	1455
то же из летки № 2 (t_2)	1481	1501	1495
Среднеарифметическое значение между t_1 и t_2	1474,5	1484	1475

увеличилась, а количество остающегося шлака в печи после закрытия летки уменьшилось. Это свидетельствует о том, что дренажная способность горна не ухудшилась. Доведение расхода орешка до 650 кг/подачу ухудшило фильтрацию жидких продуктов по этим показателям. На это же указывает сокращение времени появления шлака и увеличение вязкости шлака.

В табл. 5 представлены показатели чугуна, характеризующие тепловое состояние доменной печи.

Из табл. 5 видно, что в периоде I среднее содержание кремния составило 0,668%. С введением орешка в количестве 350 кг в подачу и доведением его до 650 кг содержание кремния повысилось до 0,695 и 0,710% соответственно. Во втором периоде относительно первого температура чугуна повысилась с 1474,5 до 1484°C. В третьем периоде она вновь опустилась до 1475°C. Эти данные также свидетельствуют о стабильной фильтрации кокса в горне во втором периоде и ухудшении в третьем.

Заключение

Выявлено, что при загрузке в доменную печь, оборудованной бесконусным загрузочным устройством, кокса фракции 25–10 мм в количестве 12,2 кг/т чугуна фильтрация жидких продуктов плавки через слой кокса соответствовала требованиям. При доведении его до 22,6 кг/т чугуна дренажная способность горна ухудшилась. Коэффициент замены кокса косовым орешком составил 0,68 кг/кг.

Список литературы

1. Результаты использования в доменной печи коксового орешка с одновременным улучшением качества скипового кокса / Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А., Семенюк М.А., Бегинюк В.А. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 24–27.
2. Стефанович М.А. Анализ хода доменного процесса. Свердловск: Metallurgizdat, 1960. 284 с.
3. Metallurgy of iron / Vegman E.F., Zherebin B.N., Pokhvisnev A.N., Yusfin Y.S. M.: Akademiya, 2004. 774 с.
4. Кропотов В.К. Оценка дренажной способности кокса в горне доменных печей // Производство чугуна: межвуз. сб. Магнитогорск: МГМИ, 1987. С. 109–119.

Bibliography

1. The results of the joint use of coke nut with a simultaneous improvement of a skip coke quality in a blast furnace / Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Polinov A.A., Semenyuk M.A., Beginyuk V.A. // Vestnik MSTU named after G.I. Nosov. 2010. № 2. P. 24–27.
2. Stefanovich M.A. The operation analysis of the blast furnace process. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 1960. 284 p.
3. Metallurgy of Iron / Vegman E.F., Zherebin B.N., Pokhvisnev A.N., Yusfin Y.S. M.: Akademiya, 2004. 774 p.
4. Kropotov V.K., An evaluation of a drainage capacity of coke in a hearth of blast furnaces // Production of iron: Mezhdvuzovskiy sbornik. Magnitogorsk MSMI, 1987. P. 109–119.

УДК 622.781.051.7-492.2

Сибгатуллин С.К., Иванов А.В., Решетова И.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Получение качественного агломерата и высокопроизводительная работа агломерационных машин в большой степени зависят от подготовки агломерационной шихты к спеканию. Необходимым условием

для достаточного поступления воздуха в спекаемый слой является хорошая газопроницаемость сырой окомкованной шихты [1]. Объединение мелких частиц в гранулы и упрочнение их при окомковании

позволяет значительно снизить сопротивление просасываемого через спекаемый слой воздуха. Поэтому проведение мероприятий по повышению газопроницаемости весьма желательно, особенно в условиях перехода на технологию с высоким содержанием тонкоизмельченных концентратов.

Перспективным направлением, позволяющим существенно интенсифицировать процесс окомкования железорудных материалов, является применение высокомолекулярных водорастворимых органических поверхностно-активных веществ (ПАВ) [2] в качестве дополнительного связующего материала. Поверхностно-активные вещества имеют характерное преимущество – они полностью удаляются во время процесса агломерации, не нанося ущерба окружающей среде.

Целью проводимой работы является изучение возможности и поиска условий окомкования шихты с использованием водных растворов ПАВ, обеспечивающих её максимальную газопроницаемость.

Фундаментальное свойство ПАВ заключается в способности адсорбироваться на поверхностях и межфазных границах. Движущей силой данной адсорбции является снижение свободной поверхностной энергии границы раздела фаз или поверхностного натяжения [3]. В процессе окомкования происходит коагуляция твердых частичек увлажненной шихты, в результате чего образуются гранулы-агрегаты с различной прочностью контактов. Эти агрегаты состоят из десятков и сотен дисперсных железорудных частичек, разделенных тонкими (наноразмерными) пленками жидкости [4]. Благодаря своему дифильному строению, молекулы поверхностно-активного вещества, адсорбируясь на границе жидкость-твердое тело, ориентируются определенным образом: гидрофильная часть молекул взаимодействует с полярными молекулами воды, а гидрофобная часть выталкивается в неполярную фазу (частицы шихты) [5]. Происходит своего рода разрыхление водных пленок, которые располагаются между твердыми частичками, т.е. снижается поверхностное натяжение воды. Благодаря этому повышаются силы когезии, улучшается комкуемость шихты, а также увеличивается прочность и крупность получаемых гранул.

Особенно это должно влиять на тонкоизмельченные железорудные концентраты, обладающие большой удельной поверхностью. Поэтому соответствующее внимание при исследовании было уделено именно таким шихтам.

Для изучения эффекта влияния водных растворов ПАВ были проведены эксперименты в лаборатории кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» по методике, разработанной А.Г. Неясовым. В качестве связующих добавок были выбраны 2 вещества из класса оксиэтилированных алкилфенолов.

Исследование проводилось в два этапа.

Первый этап заключался в выборе оптимальных параметров шихт по содержанию в ней углерода и влажности. Для этого была произведена серия спеканий агломерационных шихт с варьированием требуемых параметров. Подготовка шихты к опытам заключалась во взвешивании необходимого количества материалов

естественной влажности, их смешивании и увлажнении с последующим окомкованием. Смешивание и окомкование шихты осуществлялось в стационарном барабанном окомкователе с частотой вращения 30 об/мин и внутренним диаметром 320 мм. Спекание агломератов производили на лабораторной агломерационной установке. Она включает в себя спекательную чашу диаметром 70 мм и высотой 250 мм, опирающуюся на основание, которое выполняет функцию колосниковой решетки. Для предотвращения тепловых потерь спекательную чашу изолировали керамическим стаканом. Воспроизводимость результатов спеканий обеспечивали постоянством от опыта к опыту гранулометрического состава всех компонентов шихты, условий смешивания, окомкования и увлажнения шихты, загрузки её в чашу и зажигания. Высота слоя составляла 220 мм, основность 1,75 (по CaO/SiO_2), содержание возврата в шихте 25%. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что содержание углерода и влажность шихты, при которых достигнуты наилучшие показатели процесса, составили 7 и 11% соответственно.

На втором этапе исследований были определены концентрации органических связующих, обеспечивающие максимальные значения удельной производительности и показателей холодной прочности. Для этого заранее были приготовлены водные растворы ПАВ различной концентрации, которые подавались во вращающийся барабан, путем равномерного распыления на шихту. Результаты экспериментов второго этапа представлены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты экспериментов по выбору параметров шихты

Параметры	Значения						
Влажность шихты, %	10,5	10,5	10,5	10,5	10	11	12
Содержание углерода, %	4	5	7	8	7	7	7
Концентрация ПАВ, мг/л	0	0	0	0	0	0	0
Скорость спекания, мм/мин	14,60	15,61	16,54	15,36	15,89	15,36	12,63
Выход годного (+5 мм от агглюспека), %	56,88	66,65	77,90	71,75	73,88	80,12	78,80
Удельная производительность, т/м ² ·ч	0,50	0,67	0,81	0,63	0,75	0,79	0,63
Сопротивление удару (+ 5 мм), %	63,83	68,31	76,38	73,87	73,80	78,82	76,59
Разрушение (0,5–5 мм), %	29,84	25,76	18,74	20,53	21,81	16,54	17,55
Истирание (0–0,5 мм), %	6,33	5,93	4,88	5,60	4,39	4,64	5,86
Средняя газопроницаемость за время спекания, м/[с·Па] 10 ⁻²	12,05	10,97	12,54	11,44	11,36	14,01	9,21

Таблица 2

Результаты экспериментов с изменением концентрации
поверхностно-активных веществ

Параметры	Используемые вещества									
	ПАВ-1					ПАВ-2				
Концентрация ПАВ, мг/л	0	0,08	0,4	1	4	0	0,5	1	5	10
Скорость спекания, мм/мин	11,58	11,86	16,62	15,50	15,77	15,34	16,02	13,79	15,36	14,85
Выход годного (+ 5 мм от агглюспека), %	63,29	79,03	80,10	77,28	69,12	77,27	84,26	83,00	80,47	68,18
Удельная производительность, т/м ² ·ч	0,59	0,81	0,90	0,82	0,74	0,77	0,87	0,77	0,80	0,63
Сопротивление удару (+ 5 мм), %	62,70	76,02	78,67	76,71	73,48	76,20	80,57	80,66	78,90	63,26
Разрушение (0,5–5 мм), %	25,86	18,45	18,74	18,23	20,43	17,69	16,16	14,87	16,46	30,46
Истирание (0–0,5 мм), %	11,44	5,69	5,13	4,95	6,10	6,10	3,27	4,46	4,63	6,28
Средняя газопроницаемость за время спекания, м/[с·Па]·10 ⁻²	6,07	10,39	11,07	10,47	9,01	13,81	14,91	14,79	14,01	9,60

Из табл. 2 видно, что искомые параметры процесса спекания были достигнуты при концентрациях ПАВ-1 и ПАВ-2, составляющих 0,4 и 0,5 мг/л соответственно.

Таким образом, видно, что в результате добавки поверхностно-активного вещества газопроницаемость агломерационной шихты значительно увеличивается. При этом возрастает скорость спекания, что, в свою очередь, приводит к увеличению производительности. В результате лучшего окомкования шихты повышает-

ся эффективность теплообмена, что приводит к улучшению прочности агломерата в холодном состоянии при неизменном расходе топлива.

Список литературы

1. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
2. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. М.: Металлургия, 1967. 368 с.
3. Холмберг К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах: пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 528 с.
4. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии: учеб. пособие для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 240 с.
5. Зимон А.Д. Коллоидная химия: учебник для вузов. 3 изд., доп. и испр. М.: Агар, 2003. 320 с.

Bibliography

1. Korotich V.I., Frolov U.A., Bezdejskiy G.N. Sintering of ore materials. Ekaterinburg: «USTU-UPI», 2003. 400 p.
2. Bazilevich S.V., Vegman E.F. Sintering. M.: Metallurgy, 1967. 368 p.
3. Holmberg K. Surfactants and polymers in aqueous solution: Translate from engl. M.: BINOM. Laboratory of knowledge, 2007. 528 p.
4. Summ B.D. The bases of colloidal chemistry: the manual for students of higher educational institutions. M.: Publishing center «Academy», 2006. 240 p.
5. Zimon A.D. Colloidal chemistry: textbook for high schools. 3 edition, added and corrected. M.: Agar, 2003. 320 p.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.778.1-419.4

Вдовин К.Н., Кольга М.А.

ОМЕДНЕНИЕ ПРОВОЛОКИ

В настоящее время существует большое количество способов получения биметаллов. Нами выбран металлургический способ – протяжка стального сердечника через расплав меди. Линия по производству биметаллической проволоки защищена патентом на полезную модель.

Биметаллическая проволока представляет собой сердечник из высококачественной низкоуглеродистой стали в оболочке из меди марки М1. Такую проволоку можно применять как проводниковую (для пролетов электропередач длиной до 2 км), в приборо- и машиностроении, в электро- и радиопромышленности, при производстве тросов, сеток и предметов широкого потребления. Поэтому организация производства новых видов и сортов биметаллической проволоки, а также усовершенствование технологии ее производства являются актуальной задачей.

Соединение твердого металла с жидким отличается тем, что после нагрева один из металлов остается в твердом состоянии, а второй – расплавлен и создает плотный контакт с первым. В контактной зоне происходят диффузионные процессы и кристаллизация, обуславливающие образование прочных металлических связей.

Из опыта получения различного рода покрытий металлов известно, что для получения качественного покрытия рекомендуется обеспечивать выполнение следующих условий:

- тщательная очистка покрываемой поверхности;
- необходимое качество медного расплава;
- обеспечение необходимой температуры расплава;
- оптимальная скорость протяжки.

Скорость протяжки определяет продолжительность взаимодействия стального сердечника с расплавленной медью и выбирается в зависимости от требуемой толщины покрытия. Определение оптимальной скорости протяжки осуществляется опытным или расчетным путем. Чтобы рассчитать толщину образующегося покрытия, можно провести математическое моделирование процесса омеднения.

За время своего пребывания в расплаве стальной сердечник должен поглотить тепло перегрева и тепло затвердевания и кристаллизации определенной части жидкой меди, не изменяя своего агрегатного состояния и механических свойств, которые для омедненной проволоки очень жесткие ($\sigma_{\text{в}}=750$ МПа).

Полный новый технологический процесс омеднения стальной проволоки представляет собой следующее:

- очистка стального сердечника (проволоки);
- нагрев и расплавление меди;

- заправка проволоки в приемное и тянущее устройства;
- протяжка и намораживание меди на сердечник.

Обеспечить качественную очистку поверхности стального сердечника удалось в специальном блоке механической очистки за счет вращения щеток вокруг проволоки. Этот блок защищен патентом на полезную модель.

При проведении экспериментов по омеднению проволоки протяжку стального сердечника через расплав меди осуществляли вручную при различных температурах и скоростях. Для экспериментов использовали проволоку длиной 3,5 м. Требуемая толщина покрытия составляла 0,2–0,3 мм.

Первоначально скорость протяжки была установлена согласно расчетам равной 1 м/с, а начальную температуру сердечника изменяли от 20 до 200°C. Температура меди варьировалась в диапазоне 1100–1300°C.

При температуре расплава 1100°C медь хорошо прилипала к стальному сердечнику, при температуре 1200°C процесс налипания происходил хуже, а при температуре 1300°C необходимая толщина медного покрытия не достигалась вообще.

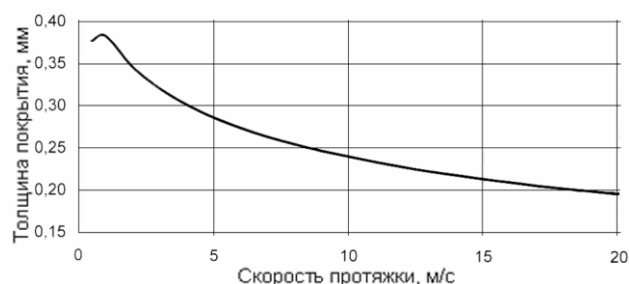


Рис. 1. Изменение толщины покрытия от скорости протяжки при температуре меди 1200°C

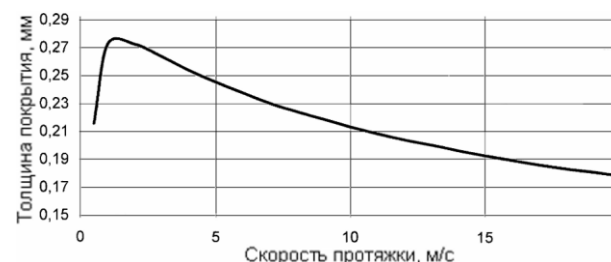
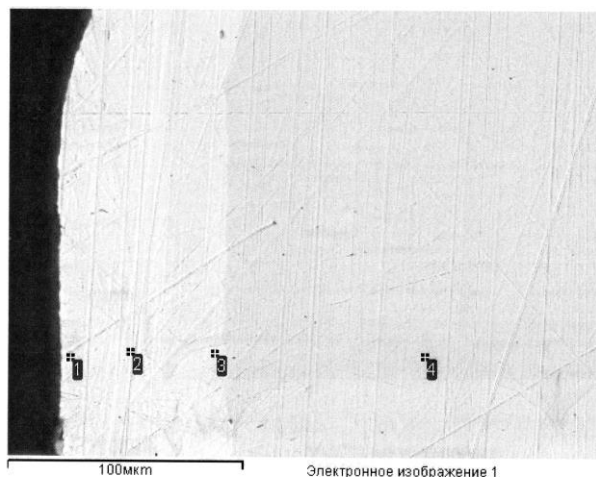


Рис. 2. Изменение толщины покрытия от скорости протяжки при температуре меди 1300°C



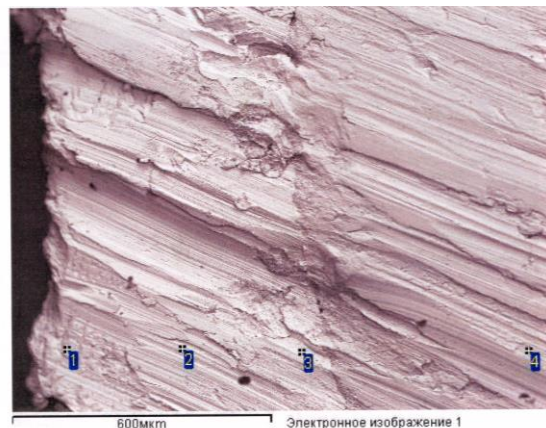
× 500

Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован)

Спектр	В стат.	Si	Mn	Fe	Cu	Итог
1	Да			1.97	98.03	100.00
2	Да			1.06	98.94	100.00
3	Да			2.63	97.37	100.00
4	Да	0.04	0.75	99.21		100.00
Макс.		0.04	0.75	99.21	98.94	
Мин.		0.00	0.00	1.06	0.00	

Все результаты в весовых %

Рис. 3. Вид образца № 3 б под микроскопом и результаты определения химического состава стыка стали и меди

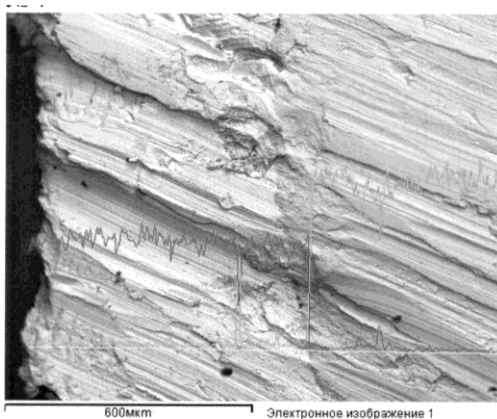


× 100

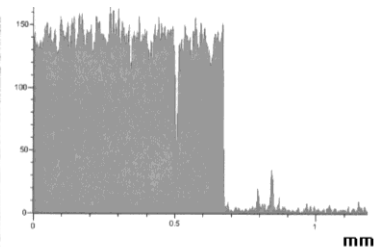
Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован)

Спектр	В стат.	Si	Mn	Fe	Cu	Итог
1	Да				100.00	100.00
2	Да				100.00	100.00
3	Да			0.76	99.24	100.00
4	Да	0.35	0.50	99.15		100.00
Макс.		0.35	0.50	99.15	100.00	
Мин.		0.00	0.00	0.00	0.00	

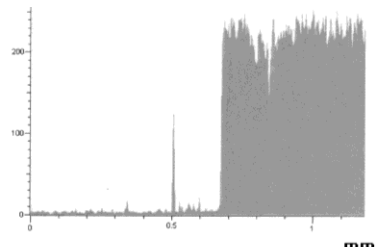
Рис. 4. Вид образца № 4 под микроскопом и результаты определения химического состава стыка стали и меди



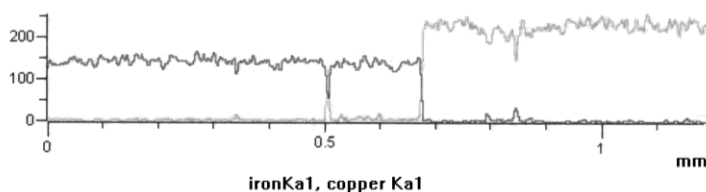
× 100



Copper Ka1



Iron Ka1



ironKa1, copper Ka1

Рис. 5. Спектры медного покрытия и стального сердечника

Влияние скорости протяжки на толщину покрытия отражено на **рис. 1, 2** (для скоростей 5–20 м/с приведены расчетные данные).

По **рис. 2** видно, что при выборе соответствующей скорости протяжки можно получить покрытие необходимой толщины и при температуре расплава 1300°C.

Таким образом, в ходе экспериментов было установлено, что наибольшее влияние на толщину покрытия оказывает не температура расплава меди, а скорость протяжки.

Качество покрытия определяли по ГОСТ 3822-79 «Проволока биметаллическая сталемедная». Качество представленных образцов вполне соответствовало предъявляемым требованиям.

Надежность сцепления меди и стального сердечника проверили с помощью микрорентгеноспектрального анализа образцов, полученных в ходе экспериментов.

На **рис. 3** представлен микрошлиф образца № 3 б.

На **рис. 4** представлен вид образца № 4.

Из этих рисунков видно, что медь хорошо прилипает к железной основе (стальному сердечнику), химический состав слоя 3 показывает переходную зону.

Также для всех образцов были получены спектры меди и железа, которые точно отмечают границы покрытия. Например, на **рис. 5** показана граница перехода от меди к железу при увеличении $\times 100$ (образец № 4). Четкие границы между медным и железным слоем видны также на спектре сканирования, приведенном в нижней части рисунка.

Таким образом, тщательное исследование отобранных образцов позволяет утверждать, что предложенная технология омеднения стальной проволоки вполне работоспособна и может быть реализована в промышленных масштабах.

УДК 621.746.628.01

Чернов В.П., Насонов П.Н.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ОКСИДНЫХ СПЛАВОВ

При затвердевании отливок из оксидных сплавов существенным моментом является то, что при быстром охлаждении развитие кристаллизации не происходит и образуется стекловидная фаза [1]. Поэтому нами были произведены исследования по уменьшению скорости охлаждения отливки в песчано-глинистой форме за счет установления теплоизолятора – асбест.

В форме установили асбест толщиной 20 мм на расстоянии 20 мм от отливки. Температуру фиксировали с помощью термопар Pt–Pt + 10%Rh, установленных в центре отливки и на границе форма-отливка. В процессе затвердевания показания с термопар фиксировались внешним устройством аналогово-цифрового преобразования ЛА-50USB.

После обработки данных получили зависимости скорости охлаждения оксидных расплавов от времени, представленные на **рис. 1–4**.

Проанализировав рисунки, можно сделать вывод, что введение теплоизолятора в форму способствовало снижению скорости охлаждения (см. **таблицу**). При сопоставлении полученных скоростей охлаждения сплавов с ранее рассчитанными критическими скоростями [2] получается, что кислотостойкий и щелочестойкий сплавы имеют меньшие скорости, чем критические, что способствовало их высокой степени закристаллизованности, а у термостойкого и износостойкого скорость в 2–4 раза больше, поэтому в них выделилось 30–35% стекла. При сопоставлении со скоростями охлаждения в простой ПГФ скорость охлаждения у всех сплавов уменьшилась в 2–3 раза.

Проведенный фазовый анализ на дроне УМ1 показал, что в отливках, закристаллизованных в форме с асбестом, в наибольшем количестве выделились такие

фазы, как волластонит, мелилит и пироксены. Это связано, в первую очередь, с достаточно низкими скоростями охлаждения и химическим составом, которые создали условия для их выделения.

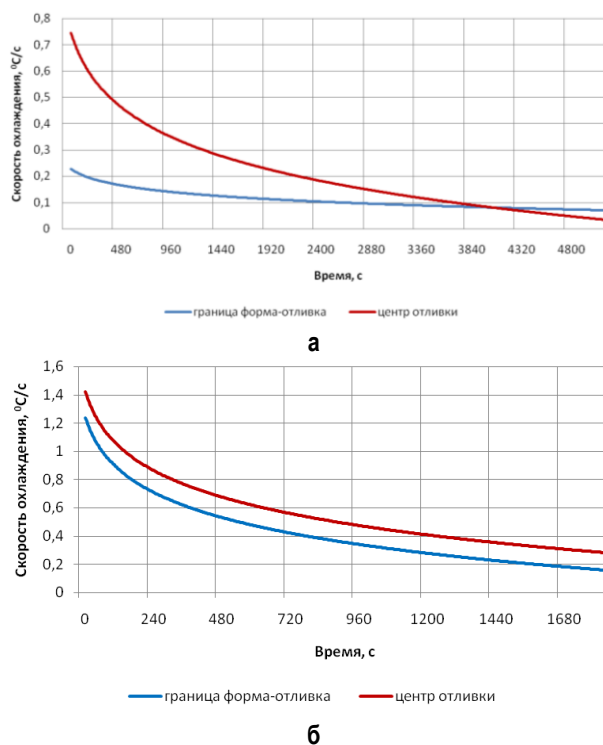


Рис. 1. Скорости охлаждения кислотостойкого состава:
а – форма с теплоизолятором – асбест;
б – песчано-глинистая форма

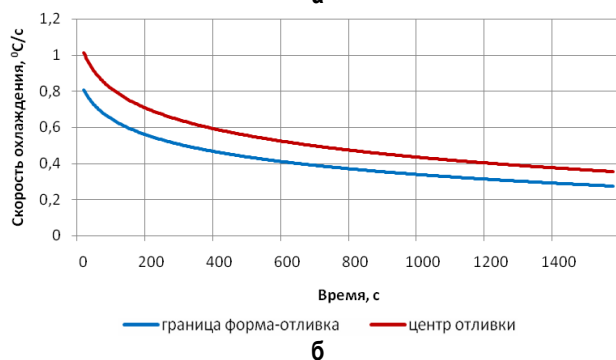
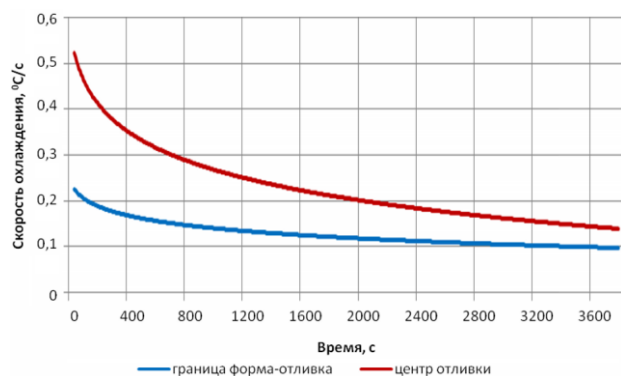


Рис. 2. Скорости охлаждения щелочестойкого состава:
а – форма с теплоизолятором – асбест;
б – песчано-глинистая форма

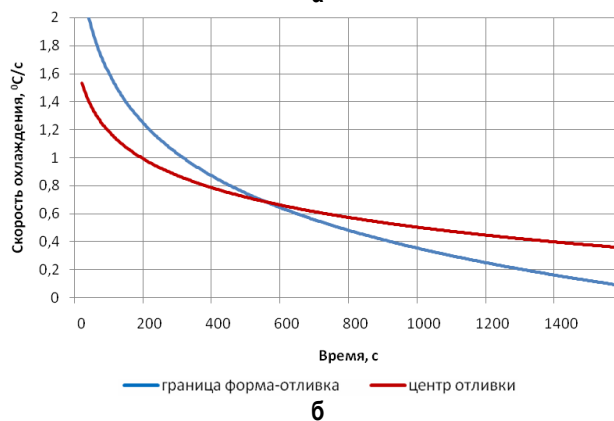
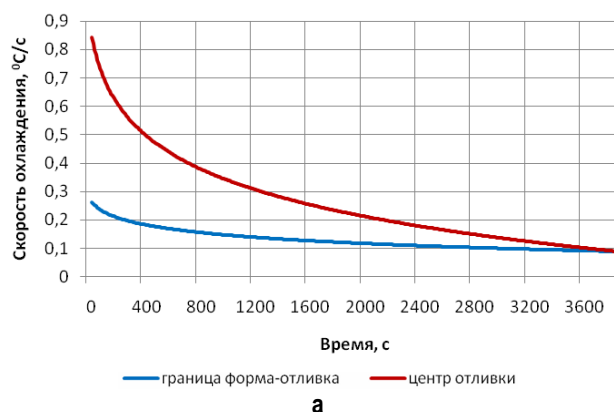


Рис. 4. Скорости охлаждения термостойкого состава:
а – форма с теплоизолятором – асбест;
б – песчано-глинистая форма

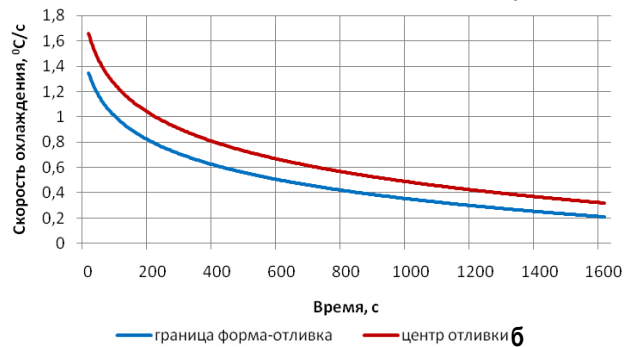
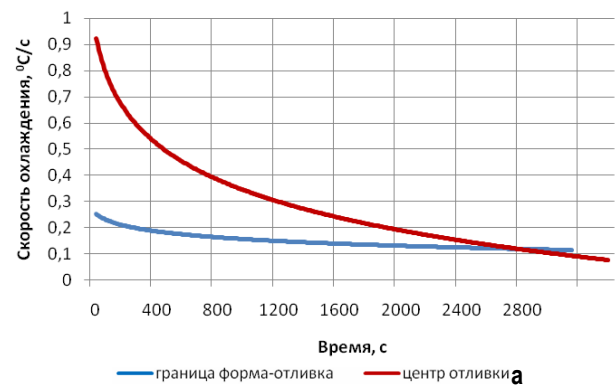


Рис. 3. Скорости охлаждения износостойкого состава:
а – форма с теплоизолятором – асбест;
б – песчано-глинистая форма

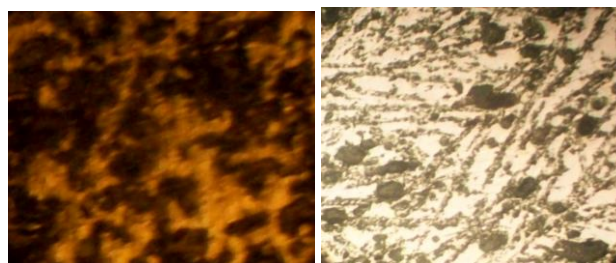


Рис. 5. Структура образцов, закристаллизованных в
ПГФ с теплоизолятором, ×500:
а – износостойкий; б – кислотостойкий;
в – щелочестойкий; г – термостойкий

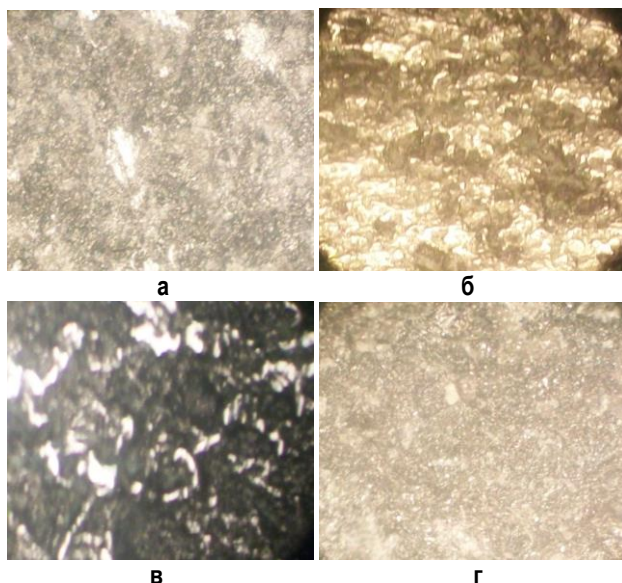


Рис. 6. Структура образцов, закристаллизованных в камерной высокотемпературной электропечи ПЛ 20/12,5, $\times 500$: а – износостойкий; б – кислотостойкий; в – щелочестойкий; г – термостойкий

Малые скорости охлаждения привели к разграничению фаз, росту и индивидуализации образований моноклинного пироксена в закристаллизовавшейся отливке, что видно на рис. 5 и подтверждается фазовым составом.

В отличие от отливок, полученных с асбестом, образцы, залитые в простую ПГФ и подвергнутые дополнительной кристаллизации в твердом состоянии, имеют более мелкую структуру и меньшую долю стекла (рис. 6).

В связи с вышесказанным логично будет отметить, что фазовый состав отливок, имеющих одинако-

Практические скорости охлаждения

Сплав	Скорость охлаждения, °С/мин			
	Граница форма–отливка		Центр отливки	
	с асбестом	ПГФ	с асбестом	ПГФ
Износостойкий	7,8	29,1	14,2	38,5
Кислотостойкий	6,4	24,7	12,2	32,4
Щелочестойкий	6,8	25,2	13,5	38,0
Термостойкий	7,2	35,5	12,5	38,1

вый химический состав, будет различен и соответственно большинство физико-механических свойств будут отличны.

Для отливок, закристаллизованных в форме, основной группой минералов в термо-, кислото- и щелочестойком сплавах являются пироксены (70–85%), а в износостойком пироксены и мелилит по 33%.

Таким образом, в зависимости от эксплуатационных свойств можно, регулируя скорость охлаждения сплавов, получать отливки, закристаллизованные в форме, или стекловидные с проведением в дальнейшем термообработки.

Список литературы

1. Быков И.И., Хан Б.Х. Затвердевание отливок из силикатных расплавов пироксенового состава // ЛП. 1966. № 4.
2. Чернов В.П., Карпов В.М. Основы получения отливок из оксидных расплавов: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 262 с.

Bibliography

1. Bykov I.I., Khan B.H. Hardening casting from silicate fuse pyroxenes structure // LP. 1966. № 4.
2. Chernov V. P., V.M. Osnovy's Carps of reception casting from oxide fuse: the Monography. Magnitogorsk: MGTU, 2008. 262 with.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771

Куницын Г.А., Голубчик Э.М., Песин А.М., Салганик В.М., Пустовойтов Д.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЁМНОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ УЗКОЙ ЛЕНТЫ

Традиционно при анализе формоизменения металла в низких очагах деформации тонколистовой холодной прокатки поперечной деформацией металла пренебрегают. Для случаев прокатки широких полос это оправдано. Однако при существенном уменьшении ширины, например при прокатке узкой ленты, поперечное течение металла становится сложно игнорировать.

На 5-клетевом стане 630 ОАО «ММК» существует проблема прокатки полос из подката, имеющего клиновидный профиль поперечного сечения [1, 2]. Это связано с тем, что подкат получают путём роспуска широких горячекатаных рулонов. В результате его поперечный профиль меняется от плоского (центральные полосы при роспуске) до клиновидного (крайние полосы при роспуске) (рис. 1). Клиновидность крайних полос после роспуска колеблется от 0,03–0,06 мм на низкоуглеродистых и среднеуглеродистых марках сталей до 0,08–0,20 мм на высокоуглеродистых и легированных. Соответственно после прокатки клиновидный профиль подката полностью переходит на готовую продукцию. Одним из возможных способов снижения относительной клиновидности ленты в процессе прокатки является увеличение поперечного течения металла [2, 3].

Целью данной работы является изучение основных закономерностей объёмного течения металла в низком симметричном и горизонтально асимметричном очаге деформации при холодной прокатке узкой ленты, а также разработка на их основе эффективных технологических решений, позволяющих уменьшить клиновидность ленты.

Для математического моделирования технологических операций обработки металлов давлением широко используются специализированные пакеты прикладных программ, основанные на методе конечных элементов. Одним из таких пакетов является программный комплекс DEFORM 3D.

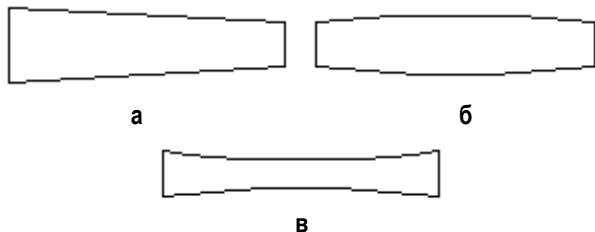


Рис. 1. Поперечный профиль ленты при холодной прокатке: а – клиновидный; б – выпуклый; в – вогнутый

В основе конечно-элементной математической модели программного комплекса DEFORM положен подход Lee–Kobayashi [4, 5]. Математическая постановка задачи базируется на одном из наиболее известных вариационных принципов – на начале виртуальных скоростей, который выражается в виде следующего функционала:

$$\delta\pi = \int_V \bar{\sigma} \delta \dot{\epsilon} dV - \int_{S_F} F_i \delta v_i dS + K \int_V \dot{\epsilon}_v \delta \dot{\epsilon}_v dV = 0, \quad (1)$$

где $\int_V \bar{\sigma} \delta \dot{\epsilon} dV$ – мощность пластической деформации;

$\int_{S_F} F_i \delta v_i dS$ – мощность внешних сил; $K \int_V \dot{\epsilon}_v \delta \dot{\epsilon}_v dV$ –

изменение объёма; $\bar{\sigma} = \sqrt{3/2} (\sigma'_{ij} \sigma'_{ij})^{1/2} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon})$ – интенсивность напряжений; σ'_{ij} – девиатор напряжений;

$\dot{\bar{\epsilon}} = \sqrt{2/3} (\dot{\epsilon}'_{ij} \dot{\epsilon}'_{ij})^{1/2}$ – интенсивность скоростей деформаций; $\dot{\epsilon}'_{ij}$ – девиатор скоростей деформаций; $\dot{\epsilon}_v = \dot{\epsilon}_{ii}$;

δv_i – виртуальное поле скоростей, удовлетворяющее граничным условиям; V – объём деформируемого материала; F_i – силы, действующие на поверхности S_F ; K – константа с большим положительным значением («штраф»).

Связь между напряжениями и скоростями деформаций:

$$\sigma'_{ij} = \frac{\dot{\epsilon}_{ij}}{\frac{1}{2G} + \delta_{ij} \frac{\sigma_0}{3k} + \frac{3}{2} \frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\bar{\sigma}}}, \quad (2)$$

где $k = \frac{E}{3(1-2\nu)}$ – модуль объёмной деформации;

E – модуль упругости первого рода; G – модуль упругости второго рода; ν – коэффициент Пуассона.

Напряжения трения на контактной поверхности с рабочим инструментом описываются по закону Амонтона-Кулона:

$$f_s = \mu p, \quad (3)$$

где μ – коэффициент трения; p – удельное нормальное давление.

На рис. 2, 3 представлены структура упругопластического очага деформации и схема процесса холодной прокатки ленты, принятая при моделировании.

Численное исследование проводили для высокоуглеродистой стали 70 толщиной 3 мм и шириной 50 мм с клиновидностью $\delta h = 0,04$ мм. Анализировали влияние клиновидности на поперечное течение и уширение металла.

В результате исследования было получено, что при прокатке полос из подката клиновидного поперечного сечения появляется заметное различие в характере поперечной деформации металла со стороны левой и правой кромок полосы. Поперечное течение металла со стороны более толстой кромки увеличивается, а со стороны более тонкой – уменьшается (рис. 4).

На рис. 5 представлена кривая течения металла в поперечном направлении при прокатке ленты с клиновидным профилем. Перемещение металла со стороны более толстой кромки составило 0,547 мм, а со стороны более тонкой – 0,515 мм. Относительная разница уширений для левой и правой кромки составила 5,85%. При этом линия нулевого перемещения смещается в сторону более тонкой кромки на величину Δ (рис. 6).

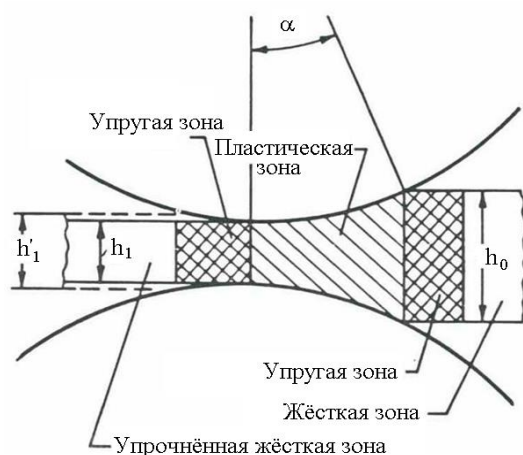


Рис. 2. Структура очага деформации

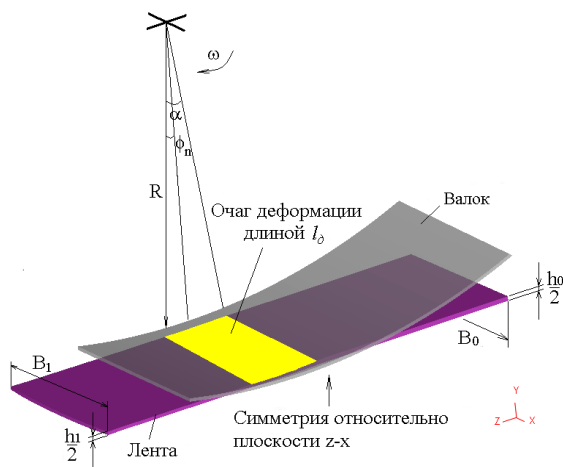


Рис. 3. Схема процесса холодной прокатки ленты

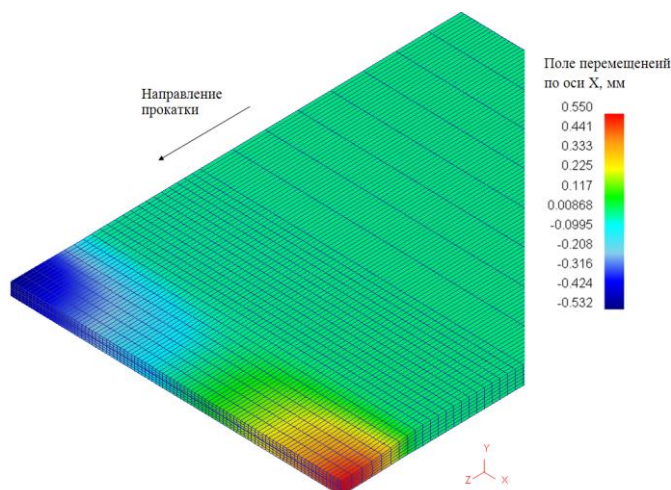


Рис. 4. Поле перемещений в очаге деформации при прокатке ленты с клиновидным поперечным сечением ($\varepsilon=30\%$, $\mu=0,1$)

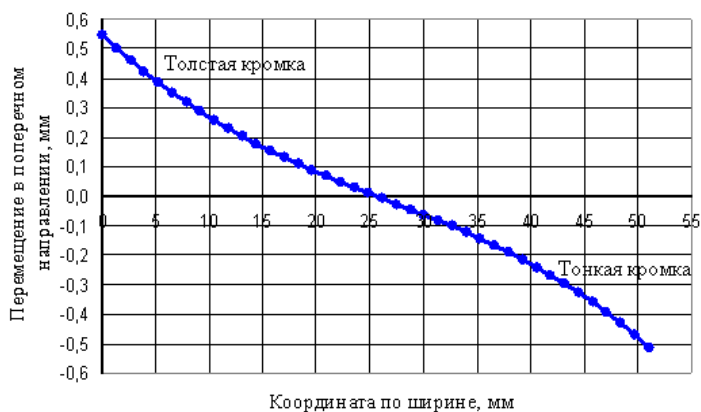


Рис. 5. Перемещение частиц металла в поперечном направлении

При прокатке ленты 3×100 мм из стали 70 ($\epsilon = 30\%$, $\mu = 0,1$) с прямоугольным поперечным сечением уширение составило 0,62 мм. При прокатке ленты с выпуклым профилем ($\delta h = 0,04$ мм) уширение уменьшается до 0,58 мм (на 6,45%), а при прокатке ленты с вогнутым профилем ($\delta h = 0,04$ мм) уширение увеличивается до 0,82 мм (на 32,26%) в сравнении с прямоугольным профилем. Это объясняется тем, что при прокатке ленты с выпуклым профилем максимум интенсивности деформации наблюдается в середине полосы. Он составляет 0,405 и уменьшается к кромке до 0,387 (см. рис. 11). При прокатке ленты с вогнутым

профилем наблюдается обратная картина. Максимум интенсивности деформации смещается к кромкам ленты, составляет 0,405 и уменьшается к середине до 0,386. Поэтому при прокатке ленты с выпуклым профилем, в сравнении с прямоугольным, уширение уменьшается, а при прокатке ленты с вогнутым профилем – увеличивается.

Выводы

Теоретическое исследование процесса холодной прокатки ленты подтверждает объёмный характер течения металла, а не плоский, принятый в научных публикациях. Особенностью полученных результатов является



Рис. 6. Смещение линии нулевого перемещения на величину Δ

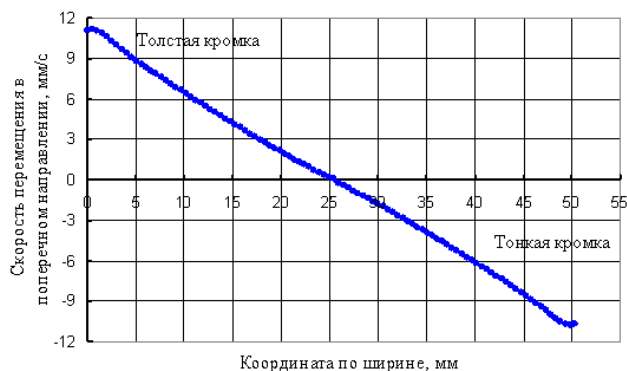


Рис. 7. Скорость перемещения частиц металла в поперечном направлении

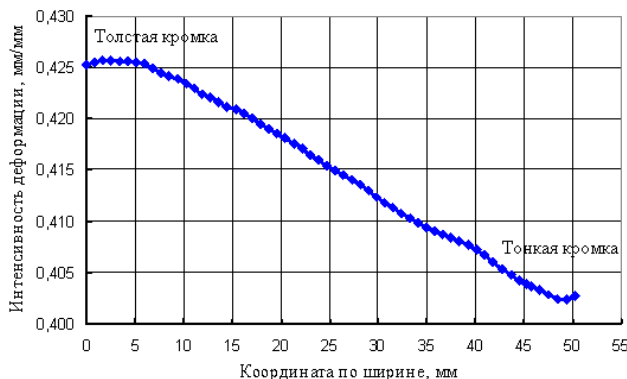


Рис. 8. Распределение интенсивности деформации по ширине при прокатке ленты с клиновидным профилем

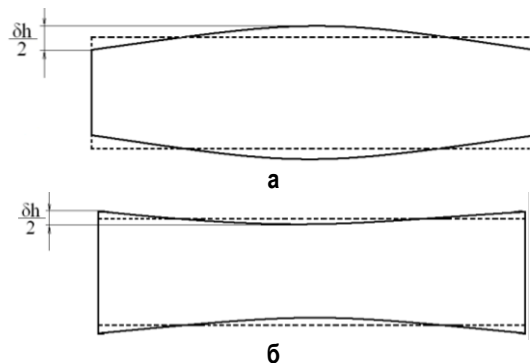


Рис. 9. Форма поперечного сечения ленты: а – выпуклая; б – вогнутая

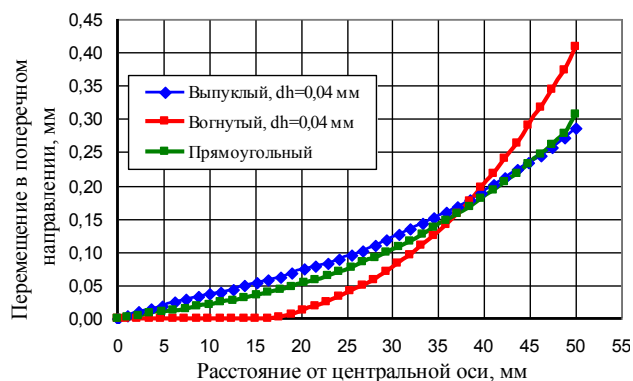


Рис. 10. Влияние профиля подката на поперечное течение металла

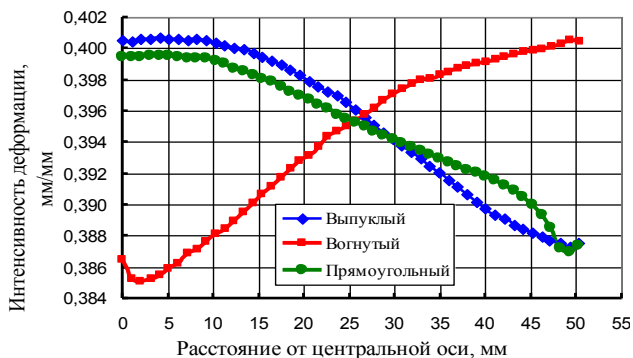


Рис. 11. Распределение интенсивности деформации по ширине при прокатке ленты с различным поперечным профилем

ся наличие чётко выраженного уширения и соответствующей поперечной деформации металла по ширине ленты. Этот факт потребовал существенного пересмотра методик анализа формоизменения ленты, особенно с учётом клиновидности поперечного сечения подката после продольного роспуска горячекатаных полос.

Впервые выполнено численное моделирование объёмного течения металла при холодной прокатке узкой ленты в зависимости от формы профиля поперечного сечения: клиновидный, выпуклый, вогнутый. Показано распределение интенсивности деформации и скорости течения металла по ширине ленты при холодной прокатке. Установлено, что уширение значительно возрастает (до 32%) при прокатке ленты с вогнутым профилем и уменьшается (на 6,5%) при прокатке ленты с выпуклым профилем в сравнении с подкатом, имеющим прямоугольное поперечное сечение.

При прокатке полос из подката клиновидного поперечного сечения появляется заметное различие в характере поперечной деформации металла со стороны левой и правой кромок полосы. Поперечное течение металла со стороны более толстой кромки увеличивается, а со стороны более тонкой – уменьшается. При этом относительная разница между уширением со стороны левой и правой кромок возрастает до 6%. Линия нулевого перемещения смещается в сторону более тонкой кромки на 0,6 мм.

Список литературы

1. Технология холодной прокатки точных и бездефектных полос в условиях неравномерного обжатия по ширине / Куницын Г.А., Салганик В.М., Песин А.М.; Магнитогорск. гос. техн. ун-т. Магнитогорск, 2000. 60 с. Деп. в ВИНТИ

- 11.08.00, № 2227-B00.
2. Внедрение новых технологий асимметричной прокатки в ОАО «ММК» / Салганик В.М., Песин А.М., Трахтенгерц Е.П., Дригун Э.М. // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: МГТУ, 2002. С. 128–133.
3. Песин А.М. Моделирование и развитие процессов асимметричного деформирования для повышения эффективности листовой прокатки: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 2003. 395 с.
4. Kobayashi S., Oh S.I. and Altan T. Metalforming and the Finite-Element Method. Oxford University Press. 1989. 377 p.
5. Oh S.I., Wu W.T., Tang J.P. Capabilities and applications of FEM code deform: the perspective of the developer // Materials Processing Technology. 1991. Vol. 27. P. 25–42.

Bibliography

1. Cold rolling of flaw-free strips at nonuniform width reduction / Kunitsin G.A., Salganik V.M., Pesin A.M.; Magnitogorsk state technical university. Magnitogorsk. Magnitogorsk, 2000. 60 p. Dep. in VINITI 11.08.00, № 2227-B00.
2. Introduction of new technology of asymmetrical rolling at OJSC «ММК» / Salganik V.M., Pesin A.M. Trahtengerts E.P., Drigun E.M. // Modelling and developments of metal forming processes: collection of scientific works. Magnitogorsk: MSTU, 2002. P. 128–133.
3. Pesin A.M. Modelling and development of asymmetrical deformation processes aimed at the improvement of sheet rolling effectiveness: thesis ... Doctor of technical sciences. Magnitogorsk, 2003. 395 p.
4. Kobayashi, S., Oh S.I. and Altan T. Metalforming and the Finite-Element Method. Oxford University Press. 1989. 377 p.
5. Oh S.I., Wu W.T., Tang J.P. Capabilities and applications of FEM code deform: the perspective of the developer // Materials Processing Technology. 1991. Vol. 27. P. 25–42.

УДК 621.778.8

Железков О.С., Семашко В.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРЕЗКИ ГРАНЕЙ ГОЛОВКИ КЛЕММНЫХ БОЛТОВ

Клеммные болты по ОСТ 32.161-2000 (рис. 1) широко применяются в современных конструкциях верхнего строения железнодорожного пути для крепления рельс к железобетонным шпалам. В условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» они изготавливаются в больших объёмах методом холод-

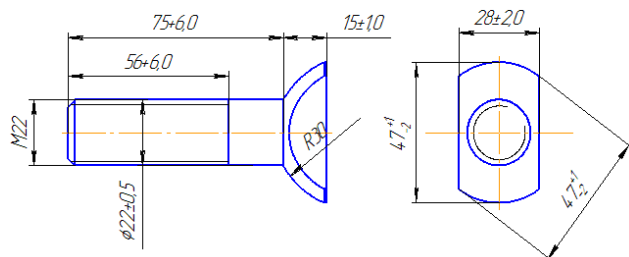


Рис. 1. Болт клеммный по ОСТ 32.161-2000

ной штамповки на многопозиционных автоматах-комбайнах QPBA-161, КА-64, КА-74 [1].

Применяемый технологический процесс изготовления клеммных болтов включает следующие операции: отрезка заготовки; предварительная высадка конической головки; окончательная высадка головки в виде шарового сегмента, примыкающего к стержню, и торцевого цилиндрического участка с диаметром ≈ 47 мм; редуцирование участка стержня под накатку резьбы; обрезка двух параллельных граней головки с опиранием криволинейной опорной поверхности заготовки на режущие кромки матрицы; накатка резьбы [1].

Операция обрезки граней состоит из двух этапов. На первом этапе при движении пуансона срезаемый металл в виде облоя зажимается между торцевыми поверхностями матрицы и пуансона. На втором этапе при движении выталкивателя производится проталкивание головки через отверстие в пуансоне с отделением облоя.

Недостатки применяемого способа обрезки клеммных болтов:

1. Низкое качество получаемых стержневых изделий, из-за образования сколов и заусенцев на опорной поверхности головки.
2. Короткий срок службы обрезающего инструмента.

Используя метод конечных элементов (МКЭ), выполнено компьютерное моделирование процесса обрезки граней головок клеммных болтов. Процесс моделирования с помощью программного комплекса «DEFORM-3D», предназначенного для решения объемных задач. Исходная заготовка (сталь марки 10) в виде цилиндрического стержня диаметром 22 мм с головкой в форме шарового сегмента радиуса 30 мм, примыкающего к стержню, и торцевого цилиндрического участка с диаметром 47 мм обрезалась в матрице и пуансоне с формированием двух граней, расстояние между которыми 28 мм. Реологические свойства задавались по кривой упрочнения, представленной в работе [2]. Обрезные матрица и пуансон рассматривались как абсолютно

жесткие тела, так как их жесткость на порядок превышает жесткость материала заготовки и деформации инструмента не выходят за пределы упругих. Конечно-элементная сетка состояла из тетраэдров. Так как в процессе моделирования обрезки граней сетка значительно деформируется, то в расчетах использовались специальные алгоритмы по перестроению сетки и увеличению числа элементов в очаге деформации. Используя программный комплекс «DEFORM-3D», определены интенсивность напряжений, интенсивность деформации (рис. 2), давление металла на инструмент и другие параметры напряженно-деформированного состояния при обрезке граней, при этом учитывалась неравномерность деформации, возникающая при штамповке головки клеммного болта [3].

Проведены экспериментальные исследования процесса обрезки граней головки клеммного болта. Эксперименты с определением технологических усилий проводились на испытательной машине КМП-125 (ЗИП, г. Армавир, номинальное усилие $Q=125$ т) с использова-

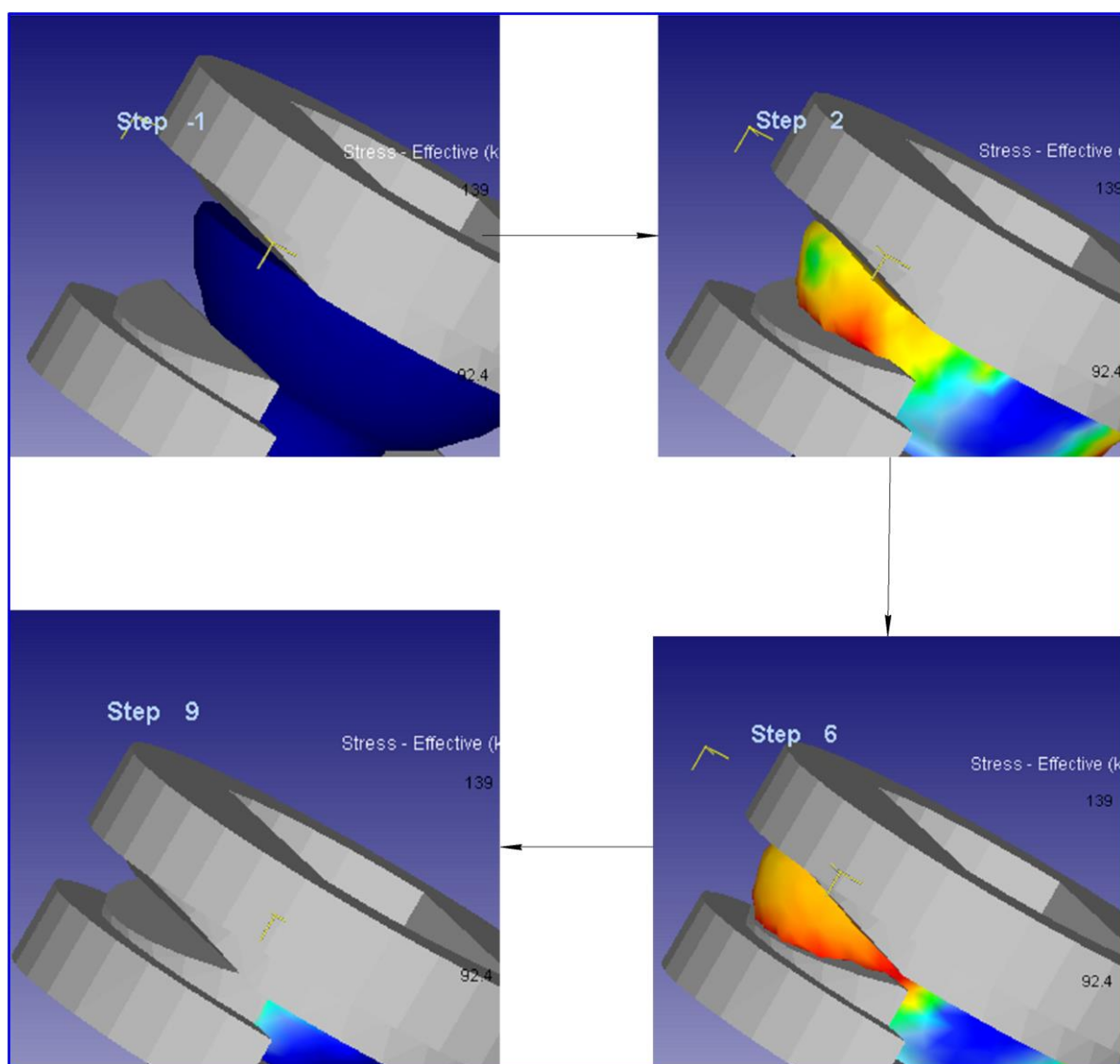


Рис. 2. Интенсивность деформации в процессе обрезки граней головки клеммного болта

нием специально спроектированного и изготовленного инструментального блока. Испытания показали, что усилия на первом этапе обрезки составляют 66–68 кН, а на втором – 21–25 кН. Сравнение результатов экспериментов с данными компьютерного моделирования показало сравнительно хорошее совпадение результатов (погрешность не более 8%). На основании проведенных исследований установлено, что одной из причин преждевременного выхода из строя инструмента является возникновение больших локальных давлений срезаемого металла на режущие кромки обрезных матрицы и пуансона.

На основании проведенных исследований разработано новое техническое решение [4], направленное на совершенствование процесса обрезки граней головок клеммных болтов. Сущность технического решения заключается в том, что на режущих кромках матрицы перпендикулярно углублению выполнены сквозные пазы в виде сегмента с радиусом, равным 0,75–0,85 радиуса сферы опорной поверхности головки, и высотой, равной 0,15–0,2 высоты головки болта. Применение разработанной конструкции позволяет снизить локальные давления на режущие кромки инструмента и повысить его стойкость.

Выводы

1. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что причиной низкой стойкости инструмента для обрезки граней головок клеммных болтов является возникновение больших локальных давлений срезаемого металла на режущие кромки обрезных матрицы и пуансона.

2. Разработана новая конструкция обрезного инструмента, применение которой обеспечивает повышение его стойкости за счет снижения локальных сил

давления срезаемого металла на режущие кромки.

Список литературы

1. Павлов А.М., Семихатский С.А., Железков О.С. Совершенствование технологического процесса изготовления клеммных болтов // Производство конкурентоспособных метизов: сб. науч. тр. / под ред. А.Д. Носова. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 115–117.
2. Кроха В.А. Упрочение при холодной пластической деформации: справочник. М.: Машиностроение, 1980. С. 157.
3. Применение критерия минимальной неравномерности деформации для оценки эффективности процессов обработки металлов давлением / О.С. Железков, Ф.Ф. Гатин, Е.Ю. Чуйко, С.О. Железков // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. № 1. С. 46–48.
4. Пат. 88589 РФ на полезную модель. Инструмент для обрезки головок стречневых изделий с криволинейной опорной поверхностью / О.С. Железков, А.М. Павлов, В.В. Семашко и др. Опул. БИИПМ. 2009. № 32.

Bibliography

1. Pavlov A.M., Semihatsky S.A., Zhelezkov O.S. Perfection of technological process of making of terminal screw-bolts // Manufacture of competitive wire products: Collected articles / Under the editorship of A.D. Nosov. Magnitogorsk: SEI HPE «MSTU», 2006. P. 115–117.
2. Kroha V.A. Consolidating during cold plastic deformation: Book of reference. Moscow, 1980. P. 157.
3. Zhelezkov O.S., Gatin F.F., Chyiko E.U. Application of criterion of minimum unevenness of deformation // Vестnik MGTU. 2009. № 1. P. 46–48.
4. Patent 88589 of Russia for the invention «The instrument for heads trimming of bar products with curved surface» / O.S. Zhelezkov, A.M. Pavlov, V.V. Semashko, at al. Published by BIPM. 2009. № 32.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.783.245:519.233.4:519.872

Девятченко Л.Д., Маяченко Е.П., Корнилов В.Л., Буданов А.П.

ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ПРОЦЕССА ТЕРМООБРАБОТКИ РУЛОНОВ ХОЛОДНОКАТАНОГО МЕТАЛЛА

Для отжига широкополосного металла после холодной прокатки в ЛПЦ-5 ОАО «ММК» используют печи с азотно-водородной защитной атмосферой (отечественного производства) и печи с водородной защитной атмосферой (фирма-производитель «Эбнер», Австрия). Печи с водородной защитной атмосферой применяют для отжига металла ответственного назначения, к которому предъявляют более высокие требования по качеству отделки поверхности, – металла первой группы отделки поверхности. В основном эти требования предъявляются к стали марок 08пс, 10, 15, 20, 08Ю, 006ЛФ, 08ЮР, 09Г2. При отжиге этих марок стали в печах с азотно-водородной защитной атмосферой на поверхности холоднокатаных полос могут образовываться окислы кремния и марганца, выявляемые при контроле как цвета побежалости, что приводит к дополнительной отбраковке металла. Печи с водородной защитной атмосферой являются более перспективными по сравнению с печами с азотно-водородной защитной атмосферой, т.к. существенно улучшается качество поверхности полос, увеличивается коэффициент теплового отражения на 10–12%, а время термообработки сокращается с 125–130 до 50–65 ч [6].

Основные технико-экономические показатели отжига рулонов в колпаковых печах фирмы «Эбнер» (для условий: отжигаемая сталь St-12, поперечное сечение полосы 0,5×1032 мм, число рулонов 5 шт., вес садки 110 т) приведены в **табл. 1**.

В таблице расход энергетических и сырьевых ресурсов приведен для работы печи с номинальной нагрузкой для определенной марки стали и геометрических параметров полосы.

В реальных условиях эксплуатации печей фирмы «Эбнер» в ОАО «ММК» при большом ассортименте марок стали и значительных вариациях геометрических параметров полос не всегда поддерживаются параметры номинальной загрузки, возможно изменение эффективности работы печи и, естественно, возникают вариации по технико-экономическим показателям, приведенным в **табл. 1**.

В ЛПЦ-5 ОАО «ММК» вес рулонов, отжигаемых в колпаковых печах, колеблется в пределах от 85 до 115 т, ширина рулона – от 1000 до 1930 мм. При этом 80% металла для отжига в печах фирмы «Эбнер» поступает с реверсивного стана 1750 с шириной полосы

менее 1630 мм, а 20% – с широкополосного стана 2500 с шириной 1680–1780 мм.

Следовательно, возникает необходимость в оценке ресурсов и разработке рекомендаций для более рационального использования этих печей в сложившихся условиях эксплуатации, тем более, что не всегда представляется возможность загрузить металл с температурой 120–130°C непосредственно после холодной прокатки. Вследствие чего металл успевает остыть и нужны дополнительные затраты топливных ресурсов для его нагрева.

Печь «Эбнер» [5] используется в двух режимах – нагрев и охлаждение, для каждого из режимов исполь-

Таблица 1

Технико-экономические показатели отжига металла в печи фирмы «Эбнер»

№ п/п	Энергоносители и сырье	Общий расход	Удельный расход	Стоимость
1	Природный газ	1700 м³	15,48 м³/т	1728 руб./1000 м³
2	Газ для «очистки» печи (азот)	193 м³	1,76 м³/т	987 руб./1000 м³
3	Защитный газ (водород)	305 м³	2,78 м³/т	12,54 руб./1000 м³
4	Электроэнергия, используемая двигателем стэнда	1276 кВт	11,6 кВт/т	771 руб./1000 кВт
5	Электроэнергия, используемая двигателем для подачи воздуха к горелкам	510 кВт	4,63 кВт/т	771 руб./1000 кВт
6	Электроэнергия, используемая двигателями для подачи воздуха при охлаждении муфеля	180 кВт	1,64 кВт/т	771 руб./1000 кВт
7	Промышленная вода, используемая для охлаждения муфеля	35 м³	0,318 м³/т	401 руб./1000 м³

зуют соответствующие колпаки. Для 36 установленных стенов в цехе предусмотрено 24 нагревательных и 12 охлаждающих колпаков (так как время нагрева, выдержки и охлаждения под нагревательным колпаком в два раза может превышать время охлаждения садки рулонов под охлаждающим колпаком). Наиболее важным режимом с точки зрения расхода энергетических и сырьевых ресурсов является режим нагрева, поэтому на **рис. 1** представлен поперечный разрез стенов только с нагревательным колпаком типа HICON/H₂ [4]. При зональной температуре около 850°C обеспечивается температура отжигаемого металла до 650°C.

Конструкция данной печи позволяет использовать ее при производстве холоднокатаного металла в ОАО ММК, где геометрические параметры рулонов соответствуют параметрам загрузки печи, а именно: внутренний диаметр рулона 610 мм, наружный диаметр рулона не более 2200 мм, причем высота стопы не должна превышать 6 м, включая конвекторные кольца с толщиной 60 мм. Объем печи позволяет загрузить в нее от трех до пяти рулонов холоднокатаного металла с шириной полосы 1000–2350 мм, толщиной полосы 0,35–3,5 мм и массой рулона от 5 т до 35 т.

Термообработка металла в печах «Эбнер» предусматривает следующие технологические операции:

1. Нагрев и выдержка при максимальной температуре (около 650°C).
2. Охлаждение металла под колпаком с потушенными горелками (от 2 до 10 ч).
3. Снятие колпака нагрева и установка колпака охлаждения для охлаждения сначала воздухом до 360–380°C, затем водой до 110–120°C.

В данном исследовании не ставилась задача корректировки режимов термообработки, такие режимы были разработаны (с учетом марки стали, веса садки и толщины полос) и успешно применяются для отжига металла в ЛПЦ-5 [5, 6]. Целью данной работы явилась

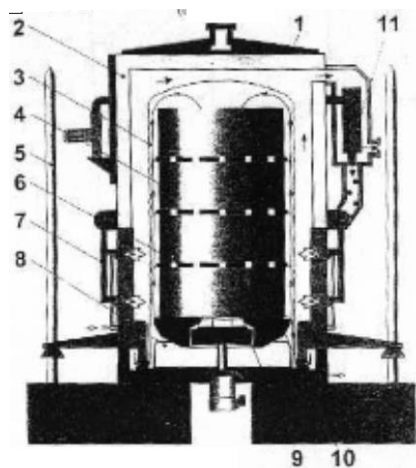


Рис. 1. Схема стенов с нагревательным колпаком:

- 1 – корпус колпака; 2 – футеровка; 3 – муфель;
- 4 – садка; 5 – направляющая колонна; 6 – конвекторное кольцо; 7 – трубопроводы печи; 8 – стенд;
- 9 – вентилятор стенов; 10 – конвектор основания;
- 11 – рекуператор

статистическая оценка энергетических и сырьевых ресурсов, которые определяют рабочий цикл печи и, следовательно, выявляются при максимальном использовании возможностей печей. Эффективность использования всякой системы обычно выявляется с помощью учетной статистики, которая не может быть стабильной, всегда изменчива для стохастической системы, особенно в первые годы ее эксплуатации.

Статистика данных эксплуатации печей за 2007–2009 гг. представлена в **табл. 2**.

Сравнивая, например, вес садки, приведенный в технико-экономических показателях печей фирмы «Эбнер» (110 т), с реальными статистическими данными из **табл. 2**, видим «недозагрузку» около 10 т в каждом цикле отжига с продолжительностью около 50 ч, что, естественно, приводит к увеличению количества циклов (садок). Следовательно, «недозагрузка» печи по весу садки на 9% может лишь привести к увеличению на эту же долю (%) общих расходных показателей эффективности работы печи по сравнению с показателями при «номинальной» загрузке печи (см. **табл. 1**). Кроме того, имеются значительные резервы энергетических ресурсов при загрузке еще не остывшего металла сразу после холодной прокатки. Однако нужно заметить, что нестабильность начальной температуры садки рулонного металла усложняет поиск оценки эффективности процесса отжига металла из-за нестабильности расхода природного газа в каждом цикле нагрева.

Для выявления «неиспользуемых» ресурсов и оценки их значимости был спланирован эксперимент в реальных производственных условиях с варьированием фактора «пустотности» (на трех уровнях: расстояние от верхней плоскости стопы до ограничительной плоскости муфеля: 100, менее 300 и более 600 мм), фактора исходной температуры садки (на двух уровнях: 10–40 и более 100°C) и фактора толщины полос отжигаемого металла (на двух уровнях: 0,6–1,6 и 1,67–3,0 мм). Такой план полного факторного эксперимента предполагает 12 ячеек. Было проведено 36 опытов, т.е. по 3 опыта в каждой ячейке плана для оценки ошибки воспроизводимости. В каждом из опытов садка состояла из 4 рулонов холоднокатаного металла соответствующих ширин и толщин, обеспечивающих построение плана трехфакторного эксперимента на перечисленных выше уровнях. При проведении эксперимента использовался металл марки 08ю [7] по причине того, что его доля составляет

Таблица 2

Статистика данных эксплуатации печей за 2007–2009 гг.

Отжигаемый металл	Годовое производство, т		
	2007	2008	2009
08пс, 10, 15, 20	222102	265737	243210
08ю, 006/IF, 08ЮР	304756	228494	238679
09Г2	313	258	286
Всего	527171	494489	482175
Средний вес садки	100,9	100,4	100,8
Всего циклов	5220	4896	4789

более половины в металле, отжигаемом в водородной защитной среде. В качестве результирующего признака в данном эксперименте было целесообразным использовать Y – время (ч) нагрева и выдержки садки при максимальной температуре, а также дополнительный отклик X – время (ч) охлаждения.

План трехфакторного эксперимента (по нагреву – Y , ч, по охлаждению – X , ч) с повторением откликов представлен в **табл. 3**.

Результаты эксперимента по откликам Y и X обработаны в системе STATISTICA [2] и для отклика Y приведены в **табл. 4**. Следует при этом отметить, что обработка данных эксперимента по отклику X не привела к каким-либо значимым результатам из-за большой ошибки данного отклика $\varepsilon_X = 5,56$, поэтому одномерный отклик X по охлаждению рулона не выявляет значимости интересующих нас факторов. Однако эксперимент с откликом X все же выявляет единственный линейный эффект – фактор толщины. При этом доля фактора толщины в эксперименте по охлаждению составляет 26,4% в общей сумме квадратов отклонений по всем линейным эффектам и эффектам взаимодействия. Здесь уместно заметить, что фактор толщины полос проявляется еще с большей силой в другом одномерном эксперименте (по нагреву) с откликом Y .

В **табл. 3** и **4**: B – исходная температура садки, E – фактор «пустотности», T – фактор толщины полос, $B \cdot E$, $E \cdot T$ – соответствующие парные эффекты взаимодействия, $B \cdot E \cdot T$ – эффект взаимодействия второго порядка; эффект взаимодействия $B \cdot T$ – статистически незначим и в таблице не представлен.

Суммарная доля статистически значимых эффектов, выявленных в результате эксперимента по нагреву (см. **табл. 4**), составляет 440,89 из общей суммы 502,89, т.е. 87,67%, в том числе 12,33% – доля неучтенных в эксперименте случайных возмущений (ошибка равна $\varepsilon_Y = 2,58$). Высокая степень детерминации процесса позволяет использовать результаты данного эксперимента для оценки эффективности работы печи в процессе отжига металла.

Примем за максимальную эффективность работы печи (минимальное время нагрева Y_1) при условии максимального уровня загрузки (минимальный уровень фактора «пустотности») и максимальной температуры загружаемого металла (до 120°C – сразу после холодной прокатки) для усредненной толщины отжигаемого металла 1,67 мм. Тогда минимальная эффективность (максимальное время нагрева Y_2) будет получена при условии наибольшего значения «пустотности» и минимальной (10–40°C) температуры садки при той же толщине металла. Результаты эксперимента для указанных условий составляют в среднем $\bar{Y}_1 = 28,33$ ч при ошибке среднего $S(\bar{Y}_1) = 0,42$ и $\bar{Y}_2 = 32,33$ ч при $S(\bar{Y}_2) = 1,60$ соответственно.

Заметим, что снижению эффективности работы колпаковых печей при «неблагоприятных» уровнях исследуемых факторов сопутствует рост ошибки

средних (почти в четыре раза) для соответствующих условных откликов $\bar{Y}_1$ и $\bar{Y}_2$. Следовательно, как излишняя «пустотность», так и чрезмерное охлаждение рулонов после холодной прокатки существенно влияет на устойчивость временных параметров отжига металла в колпаковых печах. Особо следует обратить внимание на фактор толщины полос рулонного металла. Его линейное влияние на параметры отжига превалирует над всеми другими линейными эффектами и их взаимодействиями. Это значит, что «корректирующее» влияние фактора толщины является весьма существенным при оценке влияния фактора «пустотности» печи и начальной температуры садки рулонов на эффективность использования колпаковой печи. Насколько усложняется оценка эффективности процесса отжига металла в зависимости от его толщины из-за возникающих эффектов взаимодействия, включая взаимодействие второго порядка (тройное взаимодействие факторов), можно представить, анализируя соответствующие графики. Например, на **рис. 2** дана графическая интерпретация наиболее сложного – тройного взаимодействия $B \cdot E \cdot T$. При этом напомним, что парное взаимодействие факторов имеет классическую интерпретацию: эффект одного фактора зависит от уровня, на котором находится другой фактор.

На **рис. 2** обозначено: результирующий признак – нагрев (Heat); факторные признаки – толщина (Thicklev), начальная температура (Begin), «пустотность» (Empty).

Таблица 3

План трехфакторного эксперимента с откликами в ячейках плана Y , ч, и (X), ч

Уровни факторов	$E1$		$E2$		$E3$	
	$T1$	$T2$	$T1$	$T2$	$T1$	$T2$
$B1$	36 (23)	30 (20)	38 (27)	34 (24)	37 (22)	27 (19)
	36 (26)	30 (21)	35 (21)	28 (23)	36 (27)	30 (21)
	34 (27)	30 (24)	34 (24)	29 (18)	34 (26)	30 (21)
$B2$	29 (20)	27 (19)	32 (27)	26 (18)	37 (24)	27 (23)
	28 (19)	28 (25)	36 (25)	29 (20)	37 (22)	27 (20)
	30 (25)	28 (22)	35 (23)	27 (21)	36 (21)	29 (21)

Таблица 4

Трехфакторный дисперсионный анализ (одномерный) по Y

Обозначение эффекта	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средне-квадратическое отклонение	Критерий Фишера	Уровень значимости
B	44,44	1	44,44	17,20	0,000362
E	20,72	2	10,36	4,01	0,031422
T	300,44	1	300,44	116,30	0,000000
$B \cdot E$	26,06	2	13,03	5,04	0,014846
$E \cdot T$	31,06	2	15,53	6,01	0,007652
$B \cdot E \cdot T$	18,17	2	9,08	3,52	0,045790
Error	62,00	24	2,58	–	–
Total	502,89	34	–	–	–

Очевидно, что время нагрева больше, когда загружен холодный металл (B1). Время нагрева толстого металла существенно меньше, чем тонкого. Заметим, что большой уровень «пустотности» (E3) сглаживает действие эффекта начальной температуры, который заметно проявляется для тонкого металла.

На завершающей стадии исследования было выполнено моделирование процесса отжига металла на основе теории массового обслуживания [1]. Моделирование выполнено в предположение простейшего потока событий с параметром интенсивности процесса на входе $\lambda = 0,3014$ и несколькими выходными параметрами μ , обоснования которых приведено ниже.

Параметр λ соответствует среднестатистическим данным за 2007–2008 гг. и эксперименту по отжигу стали 08Ю, объем которой за наблюдаемый период составлял 52,2% в среднегодовом объеме отжигаемой стали особого назначения за наблюдаемый период.

Тогда $\lambda = \frac{2640,3}{365 \cdot 24} = 0,3014$ садок/ч, где 2640,3 – среднее число циклов (садок) печи для стали 08Ю, определяемое как доля (0,522) от среднегодового количества циклов (5058) для металла особого назначения отжигаемого в колпаковых печах типа HICON/H₂ (см. табл. 2). Очевидно, что для годовой реализации числа садок 2640 для отжига стали 08Ю необходимо около 19 стенов из имеющихся 36. Тогда среднегодовая интенсивность процесса на выходе системы термообработки стали 08Ю будет определено как

$$\mu = t_y^{-1} = (54)^{-1} = 0,0185,$$

где t_y – время обработки одной садки (время цикла), определяемое по статистическим данным трехфакторного эксперимента (см. табл. 3).

$$t_y = \bar{Y} + \bar{X} = 31,55 + 22,46 \approx 54 \text{ ч},$$

где $\bar{Y}$ и $\bar{X}$ – соответственно среднее время нагрева и охлаждения садки.

Заметим, что общая интенсивность выхода данной системы

$$\mu_0 = \mu \cdot n = 0,0185 \cdot 19 = 0,3515 > \lambda = 0,3014,$$

следовательно, система обслуживания будет функционировать устойчиво (выполнено условие $\lambda \leq \mu_0$). В среднем будет около 4 заявок в очереди на обслуживание, а для занятой системы около 8, загруженность системы 88,55%, т.е. это реальные среднегодовые характеристики эксплуатируемой системы для стали 08Ю.

Для выявления эффективности функционирования данной системы массового обслуживания (СМО) при условиях «благоприятных» в точке плана (B2, E1) и «неблагоприятных» в (B1, E3) были определены соответствующие интенсивности выхода на основе данных трехфакторного плана (см. табл. 3), исходя из средней продолжительности процесса термообработки для названных условий плана.

Для максимальной эффективности системы интенсивность

$$\mu_1 = (\bar{Y}_1 + \bar{X}_1)^{-1} = (28,33 + 21,67)^{-1} = (50)^{-1} = 0,02.$$

Для минимальной эффективности системы интенсивность

$$\mu_2 = (\bar{Y}_2 + \bar{X}_2)^{-1} = (32,33 + 22,66)^{-1} \approx (55)^{-1} \approx 0,0182.$$

Результаты моделирования системы термообработки металла при заданных параметрах входа λ и выходов μ , μ_1 , μ_2 приведены в табл. 5.

В табл. 5 характеристики СМО обозначены:

V – полная загруженность системы;
 L – среднее число заявок в системе;
 Lq – среднее число заявок в очереди;
 Lb – среднее число заявок в очереди для занятой системы;
 W – среднее время пребывания заявки в системе;

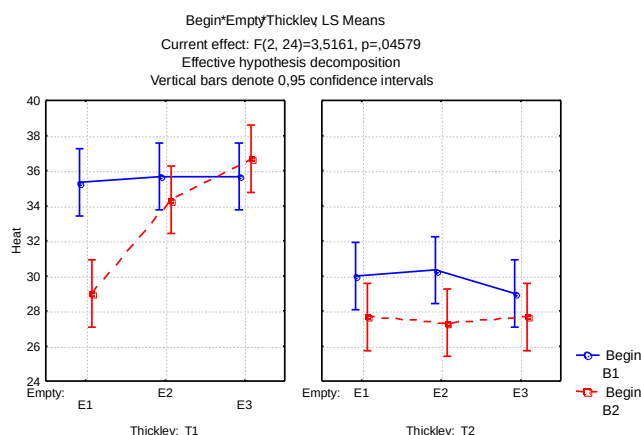


Рис. 2. Эффект взаимодействия фактора толщины металла T со взаимодействием факторов $B \cdot E$

Таблица 5

Расчетные характеристики работы СМО для максимальной и минимальной эффективности процесса

Характеристика	Интенсивность μ , садки/ч		
	0,0182	0,0185	0,0200
V	90,01%	88,55%	83,15%
L	23,78	22,37	19,05
Lq	4,88	3,78	1,59
Lb	9,01	7,73	4,94
W	69,13 ч	65,04 ч	55,39 ч
Wq	14,18 ч	10,99 ч	4,62 ч
Wb	26,18 ч	22,47 ч	14,35 ч
Po	0%	0%	0%
Pb	54,18%	48,88%	32,25%

W_q – среднее время ожидания в очереди;

W_b – среднее время ожидания в очереди для занятой системы;

P_o – вероятность того, что все каналы свободны;

P_b – вероятность того, что все каналы заняты.

Анализ характеристик СМО, представленных в табл. 5 подтверждает полученные ранее выводы по трехфакторному эксперименту, что факторы «пустотности» печи и начальной температуры рулонов являются резервными факторами, с помощью которых можно повысить эффективность работы колпаковых печей.

При заданной интенсивности поступления металла на термообработку ($\lambda = 0,3014$) формирование стопы рулонов с максимальной после прокатки начальной температурой (120°C), максимально заполняющих по высоте пространство муфеля (минимальная «пустотность» до 100 мм), снижает загруженность системы с 88,55% в реальном среднегодовом режиме до 83,15% в благоприятном режиме, т.е. создается ресурс для повышения эффективности работы колпаковой печи на 5,4%. Кроме того, улучшаются все характеристики СМО: система работает практически без очередей ($L_q = 1,59$) и даже в экстремальных условиях, когда все каналы (стенды) заняты (вероятность этого события (P_b) снижается с 48,88 до 32,25%), среднее число заявок в системе не может превышать 5.

Для неблагоприятного режима (стопа охлажденных после прокатки рулонов с минимальной температурой и максимальной до 600 мм «пустотностью» по высоте) загруженность системы возрастает с 88,55 до 90,01% и ухудшаются все эксплуатационные характеристики СМО.

Список литературы

1. Андросенко О.С., Девятченко Л.Д., Маяченко Е.П. Постановка и решение задач систем массового обслуживания в программе WinQSB: метод. указ. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 51 с.
2. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. 2 изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

3. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике. Методы планирования эксперимента / пер. с англ. под ред. Э.К.Лецкого, Е.В.Марковой. М.: Мир, 1981. 516 с.
4. Кузнецов Н.А. Отжигательная печь колпакового типа HICON // Новости черной металлургии за рубежом / Ин-т «Черметинформация». 2008. Вып. 4. С. 71.
5. Малова Н.И. и др. Опыт освоения колпаковых водородных печей в ОАО «ММК» // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. тр. Центральной лаборатории контроля ОАО «ММК». Магнитогорск, 2006. Вып. 10. С. 303–306.
6. Симененко О.В. Улучшение качества отжига холоднокатаного рулонного проката в среде сухого водорода // Сталь. 2008. № 10. С. 47–49.
7. Тахавудинов Р.С. и др. Опробование отжига широкополосной стали 08Ю в водородной колпаковой печи (ОАО «ММК») // Сталь. 2006. № 3. С. 77–78.

Bibliography

1. Androsenko O.S., Devjatchenko L.D., Majachenko E.P. Statement and the decision of tasks of systems of mass service in program WinQSB // Methodical instructions. Magnitogorsk: State Educational institution of Higher Professional Education «MSTU», 2010. 51 p.
2. Borovikov V.P. STATISTICA. Art of the analysis of data on a computer. For professionals. The 2-th edition. SPb.: Peter, 2003. 688 p.
3. Johnson N, Lyons F. Statistiks and planning of experiment in a science and technics. Methods of planning of experiment. Translation from English edited by E.K.Letski, E.V.Markova. M.: the World, 1981, 516 p.
4. Kuznecov N.A. Single-steck furnace type HICON // News of ferrous metallurgy / Publication «Chmetinformacion». 2008. Part 4. P. 71.
5. Malova N.I., etc. Experience of development dri-hydrogen furnaces in Open Society « Magnitogorsk Iron & Steel Works» // Perfection of technology in Open Society « Magnitogorsk Iron & Steel Works» Publication the central laboratory of the control of Open Society «Magnitogorsk Iron & Steel Works». Magnitogorsk, 2006. Part 10. P. 303–306.
6. Simenenko O.V. Improvement of quality annealing cold-rolled rolls hire in the environment dry-hydrogen / Steel, 2008. № 10. P. 47–49.
7. Tahautdinov R.S., etc. Approbation отжига broadband steel 08YU in dri-hydrogen single-steck furnaces (Open Society « Magnitogorsk Iron & Steel Works») // Steel. 2006. № 3. P. 77–78.

УДК 621.785.52

Романенко Д.Н., Гадалов В.Н., Рагулина Л.Г., Трепаков А.В., Ляхов А.В.

НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПАСТООБРАЗНОМ КАРБИРИЗАТОРЕ С НАГРЕВОМ В НЕЙТРАЛЬНЫХ СОЛЯНЫХ ВАННАХ

В последние годы в машиностроении заметно возрос интерес к использованию соляных ванн при различных операциях термической и химико-термической обработки металлов, так как они обладают целым рядом положительных качеств. Преимущество соляных ванн перед всеми другими нагревательными устройствами проявляется в быстрой и равномерной передаче тепла нагреваемому изделию, в возможности точного регулирования температуры и

высокой экономичности. Кроме того, расплавленные соли хорошо защищают стальные поверхности от окисления и других вредных воздействий. Особый интерес представляет использование соляных ванн для совместного насыщения поверхностей деталей азотом и углеродом. За рубежом этот процесс широко используется в автомобилестроении, судостроении и других отраслях техники под названием Тенифер-процесс (Tenifer-Tufftride) [1].

Однако, несмотря на многие преимущества, классический Тенифер-процесс, разработанный в 60-х годах прошлого века немецкой фирмой «Degussa», в настоящее время не используется по экологическим соображениям. Дело в том, что азотирование по способу Тенифер производилось в цианистых ваннах ($55\% \text{NaCN} + 35\% \text{KCN} + 10\% \text{Na}_2\text{CO}_3$), отличавшихся очень высокой токсичностью, что вызывало значительные проблемы, связанные с охраной окружающей среды (нейтрализация газов, сточных вод, отходов производства и т.п.).

Имеются сведения [2] об успешном использовании для нитроцементации различных сталей пастообразных карбюризаторов, наносимых в виде тонких покрытий на упрочняемые поверхности. Эти карбюризаторы дешевы и, благодаря весьма малому расходу, безопасны с экологической точки зрения. По эффективности пастообразные карбюризаторы не уступают цианистым ваннам, но скорость насыщения заметно ниже, поскольку нагрев деталей с нитроцементирующими покрытиями производится в газовой атмосфере.

Нами предлагается новый высокоскоростной и высокоэффективный метод цементации, объединяю-

щий преимущества пастообразных и жидких карбюризаторов и свободный от их недостатков. Этот способ заключается в нанесении на поверхность деталей нитроцементирующей обмазки и, после ее высушивания, нагреве и выдержке этих деталей в нетоксичных нейтральных ваннах.

Была разработана соляная ванна, которая позволяла проводить насыщение стали при различных температурах. Эта ванна состоит из композиции трех солей – хлористого натрия NaCl , углекислого натрия Na_2CO_3 и едкого натра NaOH . Все выбранные компоненты в исходном состоянии исключительно дешевы, широко используются в народном хозяйстве и в быту и не относятся к высокотоксичным веществам, требующим соблюдения специальных мер безопасности.

Анализ диаграммы плавкости системы $\text{NaOH}-\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{NaCl}$ (рис. 1) показывает, что, изменяя концентрации названных солей, можно получать ванны с рабочими температурами от 480 до 900°C.

Жидкотекучесть названных ванн проверяли следующим методом. Образец диаметром 8 мм длиной 30 мм погружали в расплав исследуемых солей на глубину 20 мм, отмеченную на цилиндрической поверхности

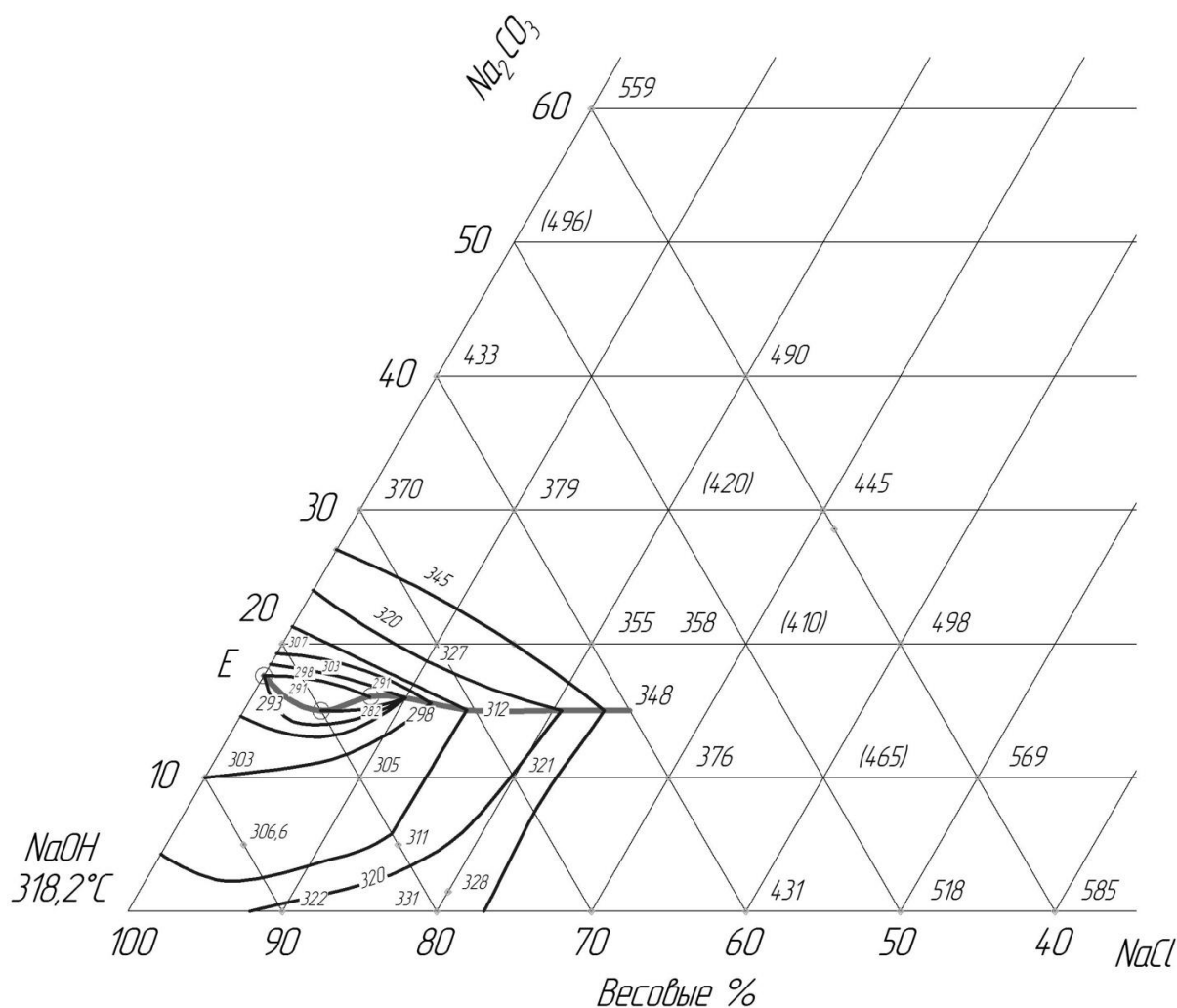


Рис. 1. Диаграмма плавкости системы $\text{NaOH}-\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{NaCl}$

образца рисклой, и выдерживали в расплаве 2 ч. После выдержки в расплаве образцы охлаждали на воздухе, не очищая приставшую к нему соль. Жидкотекучесть определяли по разнице веса образца до цианирования и после цианирования (с приставшей солью).

Испаряемость (выкипание) ванны оценивали в этом эксперименте визуально, по интенсивности выхода из расплава пузырьков газа.

Исходя из всего вышесказанного, можно рекомендовать составы соляных ванн указанные в **таблице**.

Важным преимуществом этих соляных ванн является экологическая чистота процесса термической обработки. Эта чистота достигается отсутствием в составе токсичных веществ, оптимальным сочетанием жидкотекучести и испаряемости расплава. Жидкотекучесть настолько высока, что на нитроцементованных в такой ванне изделиях не остается следов солей, которые загрязняют промывочную.

Отсутствие ядовитых компонентов и невысокая испаряемость ванны не приводит к недопустимому загрязнению атмосферного воздуха и не требует устройств специальной вентиляции.

Для осуществления нитроцементации стали при различных температурах универсальная нитроцементующая среда должна содержать кроме сажи (основа) желтую кровяную соль, проявляющую максимальную активность при средних температурах нитроцементации (600–700°C), и углекислый натрий для обеспечения активности среды при высоких температурах насыщения (800–900°C).

Поочередная, по температурной шкале, активизация азотсодержащих добавок и максимальное приближение реакций образования активного азота и углерода к насыщаемой поверхности стали позволит, по нашему мнению, значительно снизить потери активных элементов из нитроцементующего покрытия и, следовательно, уменьшить расход селитры и желтой кровяной соли и повысить экологическую чистоту процесса.

Был приготовлен карбюризатор на основе газовой сажи с добавками желтой кровяной соли и углекислого натрия, которые должны обеспечить образование активных компонентов – поставщиков азота и углерода к поверхности стали при различных температурах, следующего состава (% масс):

- сажа газовая 60–80;
- углекислый натрий 10–15;
- железосинеродный калий 5–20.

Компоненты карбюризатора в сухом виде тщательно перемешивали и доводили до пастообразного состояния с помощью глинопесчаного раствора с различными добавками.

Образцы с нанесенным на них слоем нитроцементующей пасты высушивались в сушильном шкафу при температуре 75–85°C в течение 1 ч, закладывались в кассету (**рис. 2**) и погружались в тигель с расплавом солей, нагретым до необходимой температуры.

Образцы, покрытые карбюризатором на основе различных связок, подвергались нитроцементации с

Составы ванн для нитроцементации стальных изделий

№ п/п	Вид нитроцементации	Диапазон рабочих температур, °C	Состав ванны	Температура плавления, °C	Примечание
1	Низкотемпературная	560–570	30% NaOH + 35% NaCl + 35% Na ₂ CO ₃	420	Ванна стабильна
2	Среднетемпературная	650–670	10% NaOH + 45% NaCl + 45% Na ₂ CO ₃	570	Ванна стабильна
3	Высокотемпературная	880–900	50% NaCl + 50% Na ₂ CO ₃	660	Ванна стабильна

нагревом в соляной ванне состава 50% Na₂CO₃ и 50% NaCl при температуре 900°C с выдержкой 2 ч. После этого образцы извлекались из ванны и визуально оценивалась стойкость карбюризаторов на различной основе по остаточному количеству обмазки. Результаты эксперимента представлены на **рис. 3**.

Как видно из результатов опыта, при использовании карбюризатора на глинопесчаной основе в пропорции 1:2 обмазка на испытуемых образцах после нитроцементации полностью сохранилась. Кроме того, как показал дальнейший металлографический анализ, в этом случае глубина карбонитридного слоя максимальна.



Рис. 2. Вид образцов в кассете после сушки в сушильном шкафу при температуре 75–85°C ($\tau = 1$ ч)



а

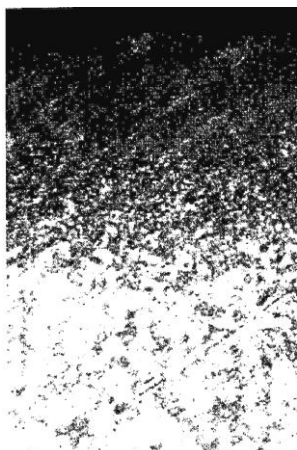


б

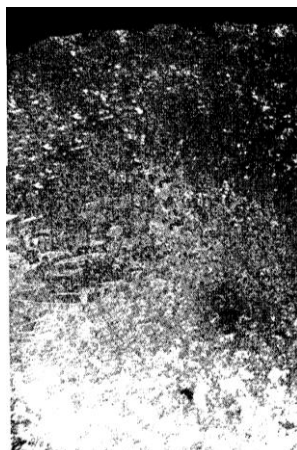


в

Рис. 3. Вид образцов после нитроцементации ($t = 900^{\circ}\text{C}$, $\tau = 2$ ч) при использовании карбюризатора состава: сажа газовая 80% и калий железосинеродистый 20% и различных пастообразователей: а – глина и песок (1:2); б – глина и песок (2:1); в – силикатный клей



а



б

Рис. 4. Микроструктуры нитроцементованных слоев стали Ст3 (900°C ; 1,5 ч), полученных нагревом в цианистой ванне (а) и с использованием твердой обмазки и нейтральной соляной ванны (б) ($\times 100$)

На втором образце обмазка частично сохранилась, при этом использовался карбюризатор, разведенный глиной и песком в пропорции 2:1. При таком соотношении обмазка после сушки получалась очень хрупкой (из-за присутствия большого количества глины) и под воздействием высокой температуры разрушалась, о чем свидетельствует наличие частиц карбюризатора в соляной ванне.

Обмазка на основе силикатного клея полностью растворилась в ванне. Скорее всего, это связано с тем, что при высоких температурах в условиях агрессивной среды (наличие в составе ванны хлористого натрия NaCl) силикат натрия разлагается. Поэтому использовать в качестве связующего материала силикатный клей не представляется возможным.

Исходя из всего вышесказанного, можно рекомендовать к использованию карбюризатор на основе сажи, углекислого натрия и желтой кровяной соли, разведенный глинопесчаной смесью в пропорции 1:2.

Нитроцементацию проводили в широком диапазоне температур – от 560 до 900°C . Заметное насыщение наплавленного металла (блестящий нетравящийся слой толщиной $0,01\text{--}0,05$ мм) получается уже при минимальной температуре. При повышении температуры глубина насыщения интенсивно увеличивается.

Эффективность насыщения стали предлагаемым способом не уступает насыщению в цианистой ванне. На рис. 4 представлены микрофотографии диффузионных слоев, полученных в ванне, содержащей 60% $\text{NaCN} + 25\% \text{Na}_2\text{CO}_3 + 15\% \text{NaCl}$, и в нейтральной ванне с нитроцементующей обмазкой. Как видно, структуры идентичны, а глубина слоя при обработке в комбинированной среде примерно на 30% выше.

Таким образом, нитроцементация стальных изделий с использованием нитроцементующей углеродно-азотистой обмазки и нагревом в нейтральных соляных ваннах по эффективности не уступает нитроцементации в цианистых ваннах, а с точки зрения экологии значительно безопаснее последней.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Финнен Б. Разработка и практическое применение процедуры TENIFER (старые и новые) // ZWF. 1975. А. 70. № 12. С. 659–664.
2. Долженков В.Н. Низкотемпературное цианирование конструкционных улучшаемых сталей в пастах: дис. ... канд. техн. наук. Курск: КГТУ, 2001.

Bibliography

1. Finnern B. Development and practical application of the procedure TENIFER (old and new) // ZWF. 1975. A. 70. № 12. P. 659–664.
2. Dolzhenkov V.N. Low-temperature cyanidation of structural steel which could be improved, in the paste: Thesis of Ph.D. Kursk: KSTU, 2001.

АНАЛИТИЧЕСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭГД-СМАЗКИ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ ОПОР РАБОЧИХ ВАЛКОВ СТАНА 2000 ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Известно, что в неконформных парах трения, к которым относятся подшипники качения, возможна реализация эластогидродинамического режима смазки [1].

Целью экспериментального исследования являлось изучение области реализации ЭГД-смазки в подшипниках качения опор рабочих валков стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК».

Исследования проводились на экспериментальной установке (ЭУ), моделирующей процессы, протекающие в реальных объектах, в качестве которых рассматривались подшипники рабочих валков клетей № 5, 6 стана 2000 горячей прокатки ЛПЦ-10 ОАО «ММК» [2].

Схема нагружения роликов экспериментальной установки (ЭУ), моделирующих нагружение подшипников качения рабочих валков, представлена на рис. 1.

На ЭУ во вращение приводился один вал, на который установлен подшипник качения второго ролика. Это позволило фиксировать момент сопротивления в подшипнике от действия смазочного материала при вращении вала, на котором он установлен. Таким образом, была обеспечена идентичность условий нагружения натуре и модели.

В качестве смазочных материалов были использованы масла, применяемые на стане: И100РС и ТНК 460.

На установке имитировалась система смазывания «масло–воздух» за счёт порционной подачи смазочного материала через определённые интервалы времени.

В ходе эксперимента фиксировался момент сопротивления в подшипнике качения вращающегося вала, температура в зоне контакта и уровень вибрации подшипников (виброускорение).

Полученные данные были обработаны посредством Microsoft Excel и представлены в виде графиков на рис. 2–9.

На рис. 2 приведен график изменения момента сопротивления от действия смазочного материала.

На графике прямыми линиями обозначены моменты подачи смазочного материала.

На рис. 3 представлено изменение температуры в области контакта за то же время.

В соответствии с графиком изменения температуры (см. рис. 3) для масла ТНК 460 при температуре приблизительно 110°C наблюдается установившийся температурный режим.

На рис. 4 и 5 приведены графики изменения момента сопротивления от действия смазочного материала и температуры для масла И100РС от длительности эксперимента.

Из графиков видно, что подача очередной порции масла И 100Р не оказывает существенного влияния на момент сопротивления и характер изменения темпе-

ратуры на контакте в подшипнике качения в отличие от масла ТНК 460, это связано с условиями реализации ЭГД-смазки.

Основной характеристикой реализации режима ЭГД-смазки является толщина масляной плёнки.

Для определения толщины масляной плёнки при работе на смазочном материале ТНК 460 и И100 РС воспользуемся формулой И.Д. Ратнера [3]

$$h_0 = 3,17(\mu_0 U_\Sigma)^{0,75} \alpha^{0,6} \rho_{\text{пр}}^{0,4} q_H^{-0,15}, \quad (1)$$

где μ_0 – кинематическая вязкость масла при атмосферном давлении и рабочей температуре, Па·с; U_Σ – суммарная скорость качения в контакте, м/с; $\rho_{\text{пр}}^{0,4}$ – приведённый радиус кривизны поверхностей трения, м; q_H – нагрузка на единицу длины линии контакта, Н/м; α – пьезокоэффициент вязкости смазочного материала, Па⁻¹, который для данных масел неизвестен.

Для определения величины пьезокоэффициента вязкости предлагается следующая методика:

– Принимается расчётная формула [4] по определению момента трения от действия смазочного материала

$$M_{\text{и}} = 10^{-7} f_0 (vn)^{2/3} D_0^3, \quad (2)$$

где D_0 – средний диаметр подшипника; f_0 – коэффициент, зависящий от типа подшипника и условий смазки; n – частота вращения подшипника, мин⁻¹; v – кинематическая вязкость масла (при пластичной смазке – вязкость базового масла), мм²/с.

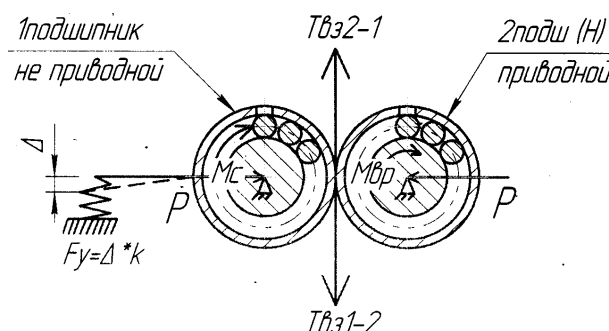


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для проведения экспериментов:
Твз2-1 и Твз1-2 – силы взаимодействия роликов;
Мс – момент сопротивления; Мвр – момент вращения;
Δ – величина отклонения тензометрической пластины от исходного положения; Fy – сила упругости тензометрической пластины;
k – коэффициент упругости

– Подставляя в формулу (2) значения измеренного момента $M_{и}$, находим значение фактической вязкости конкретного масла:

$$\nu_{\phi} = k \cdot M_{и}, \quad (3)$$

где $k = (1 \cdot 10^{-7} \cdot f_0 \cdot n^{2/3} D_0^3)^{-1}$.

Фактическая вязкость расчётная

$$\nu_{\phi p} = \nu_t e^{\alpha p}, \quad (4)$$

где ν_t – вязкость смазочного материала при $p = 0$, Па·с; α – пьезокоэффициент вязкости смазочного материала, МПа⁻¹; p – давление на контакте, МПа.

– Задавая температуру t_2 для масла с более высокой вязкостью, находим температуру t_1 менее вязкого масла, при которой их вязкости равны, по зависимости

$$t_1 = t_2^{n_2/n_1} + 40^{\frac{n_1-n_2}{n_1}} \cdot \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^{\frac{1}{n_1}}, \quad (5)$$

где $n = 0,75 + 0,83 \lg \nu_t$; ν_1 и ν_2 – вязкости масел при температуре 40°C.

– Определяется пьезокоэффициент вязкости более вязкого масла по зависимости

$$\alpha_2 = \frac{1,5 \ln M_{u1} + \ln \kappa}{\rho}. \quad (6)$$

– Определяется пьезокоэффициент вязкости для менее вязкого масла

$$\alpha_1 = \alpha_2 + 1,5 \frac{\ln M_{u1} - \ln M_{u2}}{\rho}. \quad (7)$$

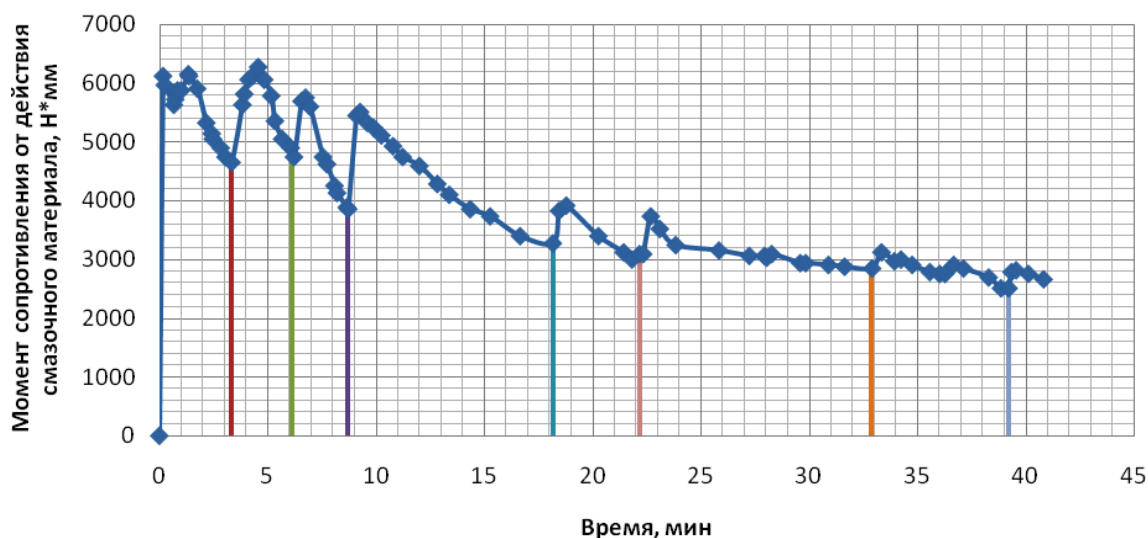


Рис. 2. Изменение момента сопротивления для ТНК 460 от длительности проведения эксперимента

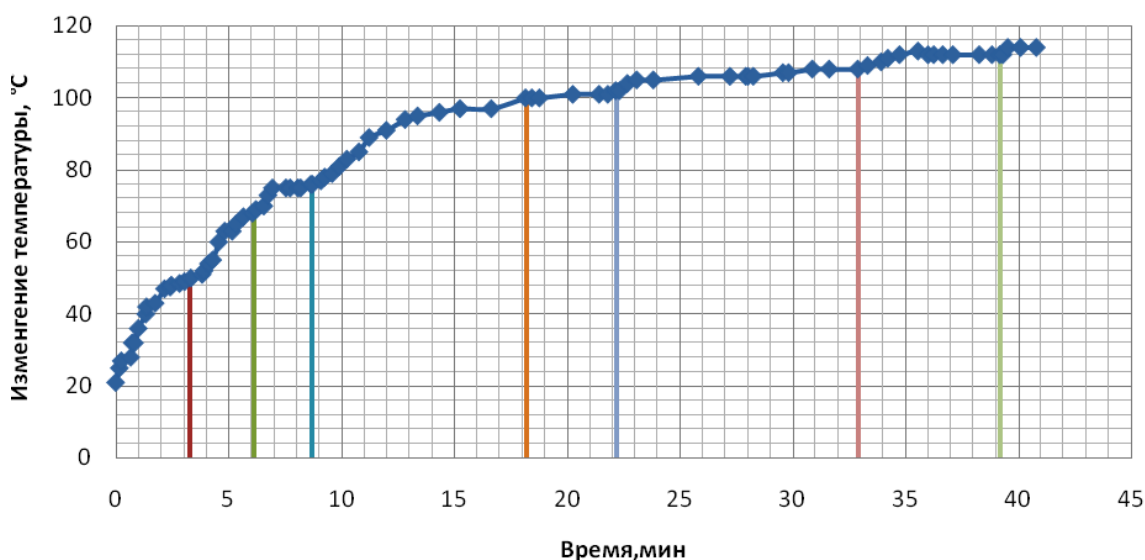


Рис. 3. Изменение температуры в смазочном слое для ТНК 460 от длительности проведения эксперимента

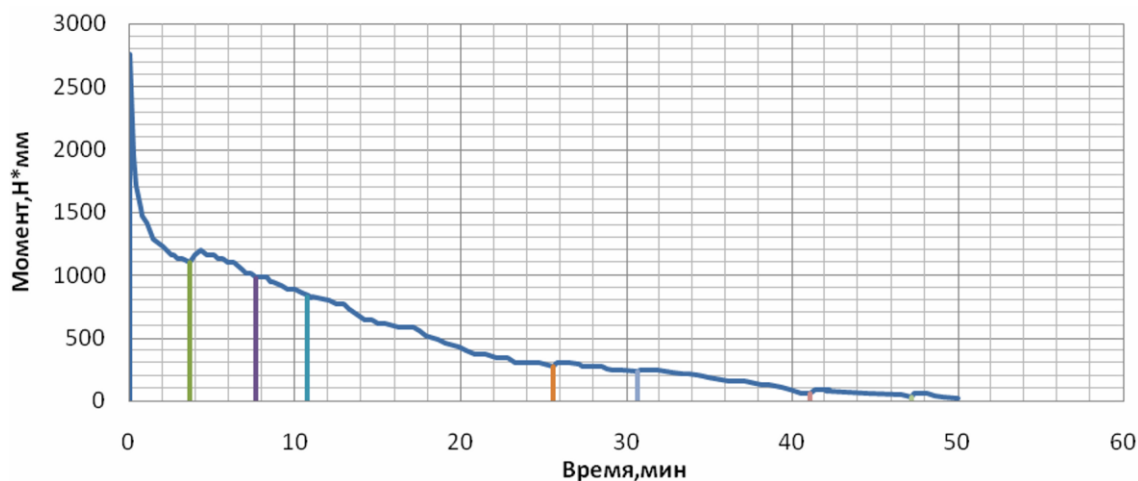


Рис. 4. Изменение момента сопротивления в подшипнике качения вращающегося вала от длительности эксперимента для масла И100Р

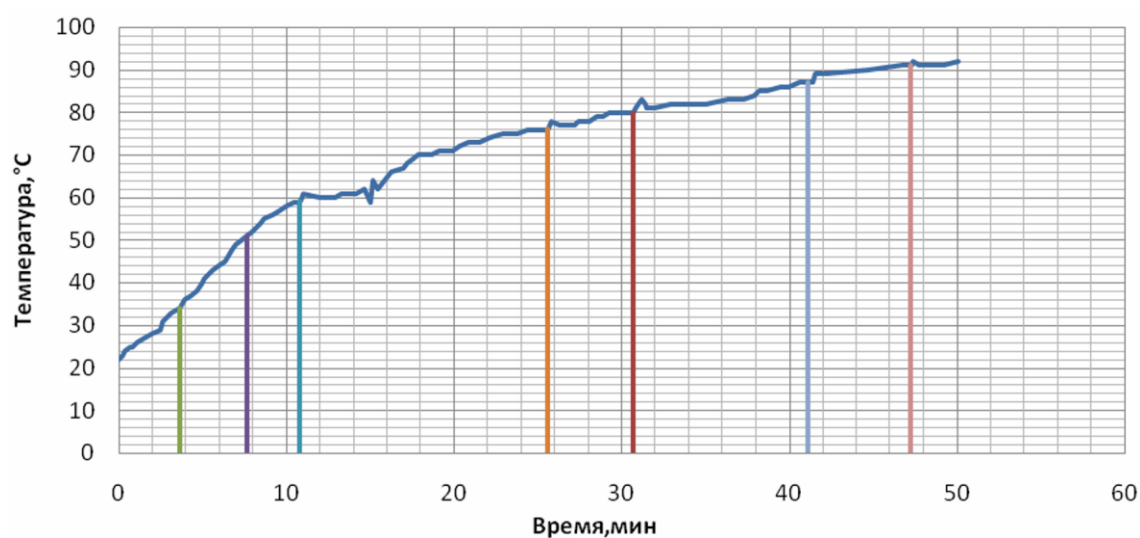


Рис. 5. Изменение температуры в смазочном слое для масла И 100Р

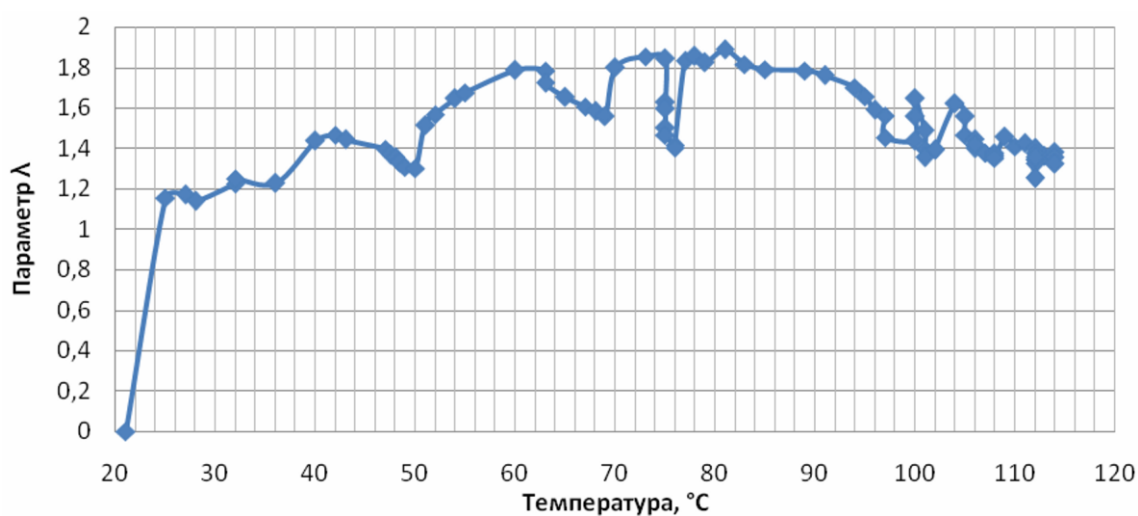


Рис. 6. Изменение параметра λ в зависимости от температуры для масла ТНК 460

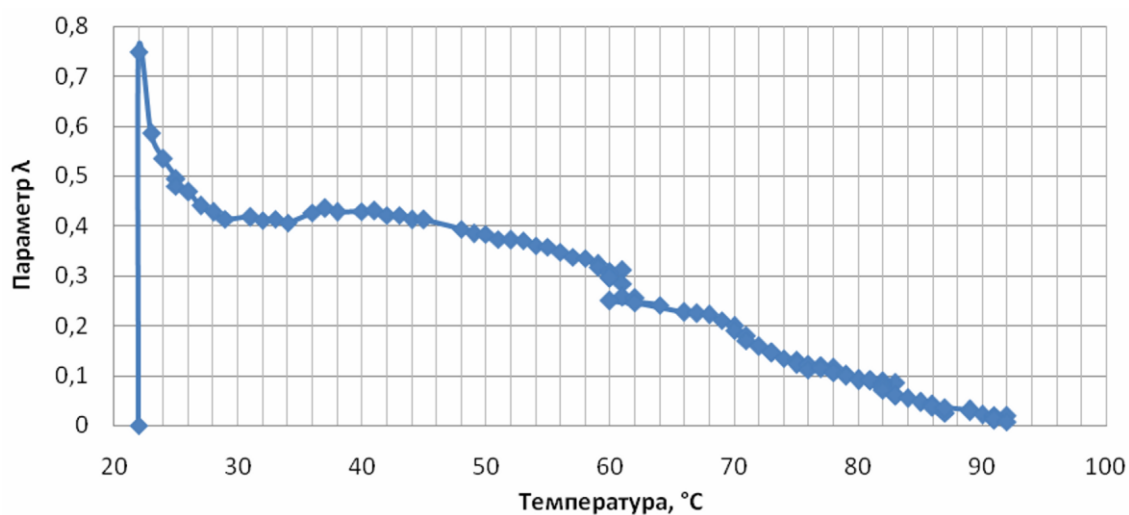
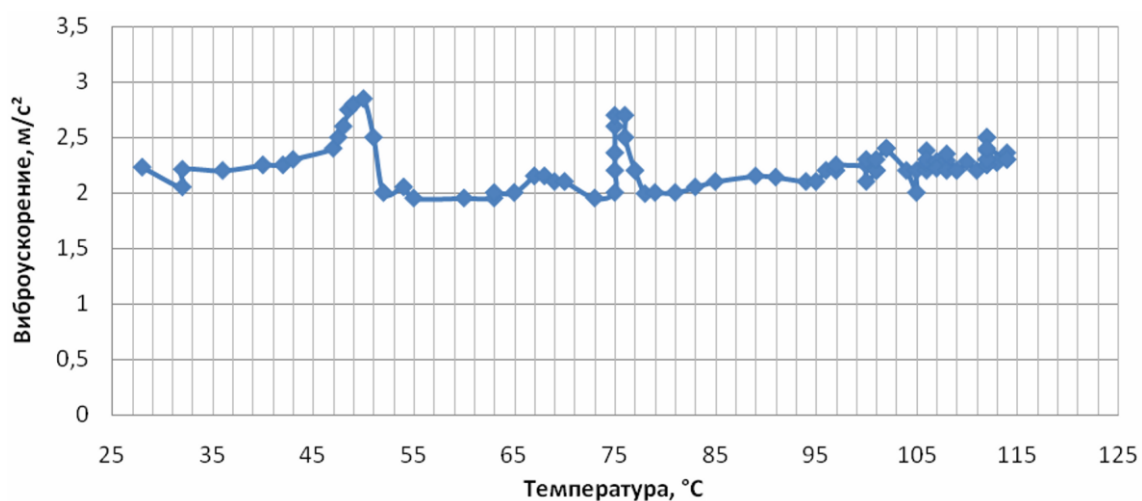
Рис. 7. Изменение параметра λ в зависимости от температуры для масла И100РС

Рис. 8. Изменение уровня вибрации подшипников качения на масле ТНК 460 в зависимости от температуры на контакте

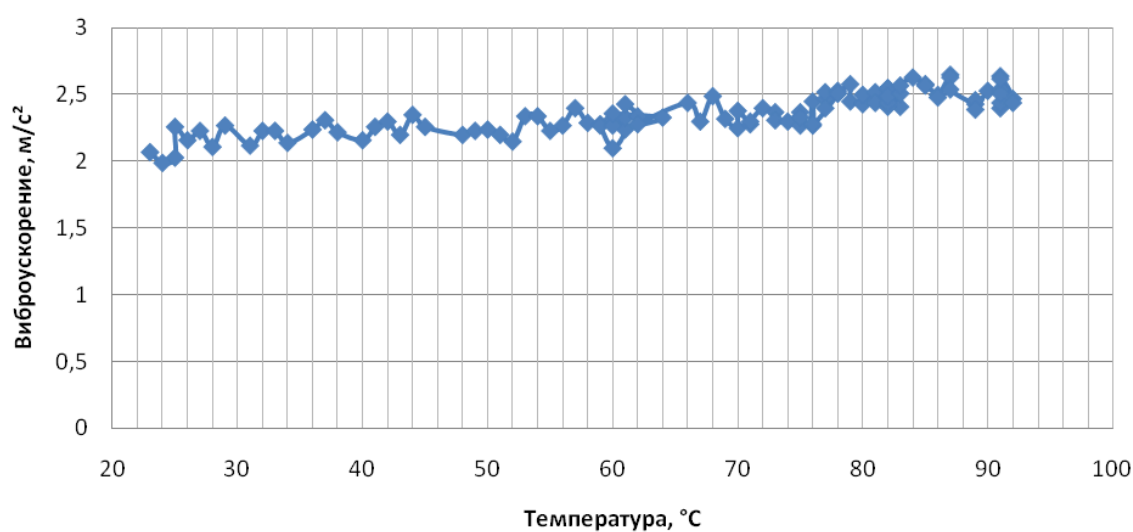


Рис. 9. Изменение уровня вибрации подшипников качения на масле И100РС в зависимости от температуры на контакте

Используя вышеприведенные зависимости, находится величина коэффициента толщины смазочной плёнки $\lambda = \frac{h_0}{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}$ в зависимости от темпера-

туры на контакте в подшипнике качения.

На **рис. 6** и **7** представлено изменение параметра λ использованием исследуемых масел И100РС и ТНК 460.

Согласно [1] при $\lambda \leq 3$ реализуется режим ЭГД-смазки, плёнка называется тонкой и исследуется в основном её состояние, потому что в данном случае существенно влияние шероховатости на характер происходящих в плёнке явлений. Такая плёнка встречается наиболее часто.

Таким образом, при использовании смазочного материала с меньшей вязкостью на контакте не происходит реализации режима ЭГД-смазки, а скорее наблюдается граничный режим смазывания. Это связано с малой вязкостью И100РС. Образующаяся плёнка под действием созданных нагрузок разрушается, не обеспечивая полное разделение трущихся поверхностей в контакте.

При использовании смазочного материала с более высокой вязкостью при установившемся температурном режиме на контакте реализуется режим ЭГД-смазки. Это является подтверждением того, что смазочный материал с более высокой вязкостью способен создавать масляную плёнку на контакте, выдерживающую нагрузки и обеспечивающую разделение трущихся поверхностей.

Для определения уровня напряжений на контакте виброметром фиксировалось виброускорение.

На **рис. 9** представлено изменение уровня вибрации подшипников качения в эксперименте с использованием менее вязкого масла И100РС.

Сравнение уровня значений виброускорения с величиной λ показывает, что они могут являться характеристикой реализации режима ЭГД смазки. Этот факт

характеризует наличие установившегося режима ЭГД-смазки при использовании более высоковязкого смазочного материала и его отсутствие при использовании менее вязкого.

Одновременно по температуре на контакте в подшипнике качения при известном значении пьезокоэффициента вязкости можно устанавливать возможность реализации на контакте режима ЭГД-смазки.

Список литературы

1. Справочник по триботехнике: в 3 т. Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / под общ. ред. М. Хебты, А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990. 416 с.: ил.
2. Мироненков Е.И., Жиркин Ю.В., Дудоров Е.А. // Тяжёлое машиностроение. 2007. № 2.
3. Коднир Д.С., Жильников Е.П., Байбородов Ю.И. Эластогидродинамический расчёт деталей машин. М.: Машиностроение, 1988. 160 с.: ил.
4. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения: Расчёт, проектирование и обслуживание опор: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 608 с.: ил.

Bibliography

1. Reference book of tribo-engineering. T. 2: Oil lubricant, technology of lubrication, sliding and rolling bearing / M. Hebda, Chichinadze. M.: Mechanical engineering, 1990. 416 p.
2. Rolling mill physical modeling of work roll guide bearing self-lubrication regime Zhirkin Yu.V., Mironenkov E.I., Dudorov E.A. // News of highest educational institution. Iron-and-steel industry. 2007. № 4.
3. Kodnir D.S., Zhilnikov E.P., Biborodov Yu.I.. Elastodynamics calculation of machine element. M.: Mechanical engineering, 1988. 160 p.
4. Perel L. Ya. Philatov A.A. Rolling bearing: Calculation, designin and maintenance of suppor: reference book. 2th publication, remaked and augmented. M.: Mechanical engineering, 1992. 608 p.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

УДК 621.97:621.882.6
658.512.004

Закиров Д.М., Осипов Д.С., Гун И.Г., Сабадаш А.В., Овчинников С.В., Майстренко В.В., Мезин И.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКИ АНТОНИМОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО КРЕПЕЖА

Мировыми автопроизводителями ежегодно на рынок выпускаются более 50 новых или модифицированных моделей автомобилей, эксплуатационные характеристики которых неизменно улучшаются. Это требует от российских производителей легковых и грузовых автомобилей постоянно прилагать значительные усилия для сохранения конкурентоспособности своей продукции. В любом автомобиле используется несколько сотен наименований крепежных изделий различного класса прочности, большинство из которых имеют сложные геометрию, механические свойства, химический состав исходного материала, а соответственно и сложную технологию их производства. Требования к крепежу постоянно растут. В настоящее время важной задачей для отечественных производителей автокомпонентов становится разработка и освоение производства продукции, стабильного, заданного уровня качества с конкурентоспособной ценой. Все это требует от производителей автокрепежа постоянно заниматься вопросами повышения качества выпускаемой продукции и обеспечения результативности технологий производства в цепочке «поставщик-производитель-потребитель».

На Белевском заводе «Автонормаль» (ОАО «БелЗАН») изготавливается более 4 тыс. наименований крепежных изделий для более чем 300 потребителей с ежемесячным объемом более 4 тыс. т. Основной продукцией являются автомобильные крепежные изделия. Это обусловлено, прежде всего, безопасностью и долговечностью узлов, механизмов и автомобиля в целом.

В настоящее время ОАО «БелЗАН» поставило и выполняет следующие задачи в области повышения качества продукции:

- разработка новых крепежных изделий с улучшенными потребительскими характеристиками;
- улучшение существующих конструкций крепежных изделий;
- разработка и совершенствование новых технологий производства крепежных изделий;
- модернизация, обновление и оптимизация существующих технологий и оборудования.

Представленные задачи невозможно решить без применения современных методов обеспечения каче-

ства продукции, теории оптимизации, математического анализа, моделирования, теоретического и практического аппарата квалитметрии.

Модернизация существующих конструкций и технологий осуществляется с использованием методологии FMEA (Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов) [1]. FMEA-анализ представляет собой технологию анализа возможности возникновения дефектов и их влияния на потребителя. FMEA-анализ проводится с целью снижения риска потребителя от потенциальных дефектов.

Этапы проведения FMEA-анализа включают:

1. Построение компонентной, структурной, функциональной и потоковой моделей объекта анализа.

2. Исследование моделей. В ходе исследования моделей определяются:

- потенциальные дефекты для каждого из элементов компонентной модели объекта. Такие дефекты обычно связаны или с отказом функционального элемента (его разрушением, поломкой и т.д.), с неправильным выполнением элементом его полезных функций (отказом по точности, производительности и т.д.) или с вредными функциями элемента;
- потенциальные причины дефектов. Для их выявления использованы диаграммы Исикавы, которые строятся для каждой из функций объекта, связанных с появлением дефектов;
- потенциальные последствия дефектов для потребителя. Поскольку каждый из рассматриваемых дефектов может вызвать цепочку отказов в объекте, при анализе последствий используются структурная и потоковая модели объекта;
- возможности контроля появления дефектов. Определяется, может ли дефект быть выявленным до наступления последствий в результате предусмотренных в объекте мер по контролю, диагностике и др.

С использованием экспертных оценок определяются следующие параметры:

а) параметр тяжести последствий для потребителя (S); это – экспертная оценка, проставляемая обычно по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется для случаев, когда последствия дефекта влекут

юридическую ответственность;

б) параметр частоты возникновения дефекта (О); это – также экспертная оценка, проставляемая по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется, когда оценка частоты возникновения составляет 1/4 и выше;

в) параметр вероятности необнаружения дефекта (D); как и предыдущие параметры, он является 10-балльной экспертной оценкой; наивысший балл проставляется для «скрытых» дефектов, которые не могут быть выявлены до наступления последствий;

г) параметр риска потребителя ПЧР; он определяется как произведение $S \times O \times D$; этот параметр показывает, в каких отношениях друг к другу в настоящее время находятся причины возникновения дефектов; дефекты с наибольшим коэффициентом приоритета риска (ПЧР больше либо равно 100–120) подлежат устранению в первую очередь.

Результаты анализа заносятся в специальную таблицу и разрабатываются мероприятия по изменению конструкции.

В настоящее время проработаны ряд заготовок и узлов, куда они входят с целью оптимизации конструкции и изготовления готового изделия с более высокими потребительскими свойствами и экономической целесообразностью.

ОАО «БелЗАН» на протяжении многих лет поставляет в ОАО «КамАЗ» заготовки «Болта колеса» (рис. 1).

В ОАО «КамАЗ» заготовка болта дорабатывалась, а именно шлифовался подголовок болта $\varnothing 25^{+0,097}_{+0,066}$ мм под запрессовку в ступицу колеса, затем заготовка покрывалась цинком. Данная технология имеет высокую трудоемкость, стоимость и низкую стабильность качества.

После проведенного анализа конструкции по методологии FMEA была предложена конструкция подголовка с прямыми шлицами под запрессовку (рис. 2). После проведения стендовых испытаний и опытной сборки принято решение по внедрению данной конструкции в серийное производство.

В ОАО «КамАЗ» точением изготавливалась сферическая шайба (рис. 3) для крепления форсунки, имеющая большой диаметр 20 мм при малой толщине 4 мм и сферическую поверхность для центрирования ответной детали. Шайба имела очень тонкие края и при сборке одевалась на шпильку, затягивалась гай-

кой М10. При изготовлении, сборке и эксплуатации значительный процент дефектной продукции составлял дефект «трещина шайбы».

После проведения анализа FMEA ОАО «БелЗАН» было применено оригинальное решение – совместить гайку со сферической шайбой, в итоге получилась фланцевая «сферическая гайка» класса прочности 8.8 (рис. 4).

Внедрение сферической гайки решило многие проблемы по качеству сборки и эксплуатации на КамАЗе и дало экономии более одного миллиона рублей. При этом в ОАО «БелЗАН» вместо нерентабельной шестигранной гайки начали поставлять фланцевую сферическую гайку, что дало дополнительный объем на сумму более 1,5 млн руб. с дополнительным экономическим эффектом для БелЗАН более 600 тыс. руб.

Аналогично с применением данной методологии была осуществлена разработка новой конструкции болта крепления головки блока цилиндров (рис. 5). Это позволило увеличить циклическую стойкость на ~30%, снизить затраты на доработку в ОАО «КамАЗ».

Такой показатель, как «результативность технологии производства» по своему характеру является комплексной величиной, зависящей от множества параметров, характеризующих различные аспекты оцениваемой технологии. Внедрение новых технологий или оптимизация существующих должна базироваться на четких знаниях однозначной возможности получения требуемого результата производства, что требует определенной методологии анализа и оценки альтернативных вариантов.

Поэтому для проведения оценки результативности технологий производства может быть применен теоретический и практический аппарат квалиметрии. Для проведения оценки может быть использован алгоритм, предложенный в работе [2].

В соответствии с данным алгоритмом должны быть определены и структурированы показатели, что и было сделано на основе анализа конструкторской, технологической документации и отдельных спецификаций по экономике, стабильности и воспроизводимости процессов производства.

Оценка результативности сквозных технологий производства крепежных изделий (СТПКИ) может быть проведена по трем группам показателей: технологические, экономические параметры и показатели

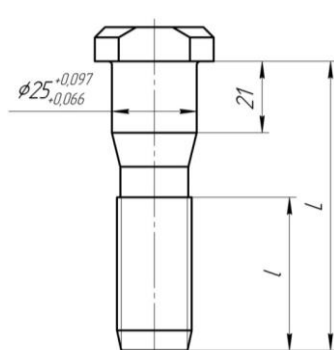


Рис. 1. Колесный болт без рифления

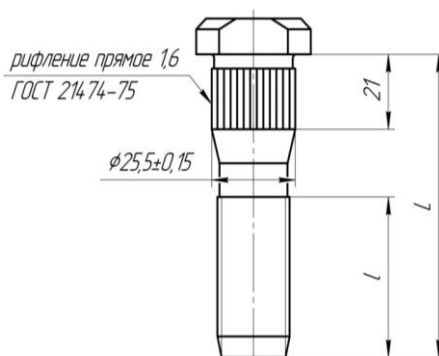


Рис. 2. Колесный болт с рифлением

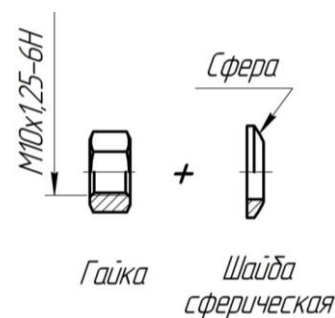


Рис. 3. Накидная гайка и шайба крепления форсунки

качества продукции. Последние, в свою очередь, подразделяются на показатели качества металлопроката, показатели качества заготовок шаровых пальцев, показатели качества готового изделия.

Для проведения оценки используются относительные единичные показатели, которые определяются по одной из следующих формул:

$$k_{jm} = \frac{P_j^{\text{баз}}}{P_{jm}}; k_{jm} = \frac{P_{jm}}{P_j^{\text{баз}}},$$

где $P_j^{\text{баз}}$ – базовое (эталонное) значение каждого j -го единичного показателя; P_{jm} – численное значение каждого j -го абсолютного единичного показателя, полученное для каждого из m , оцениваемых СТПКИ.

Для определения относительных показателей оценки результативности СТПКИ, характеризующих качество продукции и имеющих предельные значения, можно использовать формулу [3]:

$$k_{jm} = 1 - \frac{(P_j^{\text{баз}} - P_{jm})^2}{P_j^{\text{баз}} - P_j^{\text{np}}},$$

где P_j^{np} – верхнее или нижнее предельное значение показателя оценки результативности СТПКИ, характеризующего качество продукции, выход за который понижает уровень качества.

Наиболее важной и сложной задачей при реализации методики является выбор способа комплексирования относительных единичных показателей, причем таким образом, чтобы учитывался системный характер структуры данного комплексного показателя.

Для практической реализации задачи при оценке результативности сквозной технологии необходимо построить математическую модель,

описывающую зависимость комплексной величины от набора оцениваемых показателей. Однако задача характеризуется большим количеством параметров, а взаимосвязи между большинством показателей проявляются только на качественном уровне (чем больше (меньше) X , тем больше (меньше) Y), поэтому более оправдано моделировать взаимосвязи между параметрами *посредством логических функций*, а не средних взвешенных величин, но также необходимо учитывать и то, что существует корреляционная связь между некоторыми показателями.

Предлагается применить методику оценивания с использованием логики антонимов (ЛА) [4]. Области применения логики антонимов очень обширны, сюда входят ранжирование объектов рассмотрения (относительно эталона и без него), контроль, диагностирование, прогнозирование, оценивание возможностей в задачах управления и/или принятия решений в условиях неопределенности. Задачи могут принадлежать любой отрасли человеческой деятельности.

Логика антонимов, так же как и логика Заде, является непрерывнозначной (нечеткой) логикой. Но в отличие от логики Заде логика антонимов полностью

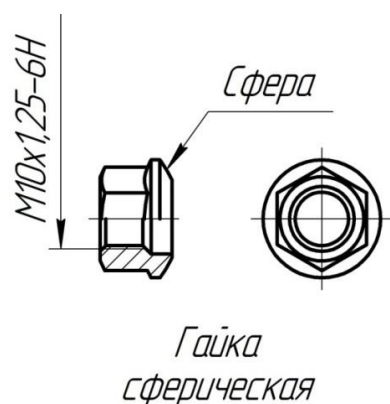


Рис. 4. Сферическая гайка крепления форсунки

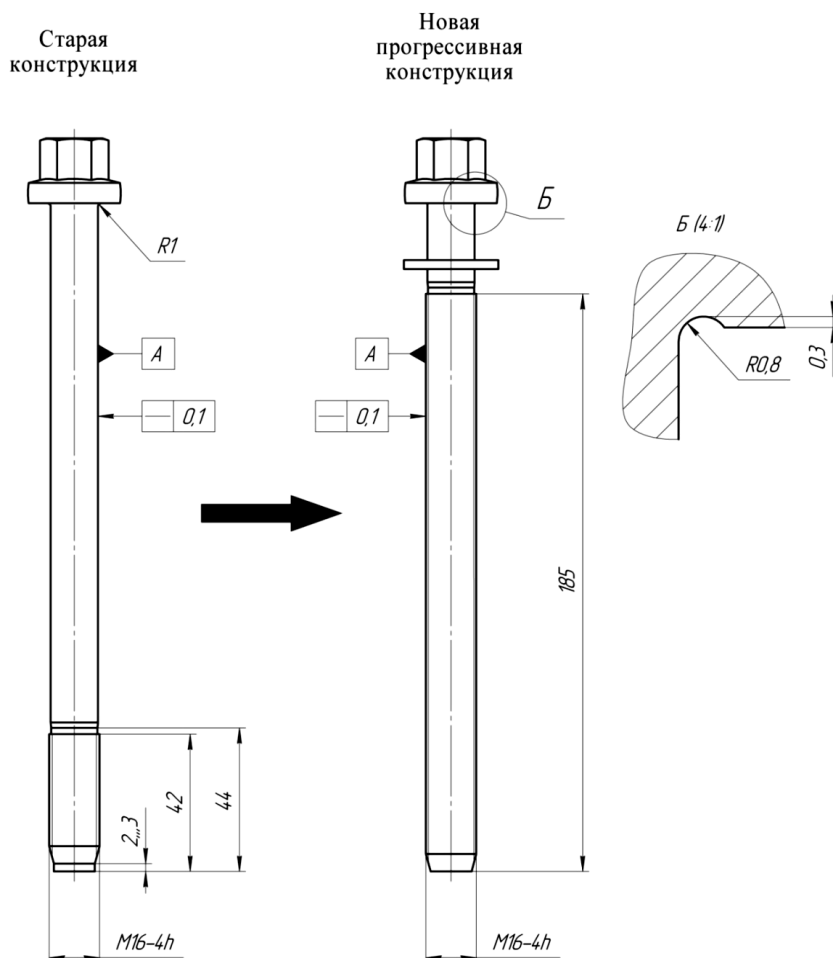


Рис. 5. Конструкции фланцевого болта крепления блока цилиндров

согласуется с классической логикой (обладает свойством *булевости*), т.е. в ней сохраняются все эквивалентности классической логики (точнее, в логике антонимов имеют место аналоги всех эквивалентностей классической логики). В настоящее время логика антонимов остается единственной непрерывнозначной логикой, которая полностью согласуется с классической логикой, т.е. возможно использование классического математического аппарата [5].

В ЛА вопрос учета важности и пределов изменения свойств объекта исследования решается с помощью «тесной» и «слабой» связи. Операторы α и β связывают составляющие показатели, причем роль буквы β аналогична роли знака дизъюнкции в математической логике, а буквы α – конъюнкции. Опираясь на логическую связь между параметрами объекта исследования, можно получить количественную оценку [6].

Для структурирования единичных показателей строится граф зависимости комплексного показателя от составляющих единичных показателей.

Для квалиметрической оценки должна быть проведена процедура ранжирования предложенных показателей (доминирующие и компенсируемые) и определена их весомость с помощью компетентных экспертов методом анкетного опроса специалистов по производству крепежа в различных областях в соответствии с оцениваемыми основными операциями (выплавка стали, прокатное производство, холодная объемная штамповка, термообработка, обкатка, накатка и калибрование резьбы). Для выбора экспертов использовался метод «снежного кома» [7].

Доминирующий показатель (D) – единичный показатель, нулевая оценка которого обязательно влечет за собой нулевую оценку комплексного показателя. Имеет конъюнктивную связь с комплексным показателем.

Компенсирующий показатель (K) – единичный показатель, нулевая оценка которого необязательно влечет за собой нулевую оценку комплексного показателя, нулевая оценка такого показателя может быть компенсирована оценками других показателей. Имеет дизъюнктивную связь с комплексным показателем.

Графическое отображение структуры и связей комплексного показателя оценки результативности СТПКИ и составляющих его единичных показателей представлены на рис. 6.

На основе полученных при реализации методики оценок были сконструированы формулы для расчета комплексного показателя оценки результативности сквозных технологий с использованием аксиоматики логики антонимов для комплексирования оценок относительных единичных показателей результативности СТПКИ:

$$K_0 = -\log_2 \left[1 - \prod_{n=1}^3 (1 - 2^{-Q_n \cdot K_n}) \right],$$

где K_n – оценка группы единичных показателей: K_1 – технологических показателей; K_2 – экономических показателей; K_3 – показателей качества продукции.

$$K_1 = -\log_2 \left[1 - (1 - 2^{-q_{1.1} \cdot k_{1.1}}) \cdot (1 - 2^{-q_{1.3} \cdot k_{1.3}}) \times \right. \\ \left. \times (1 - 2^{-q_{1.6} \cdot k_{1.6}}) \right] + q_{1.2} \cdot k_{1.2} + q_{1.4} \cdot k_{1.4} + \\ + q_{1.5} \cdot k_{1.5} + q_{1.7} \cdot k_{1.7},$$

$$k_{1.5} = -\log_2 \left[1 - \prod_{i=1}^3 (1 - 2^{-q_{1.5,i} \cdot k_{1.5,i}}) \right],$$

$$k_{1.6} = -\log_2 \left[1 - \prod_{i=1}^6 (1 - 2^{-q_{1.6,i} \cdot k_{1.6,i}}) \right];$$

$$K_2 = -\log_2 \left[1 - (1 - 2^{-q_{2.1} \cdot k_{2.1}}) \cdot (1 - 2^{-q_{2.2} \cdot k_{2.2}}) \times \right. \\ \left. \times (1 - 2^{-q_{2.5} \cdot k_{2.5}}) \right] + q_{2.3} \cdot k_{2.3} + q_{2.4} \cdot k_{2.4} + q_{2.6} \cdot k_{2.6} + \\ + q_{2.7} \cdot k_{2.7} + q_{2.8} \cdot k_{2.8},$$

$$k_{2.3} = -\log_2 \left[1 - \prod_{i=1}^3 (1 - 2^{-q_{2.3,i} \cdot k_{2.3,i}}) \right];$$

$$K_3 = -\log_2 \left[1 - (1 - 2^{-q_{3.1} \cdot k_{3.1}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.2} \cdot k_{3.2}}) \times \right. \\ \left. \times (1 - 2^{-q_{3.4} \cdot k_{3.4}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.5} \cdot k_{3.5}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.6} \cdot k_{3.6}}) \times \right. \\ \left. \times (1 - 2^{-q_{3.7} \cdot k_{3.7}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.8} \cdot k_{3.8}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.10} \cdot k_{3.10}}) \times \right. \\ \left. \times (1 - 2^{-q_{3.11} \cdot k_{3.11}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.12} \cdot k_{3.12}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.13} \cdot k_{3.13}}) \times \right. \\ \left. \times (1 - 2^{-q_{3.14} \cdot k_{3.14}}) \cdot (1 - 2^{-q_{3.15} \cdot k_{3.15}}) \right] + \\ + q_{3.3} \cdot k_{3.3} + q_{3.9} \cdot k_{3.9},$$

$$k_{3.1} = -\log_2 \left[1 - \prod_{i=1}^5 (1 - 2^{-q_{3.1,i} \cdot k_{3.1,i}}) \right],$$

$$k_{3.10} = -\log_2 \left[1 - \prod_{i=1}^9 (1 - 2^{-q_{3.10,i} \cdot k_{3.10,i}}) \right],$$

$$k_{3.12} = -\log_2 \left[1 - \prod_{i=1}^8 (1 - 2^{-q_{3.12,i} \cdot k_{3.12,i}}) \right],$$

где единичные показатели соответственно:

$k_{1.1}$ – производительность процесса; $k_{1.2}$ – материалоемкость процесса; $k_{1.3}$ – выход годного; $k_{1.4}$ – удельная энергоёмкость процесса; $k_{1.5}$ – стойкость оснастки; $k_{1.6}$ – воспроизводимость процесса по показателям качества продукции; $k_{1.7}$ – период освоения технологии; $k_{1.5.1}$, $k_{1.5.2}$, $k_{1.5.3}$ – стойкость штамповой оснастки, резбонакатного и вспомогательного инструмента соответственно; $k_{1.6.1}$, $k_{1.6.2}$, $k_{1.6.3}$, $k_{1.6.4}$, $k_{1.6.5}$, $k_{1.6.6}$, $k_{1.6.7}$, $k_{1.6.8}$ – значения коэффициентов C_{pk} для важных потребителю параметров качества; $k_{2.1}$ – себестоимость продукции; $k_{2.2}$ – рентабельность; $k_{2.3}$ – суммарные затраты на контроль; $k_{2.4}$ – стоимость оснастки; $k_{2.5}$ – стоимость оборудования; $k_{2.6}$ – резерв

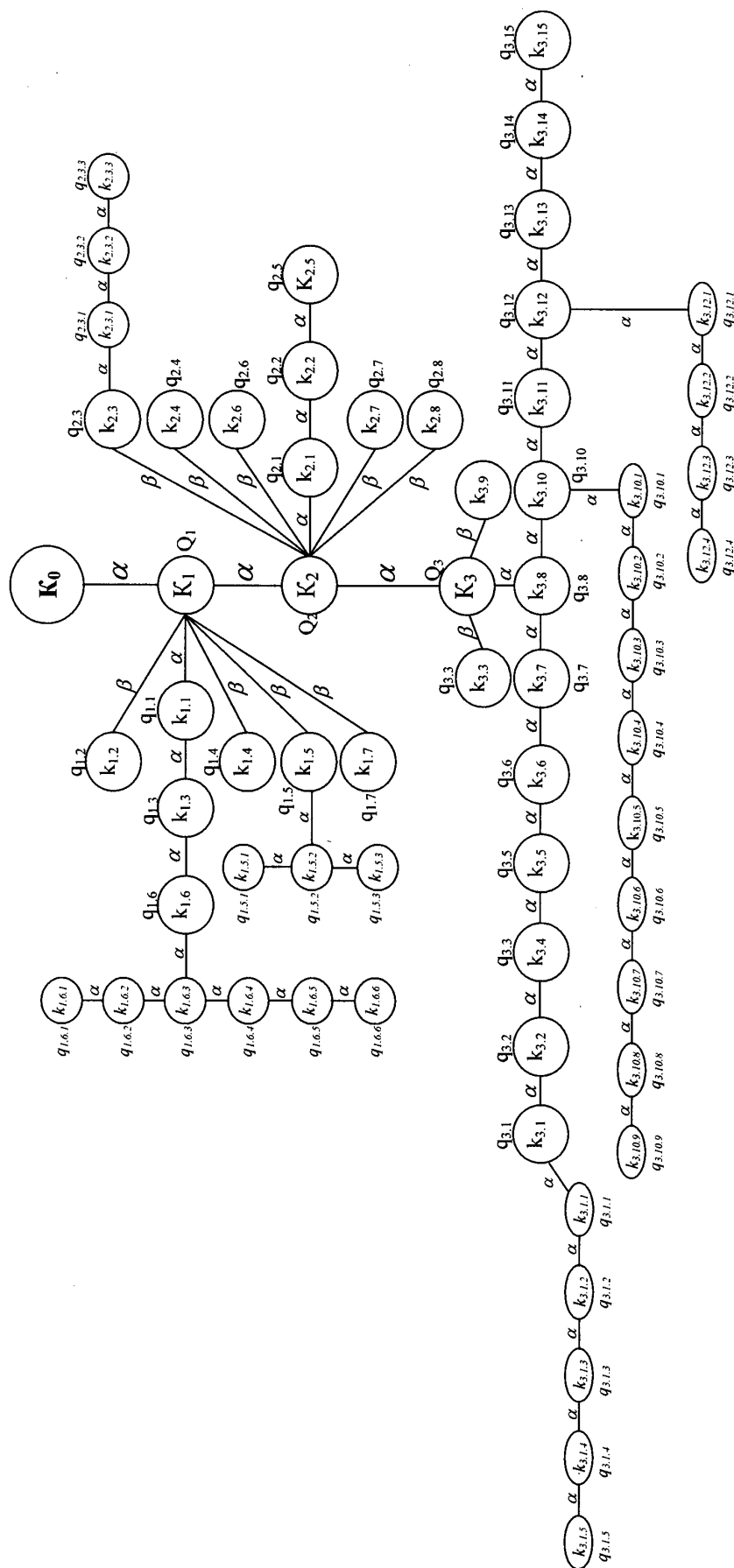


Рис. 6. Граф зависимости оценки результативности сквозной технологии производства крепежных изделий от единичных показателей:

K_0 – комплексный показатель результативности СТПКИ;

K_0 – комплексный показатель результативности СТПКИ;
 k – значения относительных единичных показателей результативности СТПКИ;

$K_{1,2,3}$ – значения оценки группового показателя: технологических единичных параметров, экономических единичных параметров, показателей качества продукции;

Q, q – соответствующие уровни значимости (весомости) групповых и единичных относительных показателей соответственно;

α, β – обозначение конъюнктивной – тесной и дизъюнктивной – слабой связи между единичными показателями и групповым показателем

мощностей; $k_{2.7}$ – требуемый межоперационный задел продукции; $k_{2.8}$ – полное время цикла изготовления; $k_{2.4.1}$, $k_{2.4.2}$, $k_{2.4.3}$ – стоимость штамповой оснастки, резбонакатного и вспомогательного инструмента соответственно;

$k_{3.1}$ – химический состав металла по основным элементам; $k_{3.2}$ – прокаливаемость металлопроката, твердость на расстоянии от края 1,5 мм (по Джимины); $k_{3.3}$ – средний балл содержания неметаллических включений; $k_{3.4}$ – предел прочности; $k_{3.5}$ – относительное удлинение; $k_{3.6}$ – глубина обезуглероженного слоя; $k_{3.7}$ – микроструктура; $k_{3.8}$ – группа на осадку металла; $k_{3.9}$ – макро-структура; $k_{3.10}$ – геометрические размеры заготовок; $k_{3.11}$ – твердость; $k_{3.12}$ – геометрические размеры готового изделия; $k_{3.13}$, $k_{3.14}$, $k_{3.15}$ – шероховатость соответствующей поверхности;

$k_{3.10.1}$ – диаметр стержня; $k_{3.10.2}$ – эллипсность стержня; $k_{3.10.3}$ – длина стержня под накатку резьбы; $k_{3.10.4}$ – диаметр стержня под накатку резьбы; $k_{3.10.5}$ – геометрия фланца; $k_{3.10.6}$, $k_{3.10.7}$ – диаметр вписанной и описанной окружности шестигранника соответственно; $k_{3.10.8}$ – длина от фланца до торца; $k_{3.10.9}$ – угловые размеры; $k_{3.12.1}$ – средний диаметр резьбы; $k_{3.12.2}$ – наружный диаметр резьбы; $k_{3.12.3}$ – расстояние до первого полного витка резьбы; $k_{3.12.4}$ – радиальное биение;

Q_n , $q_{n,j,i}$ – соответствующие уровни значимости (весомости) групповых и единичных относительных показателей соответственно.

Осуществляя оценку различных технологий по приведенной здесь методике, можно выбирать наиболее результативную из возможных альтернатив, что обеспечивает высокую конкурентоспособность продукции и предприятия в целом.

Это только часть работы, проводимой в ОАО «БелЗАН» по наращиванию объемов производств, повышению удовлетворенности потребителя, повышению качества и конкурентоспособности. Помимо этого проводится планомерная модернизация производства.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов.
2. Михайловский И.А., Осипов Д.С., Долженков А.С. Квалиметрическая оценка результативности сквозных технологий производства шаровых пальцев для шарниров зарубежных автомобилей // Материалы науч.-техн. конф. «Бояршиновские

- чтения»: сб. докл. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 18–21.
3. Рашников В.Ф., Салганик В.М., Шемшурова Н.Г. Квалиметрия и управление качеством продукции: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 184 с.
4. Динцис Д. Ю. Методы принятия решений в условиях неполной определенности на базе теории нечетких множеств (логики антонимов) // Журнал депонированных рукописей. 2001. № 8, авг.
5. Тисенко В.Н. Нечеткие множества в задачах комплексных испытаний при реализации инновационных проектов. СПб.: Политехника, 1998. 104 с.
6. Копанева И.Н. Мониторинг и управление качеством процесса производства с применением логики антонимов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Санкт-Петербургский гос. техн. ун-т). СПб., 2002. 18 с.
7. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М.: Радио и связь. 1982. 184 с.
8. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей. М.: Металлургия, 1984. 152 с.
9. Гун Г.С. Метод комплексной оценки качества металлопродукции // Изв. вузов. Черная металлургия. 1982. № 8. С. 62–66.

Bibliography

1. GOST R 51814.2-2001. Quality Systems in Automotive Industry. Системы качества в автомобилестроении. Failure Mode and Effects Analysis Method.
2. Mikhailovsky I.A., Osipov D.S., Dolzhenkov A.S. Qualitative impact assessment of through technologies of production of ball pins for ball joints of foreign cars // Materials of sci.-tech. conf. «Boyarshinov readings»: sum. rep. Magnitogorsk: MSTU, 2004. P. 18–21.
3. Rashnikov V.Ph., Salganik V.M., Shemshurova N.G. Qualimetry and product quality control: tutorial. Magnitogorsk: MSTU, 2000. 184 p.
4. Dintsis D.Yu. Methods of decision making under incomplete certainty on the basis of fuzzy set theory (antonyms logic) // Journal of deposited manuscripts. 2001. № 8, August.
5. Tisenko V.N. Fuzzy sets in problems of complex tests in the implementation of innovative projects. St. Petersburg: Politechnica, 1998. 104 p.
6. Kopaneva I.N. Monitoring and quality control of manufacturing process using the logic of antonyms: autoref. of Ph. D. diss.: 05.02.23 / St. Petersburg State Technical University. St. Petersburg, 2002. 18 p.
7. Litvak B.G. Expert information. Methods for obtaining and analyzing. Moscow: Radio I Svyaz, 1982. 184 p.
8. Gun G.S. Quality management of high precise profiles. Moscow: Metallurgy, 1984. 152 p.
9. Gun G.S. The method of comprehensive assessment of quality of metal production // Universities News. Ferrous Metallurgy. 1982. № 8. P. 62–66.

УДК 658.562

Клочков Ю.С.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Во главе любого бизнес-процесса стоит менеджер, в обязанности которого (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2008) входит постоянное совершенствование управляемой им области деятельности [1]. Для при-

нятия решений, основанных на фактах, такому руководителю необходимы показатели качества, позволяющие оценить изменение технологических процессов.

Так как большинство процессов подчиняются нор-

мальному закону распределения, а параметры изделия имеют две границы поля допуска [2], то будем разрабатывать показатели качества при данных условиях.

Известно, что экономические потери в случае выхода параметров изделия за одну из границ поля допуска не равны потерям в случае выхода за другую границу поля допуска [3]. Тогда показатель экономических потерь предлагается рассчитывать следующим образом.

$$Q_{\text{эк}} = P_1 \mathcal{E}_1 + P_2 \mathcal{E}_2,$$

где P_1 – вероятность выхода продукции за НКГ (нижняя граница поля допуска); P_2 – вероятность выхода продукции за ВКГ (верхняя граница поля допуска); $\mathcal{E}_1$ – экономические потери, связанные с выходом продукции за НКГ; $\mathcal{E}_2$ – экономические потери, связанные с выходом продукции за ВКГ.

Как показывает практика, экономические потери зависят от удаления параметра качества изделия от границы поля допуска. Тогда, например, $P_1 \mathcal{E}_1$ будет рассчитываться по формуле

$$P_1 \mathcal{E}_1 = \sum p_i \varepsilon_i,$$

где p_i – вероятность появления параметра изделия в предполагаемом интервале; ε_i – экономические потери, связанные с появлением параметра изделия в предполагаемом интервале.

Величина $P_2 \mathcal{E}_2$ в нашем случае не изменяется, так как связана с постоянными потерями вследствие заготовки изделия.

Кроме того, следует учитывать объем выпускаемой продукции V .

Тогда окончательно формула расчета вводимого показателя примет вид

$$Q_{\text{эк}} = V(\sum p_i \varepsilon_i + P_2 \mathcal{E}_2).$$

Анализ технологического процесса при помощи такого показателя позволит решить целый класс задач, стоящих перед руководителями: сопоставить текущие экономические потери со стоимостью ремонта оборудования, определить, всегда ли настройка на середину поля допуска является экономически целесообразной и т.д.

Но для более детального исследования технологических процессов такого показателя будет недостаточно. Необходимо узнать, изменение чего – $\bar{X}$ или σ приводит к более значительным экономическим потерям.

Как отмечалось выше, мы ограничены тем, что распределение значения X является случайной величиной $\hat{X}$, распределенной по нормальному закону с $\bar{X}$ и σ .

Тогда вероятность выполнения технического задания рассчитывается следующим образом:

$$\alpha = \Phi\left(\frac{ВКГ - \bar{X}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{НКГ - \bar{X}}{\sigma}\right),$$

где Φ – функция Лапласа.

Введем отклонение Δ от центра поля допуска:

$$\Delta = \bar{X} - \left(\frac{ВКГ + НКГ}{2}\right),$$

$$\text{тогда } ВКГ - \bar{X} = \left(\frac{ВКГ - НКГ}{2}\right) - \Delta,$$

$$НКГ - \bar{X} = -\left(\frac{ВКГ - НКГ}{2}\right) - \Delta.$$

После введения Δ вероятность выполнения технического задания примет вид

$$\begin{aligned} \alpha &= \Phi\left(\frac{\frac{ВКГ - НКГ}{2} - \Delta}{\sigma}\right) - \\ &- \Phi\left(\frac{-\frac{ВКГ - НКГ}{2} - \Delta}{\sigma}\right) = \\ &= \Phi\left(\frac{1 - \Delta'}{\sigma'}\right) - \Phi\left(\frac{-1 - \Delta'}{\sigma'}\right), \end{aligned}$$

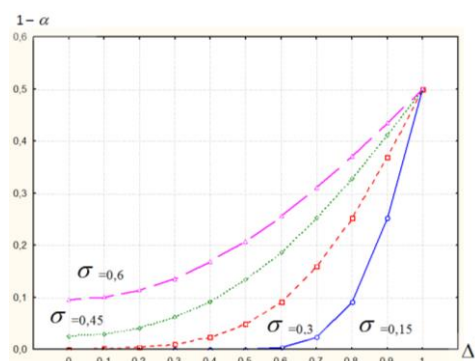
$$\text{где } \Delta' = \frac{\Delta}{\frac{ВКГ - НКГ}{2}} \text{ и } \sigma' = \frac{\sigma}{\frac{ВКГ - НКГ}{2}}.$$

При идеально настроенном процессе на середину поля допуска $\Delta = \Delta' = 0$, тогда

$$\alpha = \Phi\left(\frac{1}{\sigma'}\right) - \Phi\left(\frac{-1}{\sigma'}\right) = 2\Phi\left(\frac{1}{\sigma'}\right).$$

При этом видно, что вероятность выполнения технического задания зависит только от σ' . Теперь возможно провести анализ влияния σ и величины Δ (отклонение $\bar{X}$ от центра поля допуска) на вероятность выполнения технического задания или на уровень брака в производстве. На рисунке представлена зависимость величины $(1 - \alpha)$ от Δ' при различных σ' .

По результатам построения графиков можно сделать вывод о том, когда изменение $\bar{X}$ или σ выгодно для предприятия. Очевидно, что подобной возможностью не обладает индекс воспроизводимости C_{pk} . Тем



Влияние величин σ и Δ' на долю брака $(1 - \alpha)$

Результаты статистического анализа

Оборудование	Марка провода	Параметр	Показатели качества			
			C_p	C_{pk}	Q	$Q_{эк}$
ЛАП 60	ПВАМ 0,5	Диаметр провода	4,28	1,82	1	0
			5,26	2,35	1	0
		Толщина изоляции		0,68	0,97	0,26
				1,04	0,99	0,01
SPE 10	ПВАМ 0,75	Диаметр провода	4,01	1,4	0,99	0
			3,84	1,37	0,99	0
		Толщина изоляции		1,86	1	0
				1,18	0,99	0,01
SPE 10	ПВАМ 0,5	Диаметр провода	2,75	1,07	0,99	0,01
			3,61	1,29	0,99	0
		Толщина изоляции		0,97	0,99	0
				1,13	0,99	0,02
ЛАП 60	ПВА 0,75	Диаметр провода	0,75	0,1	0,62	3,05
			0,77	0,09	0,61	3,14
		Толщина изоляции		0,57	0,95	0,34
				1,03	0,99	0,01
		Концентричность				
				3,73	1	0

не менее, для предприятий остается важным использовать показатель, который демонстрирует изменение технологического процесса и не зависит от экономических потерь. При решении такой задачи следует обращать внимание на неравномерность изменения вероятности выхода параметров изделия за границы поля допуска. При этом индекс воспроизводимости C_{pk} не реагирует на изменение доли брака (так как является односторонним показателем). В публикации для решения данной проблемы предложено проводить наблюдение за изменением нескольких индексов воспроизводимости (C_{pv} , C_{pk} , C_{pL}) или воспользоваться следующей формулой расчета комплексного показателя:

$$Q = Q_p Q_c,$$

где Q_p – показатель рассеивания процесса; Q_c – показатель, характеризующий способность процесса удо-

влетворять принятым требованиям.

$$Q_p = [1 - (P_{цд} - P_d)],$$

где $P_{цд}$ – вероятность выхода годных изделий при идеально-центрированном процессе; P_d – вероятность выхода годных изделий.

$$Q_c = P_{цд} / P_c,$$

где P_c – целевое (стандартное) значение выхода годных изделий, принятое на конкретном предприятии.

Разработанные показатели имеют широкую область применения, но следует отметить, что расчет Q целесообразен, когда имеется высокая вероятность появления брака, так как в других случаях большей наглядностью обладают индексы воспроизводимости (C_{pv} , C_{pk} , C_{pL}).

Пример поиска наиболее критичного с точки зрения качества процесса покажем на производстве авто-тракторных кабелей. Результаты статистического анализа приведены в **таблице**.

В соответствии с проведенными расчетами можно сделать вывод о том, что самый критичный процессом является процесс производства провода марки ПВА 0,75 на оборудовании ЛАП 60, так как он обладает самой высокой вероятностью появления брака.

Список литературы

1. Применение прикладных статистических методов при производстве продукции (для руководителей предприятий и организаций): практическое руководство. Изд-е 2-е. Н.Новгород: СМЦ «Приоритет», 1998. 45 с.
2. Окрепилов О.В. Всеобщее управление качеством: учебник. СПб.: Изд-во СПб УЭФ, 1996. 194 с.
3. Мхитарян В. С. Статистические методы в управлении качеством продукции. М.: Финансы и статистика, 1982. 145 с.

Bibliography

1. Application of statistic methods in manufacturing (for enterprise and organization directors): practical guide. Second edition. Nizhny Novgorod: Prioritet, 1998. 45 p.
2. Okrepilov O.V. Total quality management. St. Petersburg: SPB UEF, 1996. 194 p.
3. Mkhitaran V.S. Statistic methods in production quality management. Moscow: Finance&Statistics, 1982. 145 p.

УДК 620.179.16

Разыграев А.Н.

РАЗРАБОТКА ОПТИМИЗИРОВАННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ ТАНДЕМ

Ультразвуковой контроль качества сварных соединений и наплавов оборудования и трубопроводов в атомной энергетике обычно выполняется по унифицированным методикам [1, 2]. Они достаточно успешно работают на большинстве типовых сварных

соединений и наплавов.

По мере старения эксплуатируемого оборудования АЭС в нем образуются и выявляются специфические дефекты. При этом особенно важно уметь выявлять такие дефекты в сварных соединениях и наплав-

ках со сложной конструкцией, часто с ограниченной доступностью к сварным соединениям. В этом случае говорят об ограниченной контроledоступности сварного соединения.

Для обеспечения полноты контроля таких сварных соединений и обнаружения в них специфических эксплуатационных дефектов в некоторых случаях удается применить специальные операции УЗК. Одной из таких операций является методика ультразвукового контроля методом тандем.

Выбор оптимальных параметров преобразователей при работе по методу тандем (или корневой тандем при совмещении излучающего и приемного преобразователей в одном корпусе) может быть выполнен оптимальным образом на основе анализа акустического тракта этого метода, схема которого приведена на **рис. 1**. Эта схема обеспечивает регистрацию максимального сигнала из различных вариантов распространения излученных и отраженных поперечных волн. Контролируемая среда ограничена параллельными поверхностями с расстоянием h между ними. Излучение и прием поперечных волн осуществляются наклонными преобразователями (излучающим И и приемным П) с одинаковыми параметрами.

Отражатель (дефект) – трещина типа «полоса» высотой $2l$, ортогональная поверхности, на которую она выходит, или типа «плоскодонное отверстие» радиусом b , плоскость которого перпендикулярна поверхности контроля, а центр удален от нижней по **рис. 1** поверхности на расстояние $d \geq b$. Размеры дефектов таковы, что отражение рассматривается в коротковолновом приближении [3, 5–7].

В работе [9] получены формулы акустического тракта для схемы контроля тандем (см. **рис. 1**), представляющие собой отношение амплитуд излученного P_0 и регистрируемого сигналов P' (нормированная амплитуда) [3, 5, 8]. Для дефекта типа «полоса» формула акустического тракта записывается в виде

$$\begin{aligned} |\delta P_{\text{пол}}| = \frac{P'}{P_0} = & |D_{l\tau}(\alpha_{\text{и}}) D_{\tau l}(\alpha_{\text{п}}) V_{\text{поп}}(\alpha_{\text{п}})| \times \\ & \times S'_{\text{пл}} \cos(\alpha_{\text{и}} - \alpha) F_{\text{н}}(\alpha_{\text{и}}) F_{\text{н}}(\alpha_{\text{п}}) \times \\ & \times \Phi_{\text{пол}}(\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{и}}) \frac{2l}{\lambda_{\tau}^{1,5} \sqrt{r_{\text{и}} r_{\text{п}} (r_{\text{и}} + r_{\text{п}})}} \times \\ & \times \exp \left[-\delta_{\tau} \left(\frac{h-l}{\cos \alpha_{\text{и}}} + \frac{h+l}{\cos \alpha_{\text{п}}} \right) \right] \exp[-2\delta_3 r_3]. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $\alpha_{\text{и}}$ и $\alpha_{\text{п}}$ – соответственно углы направлений распространения лучей излучаемой и принимаемой волн, отсчитываемые от нормали к поверхности контроля в точках выхода акустической оси преобразователей в основной плоскости, а $r_{\text{и}}$ и $r_{\text{п}}$ – расстояния по лучам до точки отражения на дефекте; β и α – углы

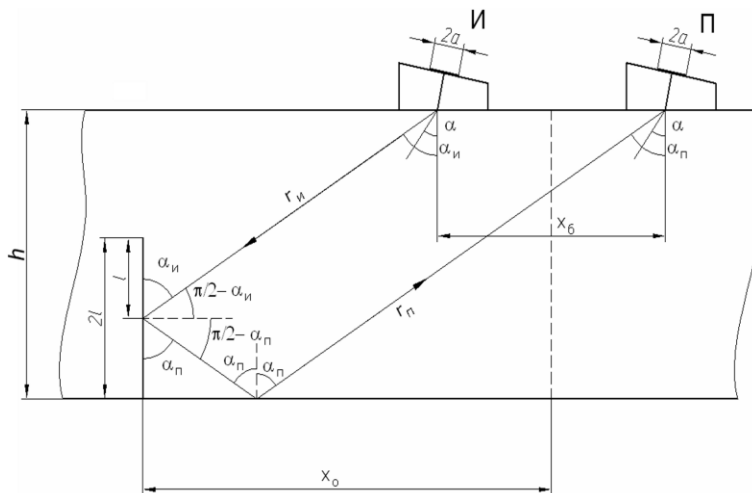


Рис. 1. Схема к расчету акустического тракта при ультразвуковом контроле методом тандем

падения и преломления (ввода поперечной волны) продольной волны в преобразователе (для акустической оси) [3, 8]; $D_{l\tau}(\alpha_{\text{и}}), D_{\tau l}(\alpha_{\text{п}})$ – коэффициенты трансформации продольной волны в поперечную (в среде) для излучаемой волны и поперечной в продольную (в призме преобразователя) для принимаемой [9]; $V_{\text{поп}}$ – коэффициент отражения поперечной волны от нижней (см. **рис. 1**) поверхности среды; $F_{\text{н}}$ – функция направленности преобразователя; $\Phi_{\text{пол}}(\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{и}})$ – индикатриса рассеяния дефекта (полосы); δ_{τ} – коэффициент затухания поперечной волны за счет поглощения и рассеяния; δ_3 – коэффициент затухания продольной волны в призме преобразователя; r_3 – путь волны (задержка) в призме; $S'_{\text{пл}} = S_{\text{пл}} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ –

приведенная площадь пьезопластины преобразователя с фактической площадью $S_{\text{пл}}$.

$$r_{\text{и}} = \frac{h-l}{\cos \alpha_{\text{и}}} + r_1, r_{\text{п}} = \frac{h+l}{\cos \alpha_{\text{п}}} + r_1, r_1 = r_3 \frac{c_{l\text{np}}}{c_{\tau}} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta},$$

где r_1 – приведенная задержка в призме (расстояние от центра мнимой пьезопластины до точки выхода акустической оси [8]), $c_{l\text{np}}$ – скорость продольной волны в призме, а c_{τ} – поперечной в контролируемой среде;

$$\begin{aligned} \cos \alpha_{\text{и}} &= \frac{h-l}{\sqrt{(h-l)^2 + (x_0 - x_6/2)^2}}, \\ \cos \alpha_{\text{п}} &= \frac{h+l}{\sqrt{(h+l)^2 + (x_0 + x_6/2)^2}}, \end{aligned}$$

где x_0 – расстояние от плоскости дефекта до центра системы преобразователей на поверхности контроля в основной плоскости, x_6 – расстояние между точками выхода акустической оси преобразователей (база).

$$F_n(\alpha_n) = \tilde{F}_n \left(ak_r \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \sin \left| \alpha_n - \alpha \right| \right) [3, 8, 9].$$

Для круглой пьезопластины (радиусом a)

$$\tilde{F}_n(x) = \left| \frac{2 J_1(x)}{x} \right|.$$

Индикатриса рассеяния полосы описывается выражением, полученным на основе результатов работ [10] – точного решения скалярной задачи о рассеянии акустической волны на трещине типа «полоса» с использованием принципа Бабинне [11] и учета уменьшения амплитуды поперечной волны при отражении от плоского дефекта [12] (по Б.А. Круглову):

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{пол}}(\alpha_n, \alpha_n) &= I \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_n \right) \times \\ &\times \sqrt{(1 - \cos \alpha_n)(1 + \cos \alpha_n)} \times \\ &\times \exp \left[i k_r l (\cos \alpha_n - \cos \alpha_n) \right] - \\ &- \sqrt{(1 + \cos \alpha_n)(1 - \cos \alpha_n)} \times \\ &\times \exp \left[-i k_r l (\cos \alpha_n - \cos \alpha_n) \right] / \\ &/ (|\cos \alpha_n - \cos \alpha_n| 2 k_r l); \\ I(\theta) &= \frac{\cos \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{\sin^2 \theta + \cos \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}, \\ n = \frac{c_r}{c_l} &\geq \sin \theta; \\ I(\theta) &= \frac{\cos \theta \sqrt{\sin^2 \theta - n^2}}{\sqrt{\sin^4 \theta + \cos^2 \theta (\sin^2 \theta - n^2)}}, \\ n &< \sin \theta, \end{aligned}$$

где c_l – скорость продольной волны в контролируемой среде.

Коэффициенты взаимной трансформации продольных и поперечных волн определяются по формулам, приведенным, например, в [13, 14]. Так как в наклонных преобразователях угол α превышает третий критический ($\arcsin(n) \approx 33,5^\circ$, $\sin \alpha > n$), то модуль коэффициента отражения поперечной волны от свободной поверхности при $\alpha_n \geq \alpha$ $|V_{\text{пол}}(\alpha_n)| = 1$ [9], однако фаза $V_{\text{пол}}(\alpha_n)$ меняется при изменении угла α_n .

Максимум регистрируемого сигнала достигается при $\alpha_n = \alpha_n = \alpha$. При этом в формуле (1) $F_n(\alpha_n) = 1$,

$$\Phi_{\text{пол}}(\alpha_n, \alpha_n) = I \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \sin \alpha,$$

$$x_0 = h \operatorname{tg} \alpha, \quad x_6 = 2l \operatorname{tg} \alpha, [9] \quad (2)$$

а расстояние точки отражения от нижней (донной) поверхности контролируемого изделия (высота фокуса) равно l .

Следует отметить, что формула (1) справедлива в дальней зоне преобразователей, когда $r_{n, n} > 2 - 2,5 N_{o, d}$, где $N_{o, d}$ – размер ближней зоны преобразователя в основной и дополнительной плоскостях. Кроме того, расстояния по лучам до точки отражения $r_{n, n}$ должны, по меньшей мере, в 4–5 раз превышать размер приведенной задержки в призме r_1 [3, 8].

Для отражателя типа «плоскодонное отверстие», плоскость которого перпендикулярна поверхности контроля:

$$\begin{aligned} r_n &= \frac{h-d}{\cos \alpha_n} + r_1; \quad r_n = \frac{h+d}{\cos \alpha_n} + r_1; \\ \cos \alpha_n &= \frac{h-d}{\sqrt{(h-d)^2 + (x_0 - x_6/2)^2}}; \\ \cos \alpha_n &= \frac{h+d}{\sqrt{(h+d)^2 + (x_0 + x_6/2)^2}}; \\ |\delta P_{\text{пл.от}}| &= |D_{lr}(\alpha_n) D_{rl}(\alpha_n) V_{\text{пол}}(\alpha_n)| \times \\ &\times S'_{\text{пл}} \cos(\alpha_n - \alpha) F_n(\alpha_n) F_n(\alpha_n) \times \\ &\times \Phi_{\text{пл}}(\alpha_n, \alpha_n) \frac{\pi b^2}{\lambda_r^2 r_n r_n} \times \\ &\times \exp \left[-\delta_r \left(\frac{h-d}{\cos \alpha_n} + \frac{h+d}{\cos \alpha_n} \right) \right] \exp[-2\delta_3 r_3]. \end{aligned} \quad (3)$$

Функция, характеризующая индикатрису рассеяния плоскодонного отверстия $\Phi_{\text{пл}}$, приведена в [9].

Выражение оптимального базового расстояния определяется по формуле (2) с заменой $l \rightarrow d$.

Расчеты по формулам (1) и (3) позволяют обосновать оптимальные параметры преобразователей для эффективной работы методом тандем в среде из стали – рабочую частоту f_p , угол ввода α , оптимальное базовое расстояние x_6 , обуславливающие наибольшую чувствительность метода при его практической реализации. В ходе расчетов при выборе f_p (из стандартных значений 1,25, 1,8, 2,5 МГц) предполагалось, что пьезопластины преобразователей – типовые, их радиусы равны $a=12$ мм для $f_p=1,25$ МГц, $a=9$ мм для $f_p=1,8$ МГц и $a=6$ мм для $f_p=2,5$ МГц. Указанные значения обеспечивают примерное равенство произведения $a f_p$ и соответственно ширины диаграмм направленности. Остальные параметры см. в [9].

В качестве примера расчета на рис. 2 приведена зависимость нормированной амплитуды принимаемого сигнала $|\delta P_{\text{пол}}|$ для дефекта типа «полоса» от норми-

рованного расстояния до центра системы преобразователей для различных углов ввода α . Расчет проведен для рабочей частоты $f_p=1,8$ МГц, размера трещины $2l=20$ мм и базы $x_6=20$ мм. Положение максимумов сигналов на рис. 2 практически соответствует значениям, определяемым соотношением $x_0/h = \operatorname{tg} \alpha$ (см. ф-лу (2)). Из рис. 2 видно, что максимум сигнала $|\delta P_{\text{пол}}|$ для преобразователя с углом ввода 45° всего на 10% меньше, чем для угла $\alpha=40^\circ$, что обусловлено более длинным путем, проходимым волной в изделии. С уменьшением угла ввода возрастает расстояние $2a \cos \beta < x_6$, что ухудшает возможности реализации необходимого значения x_6 в конструкции преобразователя (раздельно-совмещенного).

Существенным преимуществом использования угла $\alpha=45^\circ$ является то, что для такого угла фаза отражения волны от свободной поверхности равна 0, а явление незеркального отражения, заключающееся в смещении отраженных лучей вдоль поверхности, отсутствует [3].

В ходе расчета сигналов для преобразователей с различными рабочими частотами установлено, что максимум сигнала для преобразователя с частотой $f_p=1,8$ МГц примерно на 20% меньше, чем для преобразователя с $f_p=1,25$ МГц и на 75% больше, чем в случае $f_p=2,5$ МГц. Размер ближней зоны N_d для преобразователя с $f_p=1,25$ МГц составляет ≈ 55 мм, поэтому условие применимости формул акустических трактов формально не выполняется, и амплитуда сигнала на этой частоте несколько меньше расчетного значения по формуле (1). Результаты расчетов позволяют обосновать целесообразность использования рабочей частоты преобразователей – $f_p=1,8$ МГц, являющейся оптимальной при решении рассматриваемой задачи контроля.

Исследование влияния изменения базового расстояния (нормированного на оптимальное значение $2l$) на

зависимость нормированной амплитуды принимаемого сигнала $|\delta P_{\text{пол}}|$ для дефекта типа «полоса» от координаты x_0/h положения центра системы преобразователей показало, что при отклонении базового расстояния от оптимального наблюдается уменьшение амплитуды сигнала в максимуме, а также некоторое смещение положения максимума в сторону меньших значений x_0/h при уменьшении параметра $x_6/(2l)$ и больших – при увеличении. При этом диапазон смещения системы преобразователей, для которого амплитуда сигнала уменьшается в 2 раза (на 6 дБ) при $\alpha=45^\circ$ (равен ширине фокусного пятна), $\approx \pm 0,11 x_0/h$ или $\pm 7,7$ мм (для $h=70$ мм), т.е. ширина фокусного пятна составляет $\approx 15,4$ мм.

Для системы преобразователей при УЗК по схеме тандем по формуле (3) могут быть построены нормированные зависимости $|\delta P_{\text{пл.от}}|/|\delta P_{\text{пл.от}}|_{\text{макс}}$ от расстояния d до дна изделия для различных значений радиуса плоскостного отверстия, рабочей частоты и т.д. – аналоги АРД-диаграмм для прямых и наклонных преобразователей [3, 8]. Эти зависимости по аналогии можно назвать АРД-диаграммами для преобразователей при УЗК по схеме тандем. Такие диаграммы могут использоваться при настройке чувствительности и оценке эквивалентных размеров дефектов для указанной схемы контроля.

Комплекс оптимальных параметров для эффективного УЗК методом тандем был реализован в конструкции преобразователя ПЦП-45-КТ (преобразователь ЦНИИТМАШ, угол ввода 45° , «корневой тандем»), для которого была разработана специальная технология изготовления и сборки [4]. Рабочая частота этого преобразователя $f_p=1,8$ МГц, базовое расстояние – $x_6 \approx 20$ мм, ширина диаграммы направленности

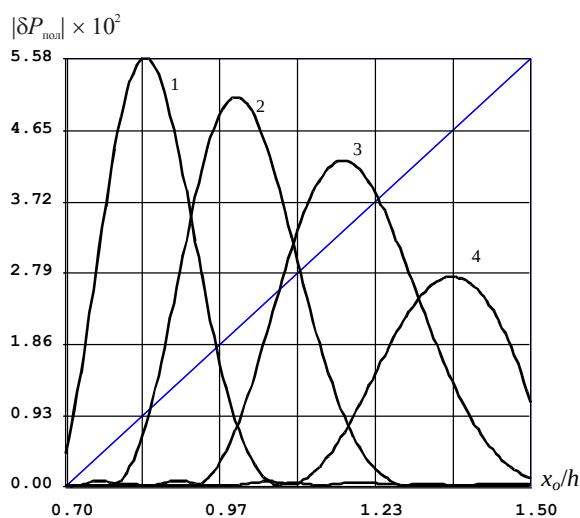


Рис. 2. Зависимость нормированной амплитуды принимаемого сигнала для дефекта типа «полоса» от нормированного расстояния до центра системы преобразователей для различных углов ввода: 1 – $\alpha=40^\circ$; 2 – 45° ; 3 – 50° ; 4 – 55°

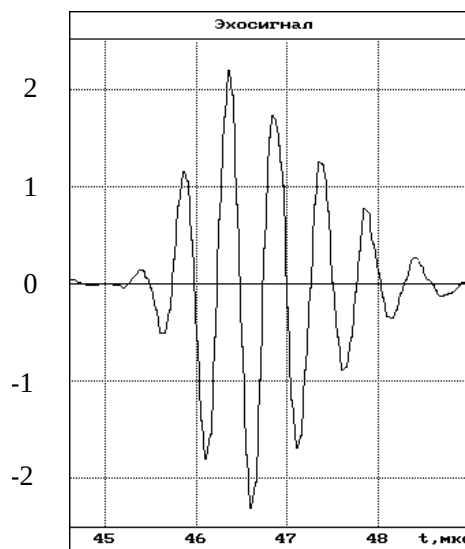


Рис. 3. Экспериментальный импульс сигнала от отверстия $\varnothing 6$ в образце СО-2 для преобразователя типа ПЦП-45-КТ (№ 15) в эхоимпульсном режиме

излучающего и приёмного элементов на уровне 6 дБ от максимума $\approx 8^\circ$, высота фокуса (расстояние до точки отражения при максимуме сигнала) над донной поверхностью преобразователя «корневой тандем» ≈ 10 мм, ширина фокусного пятна на уровне 6 дБ от максимума ≈ 14 мм.

Экспериментальные исследования характеристик изготовленных преобразователей производились на стандартных образцах СО-3, СО-2 и специальных.

На **рис. 3** приведен (в условных единицах) импульс сигнала от отверстия $\varnothing 6$ в образце СО-2 (с

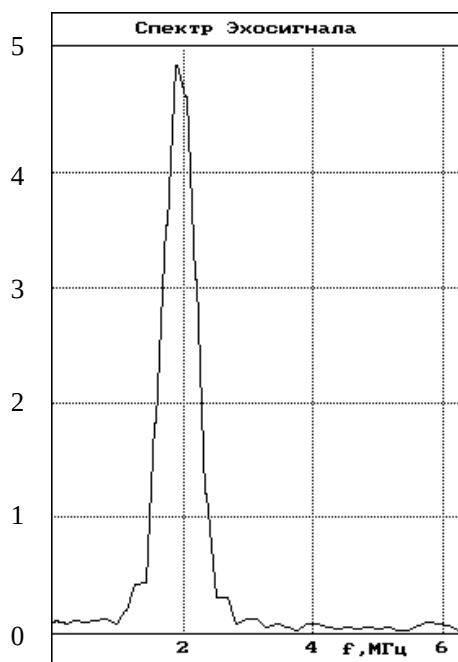


Рис. 4. Экспериментальный частотный спектр сигнала от отверстия $\varnothing 6$ в образце СО-2 для преобразователя типа ПЦП-45-КТ (№ 15) в эхоимпульсном режиме

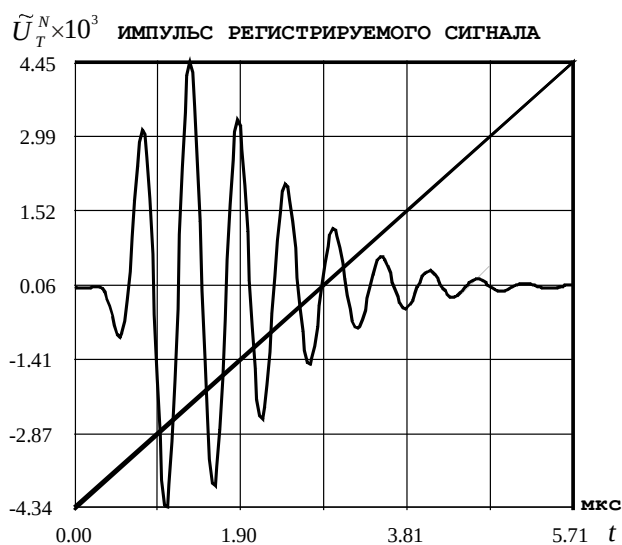


Рис. 5. Теоретический импульс сигнала от отверстия $\varnothing 6$ в образце СО-2 для преобразователя типа ПЦП-45-КТ в эхоимпульсном режиме

экрана компьютера системы «АВГУР») для преобразователя типа ПЦП-45-КТ (№ 15) в эхоимпульсном режиме (для излучающего преобразователя), полученный с глубины 44 мм, а на **рис. 4** – спектр этого сигнала (также в условных единицах).

По программе «ИМПУЛЬС +» [15] были проведены расчеты формы и спектра импульса аналогичного сигнала для модели наклонного преобразователя с пьезопластиной, выполненной из ЦТС-19, радиусом 9 мм и толщиной 1,0 мм, демпфером с оценочным характеристическим импедансом 7×10^6 кг/(м²·с), углом ввода 45° и путем в призме 11 мм.

Теоретический импульс донного сигнала $\tilde{U}_T^N$ (нормированный в относительных единицах в обозначениях работы [16]) для расчетной модели приведен на **рис. 5**, а соответствующий спектр $|\tilde{U}_T^N|$ (в относительных единицах в обозначениях работы [16]) – на **рис. 6**. В целом, теоретические импульс и спектр имеют вполне удовлетворительное количественное совпадение с экспериментальными, что подтверждает

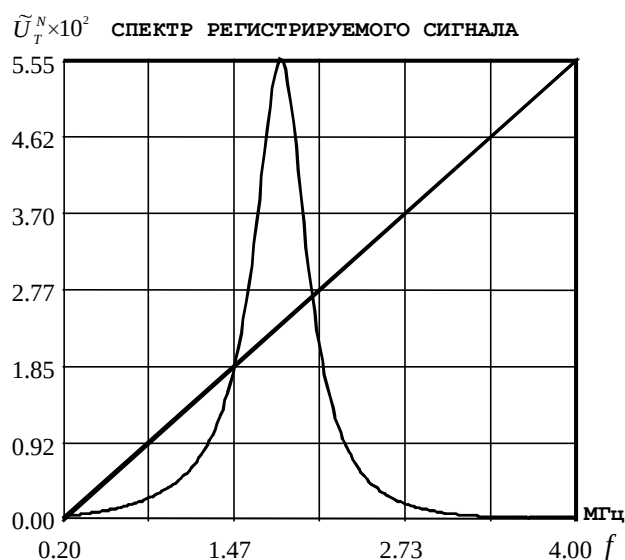


Рис. 6. Теоретический частотный спектр сигнала от отверстия Ø6 в образце СО-2 для преобразователя типа ПЦП-45-КТ в эхоимпульсном режиме

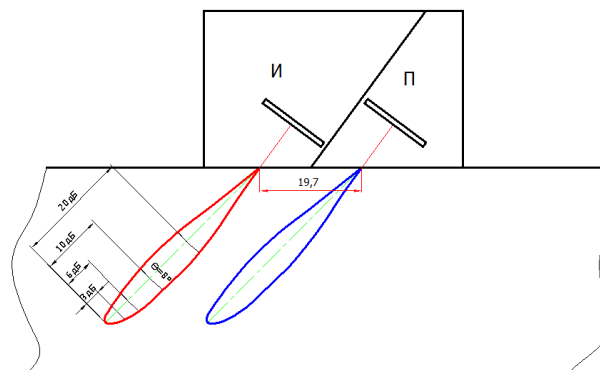


Рис. 7. Диаграммы направленности преобразователя «корневой тандем» ПЦП-45-КТ в эхоимпульсном режиме

реализацию в разработанной конструкции преобразователя ожидаемых характеристик.

На рис. 7 приведены диаграммы направленности преобразователя «корневой тандем» ПЦП-45-КТ в эхоимпульсном режиме (для излучающего и приемного искателей), построенные по экспериментальным данным, а также их характеристики (показаны для излучающего искателя, поскольку для приемного они весьма близки).

Сравнение расчетных и экспериментальных диаграмм направленности преобразователя ПЦП-45-КТ (в эхоимпульсном режиме) представлено на рис. 8, из которого видно, что экспериментальная и расчетная диаграммы направленности совпадают не только качественно, но и удовлетворительно количественно.

В целом выбранная расчетная модель обеспечивает адекватное описание акустических характеристик физической модели преобразователя для работы по схеме тандем.

На рис. 9 приведены экспериментальная и теоретическая (рассчитанная в [9]) АРД-диаграммы для

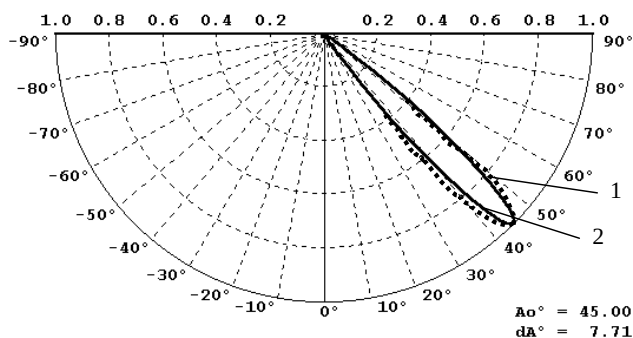


Рис. 8. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) диаграммы направленности преобразователя ПЦП-45-КТ (в эхоимпульсном режиме)

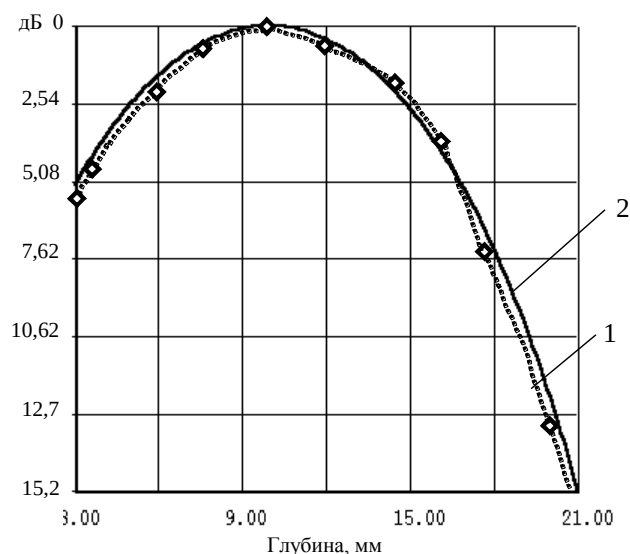


Рис. 9. Экспериментальная и теоретическая АРД-диаграммы для контроля методом «корневой тандем»: 1 – эксперимент; 2 – теория

УЗК методом «корневой тандем». Из рис. 9 видно, что положение центра плоскодонного отражателя, отвечающее максимальному сигналу (высота фокуса над донной поверхностью), равно $d \approx 10$ мм, а размер области перемещения от значения 0 дБ в пределах 6 дБ (ширина фокусного пятна) ≈ 14 мм, что хорошо согласуется со значением, приведёнными выше (15,4 мм).

Таким образом, теоретически обоснован и экспериментально подтвержден выбор комплекса параметров преобразователей типа ПЦП-45-КТ, реализующих предъявляемые к ним требования.

Список литературы

1. ПНАЭ Г-7-014-89. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЗУ. Ультразвуковой контроль. Контроль основных материалов (полуфабрикатов). М.: ЦНИИатоминформ, 1990. 42 с.
2. ПНАЭ Г-7-030-91. Унифицированные методики неразрушающего контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Контроль сварных соединений и наплавки. М.: ЦНИИатоминформ, 1992. 157 с.
3. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль. Т. 3: Ультразвуковой контроль: справочник. М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
4. Р-029.000ТУ. Технические условия на преобразователь специализированный ультразвуковой «корневой тандем» ПЦП-45-КТ. М.: ЦНИИТМАШ, 2005. 4 с.
5. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
6. Данилов В.Н. Отражение продольных упругих волн, возбуждаемых дисковым преобразователем в полупространстве, от неоднородности в виде эллиптического цилиндра // Дефектоскопия. 1985. № 4. С. 16–22.
7. Данилов В.Н. Отражение продольных и поперечных упругих волн от трещины конечных размеров // Дефектоскопия. 1985. № 9. С. 12–18.
8. Ермолов И.Н., Вопилкин А.Х., Бадалян В.Г. Расчеты в ультразвуковой дефектоскопии (краткий справочник). М.: НПЦ НК «ЭХО+», 2000. 109 с.
9. Данилов В.Н., Разыграев А.Н. О выборе параметров преобразователей при ультразвуковом контроле сварных соединений методом тандем // Дефектоскопия. 2008. № 4. С. 19–30.
10. Акустический тракт прямого преобразователя для модели трещины, выходящей на поверхность / Басацкая Л.В., Вопилкин А.Х., Воронков В.А., Данилов В.Н., Ермолов И.Н. // Дефектоскопия. 1987. № 10. С. 45–52.
11. Хенл Х., Мауэ А., Вестпфаль К. Теория дифракции. М.: Мир, 1964. 426 с.
12. Круглов Б.А. Об угловых характеристиках рассеяния акустически мягким диском в твердом теле плоских монохроматических продольной и поперечных SV- и SH-волн // Вопросы материаловедения. 2001. № 4. С. 66–77.
13. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. 344 с.
14. Данилов В.Н. Расчет акустического тракта на SV-волнах для модели дефекта типа полубесконечной трещины // Дефектоскопия. 1992. № 7. С. 7–14.
15. Данилов В.Н. Программа компьютерного моделирования работы электроакустических трактов дефектоскопов «ИМ-ПУЛЬС+» // Дефектоскопия. 2006. № 3. С. 37–43.
16. Данилов В.Н., Изофатова Н.Ю., Воронков В.А. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов исследования

ния работы прямых совмещенных преобразователей // Дефектоскопия. 1997. № 6. С. 39–49.

Bibliography

1. PNAE G-7-014-89. Unified methods of nondestructive examination of the main materials (semi-finished items), weld joints of equipment and pipelines. Ultrasonic examination. Examination of the main materials (semi-finished items). M.: CNIIatominform, 1990. 42 p.
2. PNAE G-7-030-91. Unified methods of nondestructive examination of the main materials (semi-finished items), weld joints of equipment and pipelines of nuclear power plants. Ultrasonic examination. Examination of weld joints and facing. M.: CNIIatominform, 1992. 157 p.
3. Ermolov I.N., Lange Y.V. Nondestructive examination. Vol. 3: Ultrasonic examination: reference book. M.: Machine building, 2004. 864 p.
4. R-029.000TU. Technical requirements to the special-purpose ultrasonic transducer «root tandem» PTSP-45-KT. M.: CNIITMASH, 2005. 4 p.
5. Ermolov I.N. Theory and practice of ultrasonic examination. M.: Machine building, 1981. 240 p.
6. Danilov V.N. Reflection of longitudinal elastic waves produced by a disk transducer in the half-space from elliptic cylinder nonuniformity // Flaw detection. 1985. № 4. P. 16–22.
7. Danilov V.N. Reflection of longitudinal and transverse elastic waves from a crack of a finite size // Flaw detection. 1985. № 9. P. 12–18.
8. Ermolov I.N., Vopilkin A.H., Badalyan V.G. Calculations in ultrasonic flaw detection (brief reference book). M.: NPC NK «ECHO+», 2000. 109 p.
9. Danilov V.N., Razygraev A.N. The choice of transducer characteristics for ultrasonic examination of weld joints using tandem method // Flaw detection. 2008. № 4. P. 19–30.
10. Acoustic path of a direct transducer for a surface reaching crack model / Basatskaya L.V., Vopilkin A.H., Voronkov V.A., Danilov V.N., Ermolov I.N. // Flaw detection. 1987. № 10. P. 45–52.
11. Henl H., Mayer A., Westphal K. Diffraction theory. M.: World, 1964. 426 p.
12. Kruglov B.A. Angular characteristics of plane monochromatic longitudinal and transverse SV- and SH-waves diffusion with acoustic soft disk in solids // Issues of material science. 2001. № 4. P. 66–77.
13. Brehovskikh L.M. Waves in layered media. M.: Science, 1973. 344 p.
14. Danilov V.N. Calculation of acoustic path on SV-waves for defect model of semiinfinite crack type // Flaw detection. 1992. № 7. P. 7–14.
15. Danilov V.N. Computer simulation of electroacoustic paths operation of flaw detectors «IMPULSE+» // Flaw detection. 2006. № 3. P. 37–43.
16. Danilov V.N., Izofatova N.Y., Voronkov V.A. Comparison of theoretical and experimental results of direct combined transducers operation // Flaw detection. 1997. № 6. P. 39–49.

УДК 539.4

Казанцев А.Г., Караев А.Б., Саньков Н.И., Сугирбеков Б.А.

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ТВЕРДОСТИ ПЕРЕНОСНЫМИ ТВЕРДОМЕРАМИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Используемый в ряде динамических твердомеров метод определения твердости основан на изменении скорости бояка после удара в зависимости от твердости металла испытываемого объекта. Непосредственно по данным измерений оценивается условная твердость материала, которая определяется отношением скоростей бояка до и после удара: $HL = 1000(V_1/V_0)$, где V_0 и V_1 – соответственно скорость бояка до и после удара. Перевод значений условной твердости в единицы Бринелля, Роквелла и др. осуществляется по данным предварительной тарировки твердомера на образцовых мерах твердости [1].

Указанный подход реализован, в частности, в твердомерах серии ТЭМП (рис. 1), разработанных в ЦНИИТМАШ. Твердомеры ТЭМП предназначены для экспрессного измерения твердости различных изделий (из стали, чугуна, цветных металлов, резины и др. материалов) в производственных и лабораторных условиях по шкалам Бринелля (HB), Роквелла (HRC), Виккерса (HV), Шора (HSD), а также определения предела прочности на растяжение по ГОСТ 22761-77. Твердомеры имеют встроенный процессор, позволяющий проводить первичную математическую обработку измерений, введение дополнительных шкал твердости и их калибровку по образцам с из-

вестной твердостью. Приборы ТЭМП снабжаются датчиками со стандартным и удлиненным (до 50 мм) ударниками для измерения твердости в труднодоступных местах, например в угловых сварных швах, зубьях шестерен, в пазах, на криволинейных и наклонных поверхностях и др. Обладают широким рабочим диапазоном температур: от –20 до +60°C. Требования по подготовке поверхности изделий для измерений аналогичны требованиям при измерении стационарными твердомерами ($R_a=2,5-5$ мкм). Время одного измерения составляет около 2-х с. Высокое качество и надежность приборов ТЭМП обеспечивается внедренной на предприятии системой менеджмента качества, соответствующей стандарту ISO 9001:2000.



Рис. 1. Внешний вид твердомера типа ТЭМП

Как известно, область корректного использования динамического метода измерения твердости имеет определенные ограничения. Они касаются жесткости детали, твердость которой измеряется, а также условий ее закрепления и массы, что обусловлено особенностями протекания динамических процессов при ударе. В связи с этим применительно к таким объектам, как тонкостенные сосуды давления, трубопроводы и т.п. использование данного метода измерения твердости нуждается в дополнительном расчетном и экспериментальном обосновании.

С этой целью проведено численное моделирование методом конечных элементов [2] процесса соударения бойка твердомера типа ТЭМП с поверхностью контролируемого изделия при различных вариациях указанных факторов.

При моделировании процесса удара бойка о металлическую оболочку варьировалась жесткость оболочки (толщина стенки и диаметр) и условия ее закрепления, упругопластические свойства материала оболочки, масса бойка и его жесткость. Расчеты выполнялись применительно к центральному удару цилиндрического бойка с шаровым наконечником об оболочку сферической формы, шар, цилиндрическую оболочку, пластину с различными условиями закрепления. Используемые уравнения состояния учитывали влияние скорости деформирования на упругопластические свойства материала ударяемого тела.

Для снижения трудоемкости основная часть расчетов выполнялась в осесимметричной постановке применительно к центральному удару цилиндрического бойка с шаровым наконечником об оболочку сферической формы. Также для сопоставления проведены расчеты процессов соударения бойка с поверхностью круглых пластин и цилиндрической оболочки. В последнем случае расчет выполнен в трехмерной постановке.

Материал бойка принимался идеально упругим, а

оболочки – упругопластическим, параметры упрочнения которого зависят от скорости деформирования. Расчет проводился с учетом геометрической нелинейности и больших деформаций.

Расчеты проводились для сферических оболочек с наружным диаметром 500, 250, 130 и 50 мм. Толщина стенки варьировалась от 1 до 25 мм. Рассмотрены также случай удара по плоской круглой пластине толщиной 10 мм и диаметром 50 мм.

Для описания упругопластических свойств материала использовалась теория течения с кинематическим упрочнением. Изменение предела текучести материала от скорости нагружения описывалась на основе модели Купера–Саймонда, в соответствии с которой связь между текущим значением предела текучести по диаграмме деформирования при статическом и динамическом нагружении определяется интенсивностью пластической деформации и ее скоростью. Указанная зависимость имеет вид

$$\sigma_i(\varepsilon_i^p, \dot{\varepsilon}_i^p) = \sigma_i(\varepsilon_i^p) \left[1 + (\dot{\varepsilon}_i^p / c)^{1/p} \right],$$

где $\sigma_i(\varepsilon_i^p, \dot{\varepsilon}_i^p)$ – кривая деформирования при динамическом нагружении; $\sigma_i(\varepsilon_i^p)$ – кривая деформирования при статическом нагружении; σ_i и ε_i^p – соответственно интенсивность напряжений и пластических деформаций, $\dot{\varepsilon}_i^p$ – скорость интенсивности пластических деформаций, c и p – константы материала.

Упругопластические свойства материала оболочек и других тел, взаимодействующих с бойком, описывались при статическом нагружении диаграммой деформирования $\sigma_i - \varepsilon_i$ в интенсивностях напряжений и деформаций с различными значениями предела текучести – 200, 450 и 1000 МПа и соответственно с различным уровнем твердости.

При моделировании поведения материала бойка использовалось несколько вариантов. В основных вариантах расчета боек рассматривался как жесткое тело. В этом случае все степени свободы узлов конечно элементной модели бойка объединяются и приводятся к его центру масс, что позволяет несколько уменьшить время расчета, а также повысить устойчивость расчетной схемы. Однако при этом не учитываются возникающие в бойке в момент удара упругие колебания. Упругие свойства материала бойка используются только для описания контактного взаимодействия. Ряд расчетов выполнен с учетом податливости бойка, которая варьировалась как изменением модуля упругости материала бойка, так и размерами его поперечного сечения. Упругие свойства материала бойка принимались такими же, как и оболочки за исключением шарового наконечника, для которого модуль упругости составлял $6,2 \cdot 10^5$ (материал наконечника – карбид вольфрама). Основные расчеты проведены для бойков массой 6,1 г при скорости в момент удара $V_0 = 2,85$ м/с.

На рис. 2 показано изменение во времени вертикального перемещения бойка (1) и контактируемых с ним во время удара точек на поверхности пластины

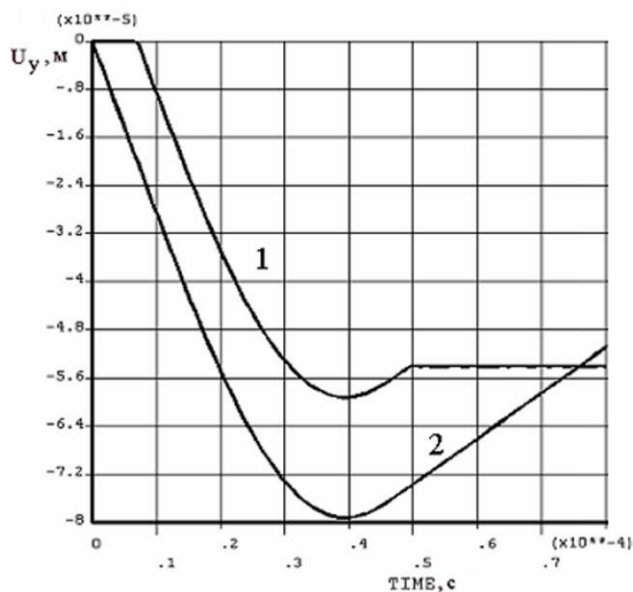


Рис. 2. Вертикальные перемещения бойка (1) и пластины (2) при ударе ($\sigma_T = 450$ МПа)

толщиной 10 мм (2). На **рис. 3–6** показаны поля перемещений, напряжений и пластических деформаций в пластине после удара бойка.

Как известно, на скорость отскока при ударе упругого и упругопластического тела оказывает влияние ряд факторов. В случае удара бойка об оболочку, если пренебречь тепловыми потерями, скорость отскока бойка зависит от соотношения массы бойка и вовлекаемой в движение части массы оболочки, величины начальной кинетической энергии бойка, упругой потенциальной и кинетической энергии оболочки после удара, а также работы пластических деформаций.

Выполненные расчеты показали, что скорость отскока бойка от поверхности контролируемого тела достаточно сложным образом зависит от упругопластических свойств материала данного тела, его жесткости и условий закрепления. На **рис. 7, 8** показан характер изменения условной твердости HL в зависимости от тол-

щины стенки оболочки s , ее радиуса и уровня механических свойств при начальной скорости бойка 2,85 м/с. В данных вариантах расчета было принято, что в нижней точке оболочки отсутствуют перемещения по вертикальной оси (ось Y). При расчете удара по пластинам было принято, что на их нижней поверхности вертикальные перемещения равны нулю. Такие условия приблизительно соответствуют случаю удара бойка по эталонным мерам твердости, притертым к массивному основанию. С уменьшением толщины стенки оболочки приблизительно до 10 мм происходит плавное снижение HL на 7–8% от уровня, соответствующего удару по пластине. Полученные результаты практически не зависят от радиуса оболочки.

В области толщин от $s=10$ мм и ниже характер кривых $HL-s$ для оболочек различных радиусов R меняется, причем для оболочки с относительно высокой жесткостью ($R=25$ мм) с уменьшением s величина HL резко возрастает, а для оболочки с низкой жесткостью

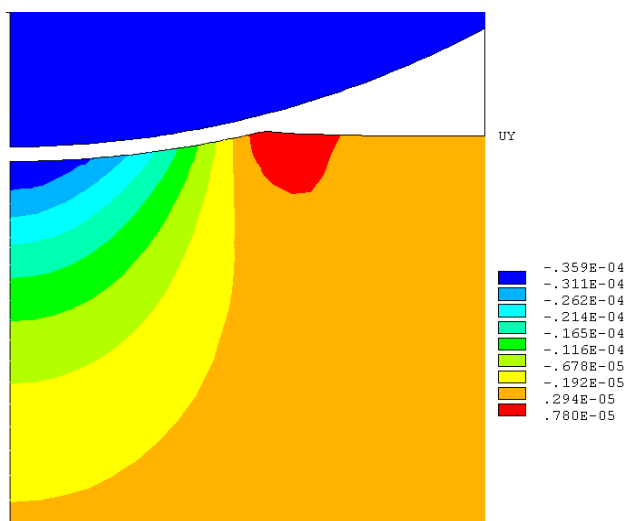


Рис. 3. Поле остаточных перемещений U_y (в метрах) в пластине после удара ($\sigma_t = 1000$ МПа)

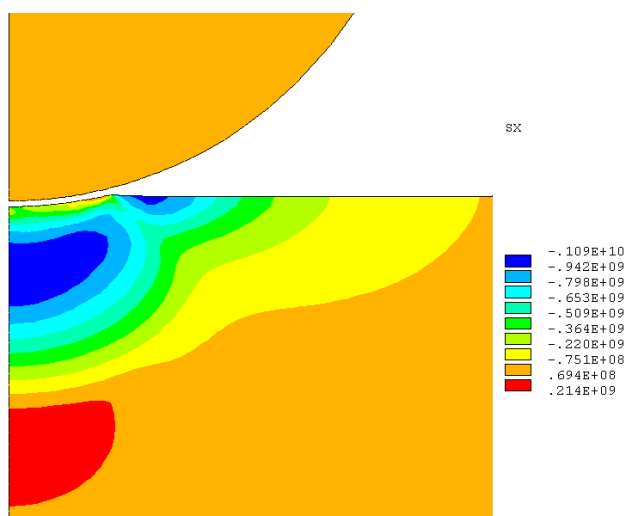


Рис. 4. Поле остаточных напряжений σ_x в пластине после удара ($\sigma_t = 1000$ МПа)

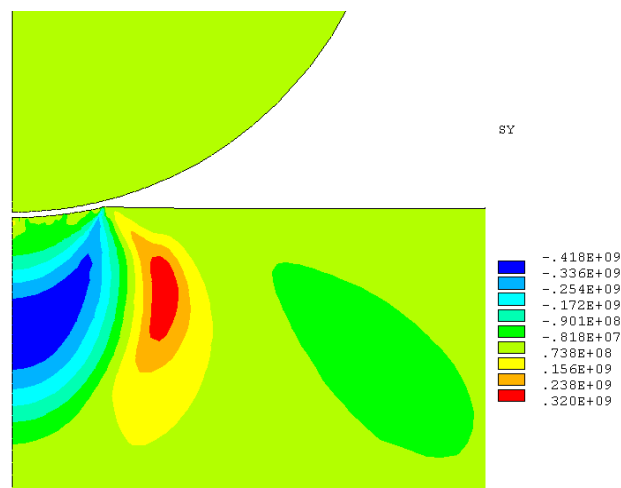


Рис. 5. Поле остаточных напряжений σ_y в пластине после удара ($\sigma_t = 1000$ МПа)

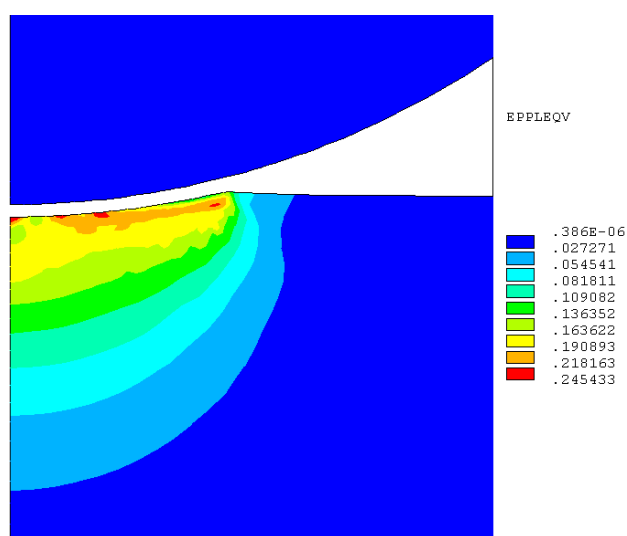


Рис. 6. Распределение остаточных пластических эквивалентных деформаций в пластине после отскока бойка ($\sigma_t = 1000$ МПа)

($R=250$ мм) сначала в области толщин до 5 мм значения HL уменьшаются, а при дальнейшем сокращении толщины стенки увеличиваются, однако при этом они остаются существенно ниже, чем для оболочек с высокой жесткостью. Подобные закономерности наблюдаются независимо от фактического уровня твердости материала, определяемой величиной σ_T .

При высокой жесткости оболочки (т.е. большой толщине стенки и малом радиусе) приобретаемая оболочкой кинетическая энергия незначительна и потеря скорости бойка после отскока, т.е. снижение HL, связано в основном с работой пластических деформаций. При идеальном упругом ударе бойка об оболочку большой толщины скорость отскока близка к начальной. Это следует из рис. 9, где приведены данные расчета HL для случая упругого удара бойка об оболочку радиуса $R=250$ и 25 мм с различной толщиной стенки. До значений $s=5-10$ мм изменение скорости отскока относительно невелико. При дальнейшем снижении толщины

до $t=1$ мм скорость отскока и HL снижаются, причем для оболочки с радиусом $R=25$ мм снижение составляет около 15%, а для $R=250$ мм почти в пять раз, что объясняется переходом в последнем случае большей части энергии бойка в потенциальную упругую и кинетическую энергию колебаний оболочки. При упругопластическом ударе пластические деформации при малых толщинах и малой жесткости оболочки вызывают дополнительное снижение скорости отскока и HL. Однако с уменьшением толщины уменьшается и контактная сила, и соответственно доля энергии пластических деформаций, т.е. удар в пределе, при достаточно малых толщинах приближается к упругому независимо от твердости металла оболочки. В связи с этим зависимости HL – s для оболочек малой толщины имеют минимум. При $s=1$ мм величины HL практически не зависят от пластических свойств материала и его твердости и для оболочек одного типоразмера близки к значениям, полученным при чисто упругом ударе (см. рис. 9).

Характер изменения перемещений во времени бойка и оболочки (в точке, соответствующей центру отпечатка) для некоторых вариантов расчета показан на рис. 10. Кривые (1) получены для бойка, (2) – для оболочки. Так как в начальном состоянии между бойком и оболочкой задавался небольшой зазор (около 0.01 мм), на кривой (2) имеется короткий горизонтальный участок $U_y=0$, когда оболочка неподвижна и движется только боек. При их соприкосновении начинается совместное движение, скорость которого сначала уменьшается до нуля, а затем начинает возрастать в обратном направлении. В некоторый момент времени происходит отделение бойка от оболочки и его свободное движение с постоянной скоростью (т.к. силой тяжести пренебре-

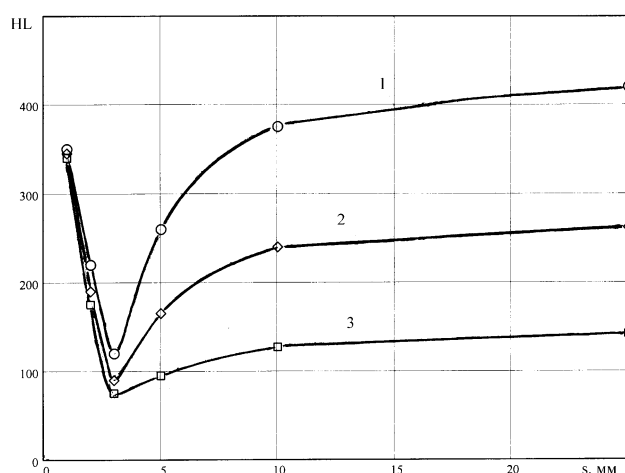


Рис. 7. Изменение условной твердости в зависимости от толщины оболочки радиусом 250 мм:
1 – $\sigma_T = 1000$ МПа; 2 – $\sigma_T = 450$ МПа; 3 – $\sigma_T = 200$ МПа

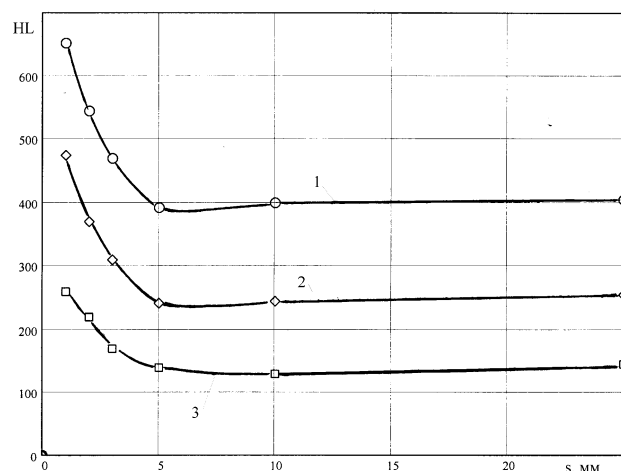


Рис. 8. Изменение условной твердости в зависимости от толщины оболочки радиусом 25 мм:
1 – $\sigma_T = 1000$ МПа; 2 – $\sigma_T = 450$ МПа; 3 – $\sigma_T = 200$ МПа

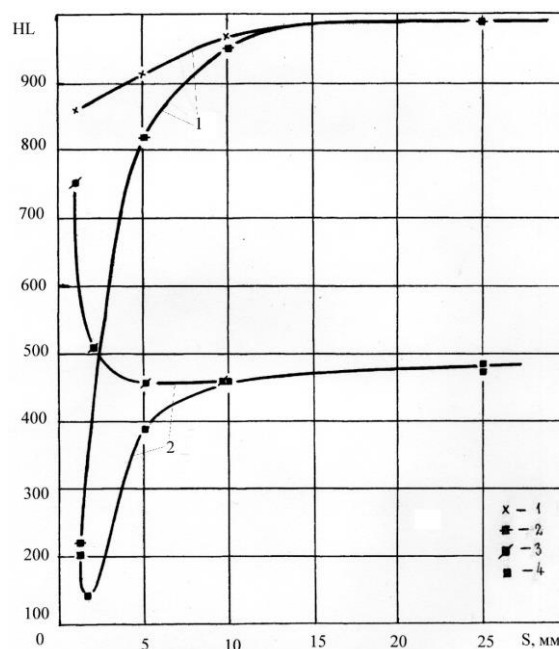


Рис. 9. Изменение условной твердости при упругом (кривые 1) и упругопластическом (кривые 2) ударе бойка ($m=1,55$ г) об оболочку радиусом $R=25$ мм (точки 1 и 3) и $R=250$ мм (точки 2 и 4) в зависимости от толщины стенки оболочки

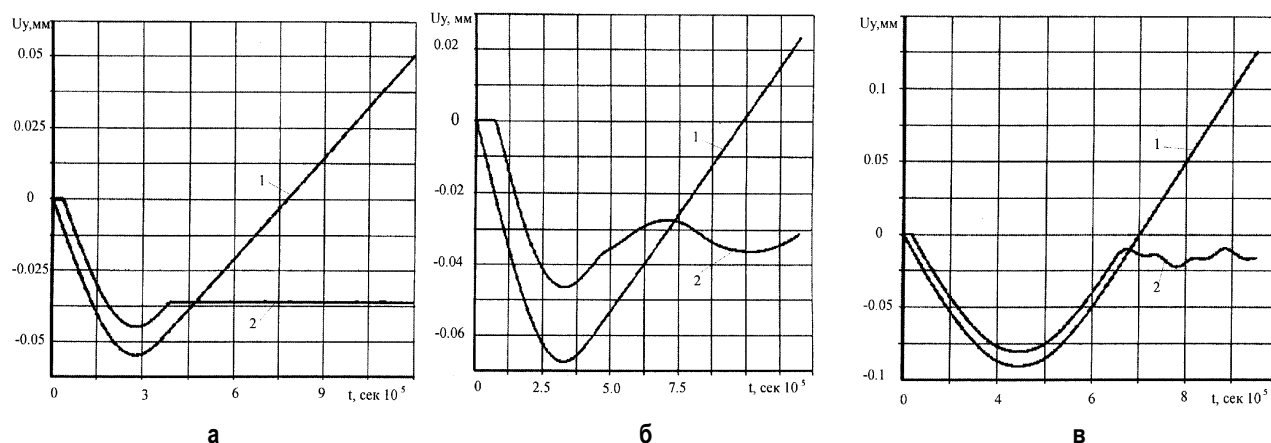


Рис. 10. Перемещения бойка (1) и оболочки (2) радиусом 65 мм ($\sigma_T = 1000$ МПа) при ударе: а – $s=10$ мм; б – $s=5$ мм; в – при $s=1$ мм – в случае закрепления оболочки по круговому контуру на расстоянии 40 мм от зоны удара

гали). В оболочке после достижения точки, соответствующей максимальному перемещению U_y , происходит частичное восстановление возникшего в результате упругопластической деформации отпечатка, связанное с упругой разгрузкой.

При малых толщинах в оболочке после удара возникают колебания, при этом с уменьшением толщины скорость отскока бойка и контактные усилия уменьшаются. На рис. 11, а–в для некоторых вариантов расчета показан характер изменения контактных усилий во времени. В случае $s = 1$ мм и $R = 250$ мм (рис. 11, б, $\sigma_T = 1000$ МПа) скорость отскока бойка падает настолько, что оболочка после удара успевает выгнуться в противоположную сторону и происходит второе, более слабое соударение оболочки и бойка при его отлете.

Из представленных выше результатов вытекает, что надежная информация о твердости материала

оболочки, регистрируемая измерительной системой твердомера по скорости отскока бойка, не может быть получена на оболочках с малой жесткостью при толщине стенки 1–2 мм, когда удар близок к упругому. В области большей толщины, как следует из рис. 7, 8, можно выделить два участка. Это участок толщины стенки в диапазоне приблизительно от 10 до 25 мм, на котором влияние толщины незначительно и практически не зависит от величины диаметра оболочки, и участок от 5 до 10 мм, где необходимо учитывать как толщину, так и диаметр оболочки.

Как известно, определенное влияние на величину твердости, измеряемую динамическим методом, оказывают условия закрепления оболочки. Для оценки данного фактора ряд расчетов выполнялся применительно к оболочкам различного диаметра с толщиной стенки 5 и 10 мм и с различным исходным уровнем твердости при варьировании расстояния l от зоны измерения твердости до места закрепления.

Последнее рассматривалось как симметричная двухсторонняя заделка. Полученные результаты представлены на рис. 12. Как следует из данного рисунка, наибольшее влияние условий закрепления проявляется на оболочках из материала с высокими значениями твердости. При $l > 85$ –100 мм это влияние практически отсутствует.

Отметим, что изменение условий закрепления отражается на частоте собственных колебаний оболочки и характере взаимодействия оболочки с бойком во время их контакта, особенно в случае оболочек малой толщины. При уменьшении расстояния от зоны измерения твердости до места закрепления возрастает частота собственных колебаний оболочки и возникают вибрации,

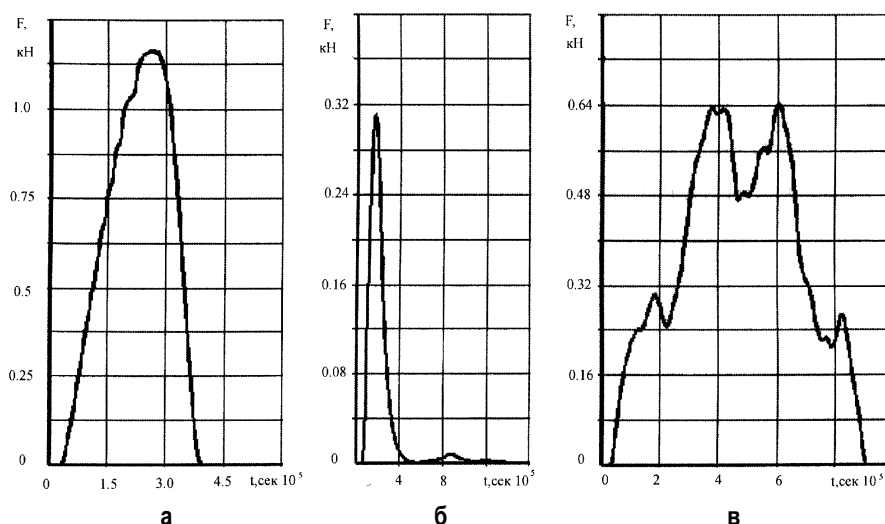


Рис. 11. Изменение контактного усилия во времени при ударе бойка: а – по оболочке радиусом $R=65$ мм с толщиной стенки 10 мм ($\sigma_T=1000$ МПа, $m=6,1$ г); б – оболочке радиусом $R=250$ мм толщиной $s=1$ мм ($\sigma_T=1000$ МПа, $m=1,55$ г); в – оболочке радиусом $R=0,065$ м с толщиной стенки 1 мм ($\sigma_T=1000$ МПа, $m=6,1$ г), закрепленной по круговому контуру на расстоянии 40 мм от зоны удара

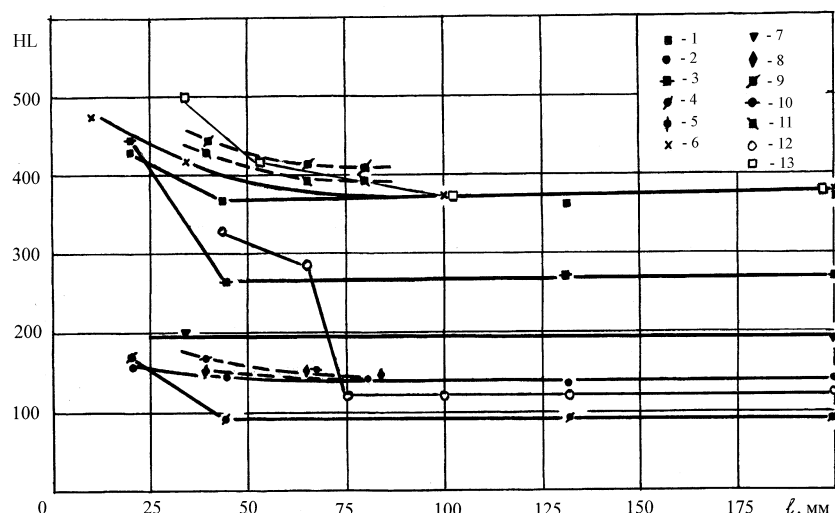


Рис. 12. Влияние условий закрепления на величину условной твердости:

- 1 – $R=250$ мм, $s=10$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа; 2 – $R=250$ мм, $s=10$ мм, $\sigma_T=200$ МПа;
 3 – $R=250$ мм, $s=5$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа; 4 – $R=250$ мм, $s=5$ мм, $\sigma_T=200$ МПа;
 5 – $R=65$ мм, $s=10$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа; 6 – $R=65$ мм, $s=5$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа;
 7 – $R=65$ мм, $s=5$ мм, $\sigma_T=200$ МПа; 8 – $R=25$ мм, $s=10$ мм, $\sigma_T=200$ МПа;
 9 – $R=25$ мм, $s=10$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа; 10 – $R=25$ мм, $s=5$ мм, $\sigma_T=200$ МПа;
 11 – $R=250$ мм, $s=5$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа; 12 – $R=250$ мм, $s=3$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа;
 13 – $R=65$ мм, $s=3$ мм, $\sigma_T=1000$ МПа

проявляющиеся в прерывистом изменении контактного усилия во времени (рис. 11, в).

Выполненная экспериментальная проверка методики определения твердости тонкостенных труб показала удовлетворительное соответствие результатов расчета условной твердости HL с данными измерений на трубе из стали 25 с наружным диаметром 133 мм, толщина стенки s которой изменялась (за счет обточки) от 23 до 1 мм (рис. 13). На основе выполненных расчетов, в диапазоне толщин от 3 мм и выше, установлены поправки, позволяющие корректировать показания твердомера в зависимости от геометрических параметров сферических и цилиндрических оболочек, а также трубопроводов.

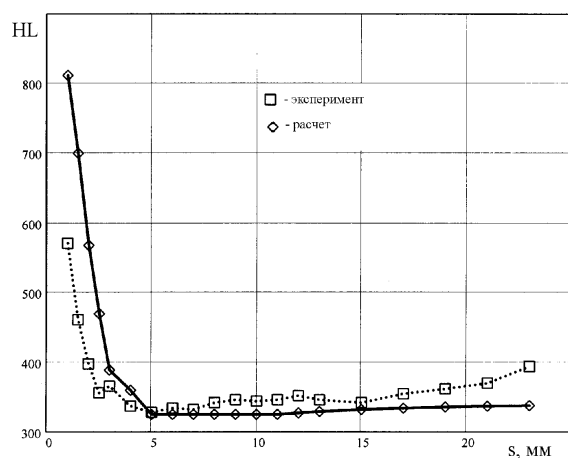


Рис. 13. Зависимость условной твердости (показаний твердомера) от толщины стенки трубы

В связи с тем, что объем пластически деформируемого металла при ударе бойком переносного твердомера (в силу относительно небольшой энергии удара) оказывается меньше, чем при контроле твердости стационарными твердомерами, данный метод проявляет чувствительность к состоянию тонких поверхностных слоев металла (например, наличию наклепа или покрытий).

Для исследования влияния на условную твердость неоднородности механических свойств материала по толщине использовалась конечно-элементная модель, соответствующая случаю удара бойка по пластине толщиной 10 мм (рис. 14). Однако сетка на пластине была построена таким образом, что элементы распределялись равными слоями по толщине, что позволяло изменять свойства материала по толщине с заданным шагом. Масса бойка соответствовала 6,1 г, начальная скорость 2,85 м/с. Результаты расчета приведены на рис. 15. Из полученных данных видно, что на величину измеряемой твердости оказывают влияние

поверхностные слои металла толщиной до 1 мм. При толщине поверхностного слоя более 1 мм свойства сердцевины не оказывают влияние на определяемое при измерении значение твердости (т.к. они деформируются упруго). При необходимости, в зависимости от поставленной задачи, глубина слоя, в котором измеряется твердость, может варьироваться за счет изменения массы и скорости бойка.

В ряде случаев измерения твердости металла изделия необходимо выполнять в эксплуатационных условиях при действии рабочих напряжений. Влияние указанного фактора было исследовано экспериментально по данным измерения твердости на плоских образцах сечением 80x15 мм (сталь 38ХНЗМФА, $\sigma_{02}=750$ МПа) при одноосном растяжении и сжатии, а также расчетным путем.

Максимальный уровень напряжений в образцах достигал величины половины предела текучести ма-

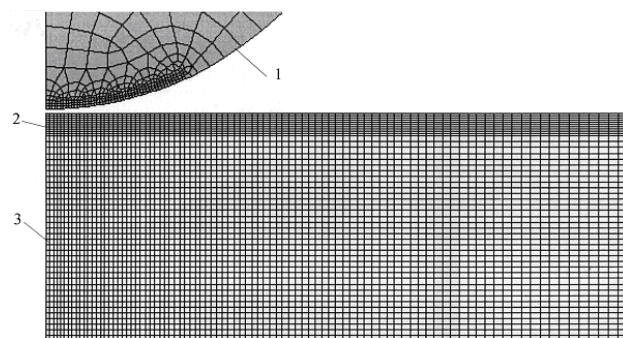


Рис. 14. Конечноэлементная модель удара 1 (показана нижняя часть) и ударяемого тела с различными механическими свойствами по толщине (в слоях 2–3)

териала. Результаты эксперимента представлены на рис. 16 в виде зависимости отношения измеренного под напряжением значения условной твердости к исходной величине твердости. Получено, что зависимость HL от величины напряжения имеет линейный характер, причем растягивающие напряжения приводят к уменьшению HL, а сжимающие к увеличению. При одинаковом уровне растягивающих и сжимающих напряжений изменение HL по абсолютной величине приблизительно одинаково и в исследованном диапазоне напряжений не превышает 5–7%, т.е. относительно невелико.

Расчетная оценка влияния рабочих напряжений выполнялась применительно к круглой пластине толщиной 10 мм, нагруженной по боковой поверхности всесторонне действующими напряжениями растяжения или сжатия. Задача решалась в осесимметричной постановке в два этапа – сначала проводился статический расчет (использовался метод динамической релаксации), а затем расчет удара бойка по нагруженной пластине. Получено, что, как и в одноосном случае, напряжения растяжения вызывают уменьшение измеренных значений твердости, а напряжения сжатия их увеличение, причем этот эффект проявляется в большей степени, чем при одноосном нагружении. При ударе по нагруженной пластине (по сравнению с ненагруженной) изменяется диаметр отпечатка и размеры зоны пластических деформаций – при растяжении они увеличиваются, а при сжатии уменьшаются (соответствующим образом изменяются и потери кинетической энергии бойка за счет работы пластических деформаций). Изменяется также величина наплыва на краях отпечатка – при растяжении наплыв уменьшается или вообще может отсутствовать, а в случае сжимающих напряжений увеличивается.

Заключение

Из анализа полученных расчетных данных вытекает, что определение твердости материала оболочки по скорости отскока бойка на оболочках радиусом $R > 125$ мм при толщинах стенки $s = 1–3$ мм не представляется возможным. Для оболочек меньшего радиуса измерения условной твердости в данном диапазоне толщины сопряжены со значительными погрешностями. В области $s = 3–10$ мм в общем случае необходимо учитывать и радиус оболочки, и ее толщину, причем зависимость скорости отскока бойка и HL от данных параметров носит немонокотонный характер.

Для оболочек толщиной от 10 мм и выше результаты измерения твердости динамическим методом могут использоваться без корректировки.

Расстояние от зоны замера твердости до места закрепления оболочки должно составлять не менее 100 мм.

Величина измеряемой твердости определяется свойствами металла поверхностного слоя глубиной до 1 мм. Свойства металла под поверхностью на расстоянии более 1 мм не оказывают влияния на результаты измерения.

Растягивающие напряжения, присутствующие в контролируемой детали приводят к уменьшению значений

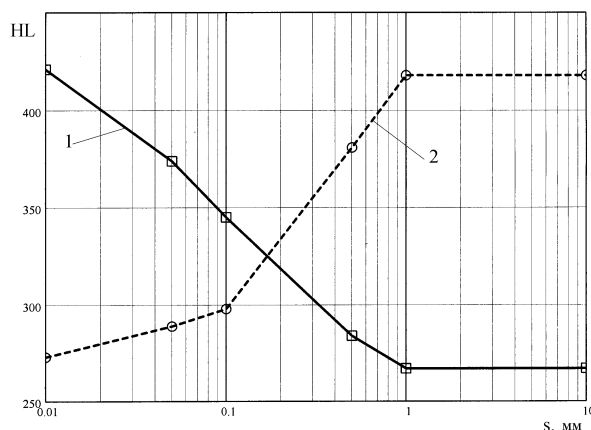


Рис. 15. Изменение условной твердости в зависимости от толщины поверхностного слоя с более низкой (1) и более высокой (2) твердостью, чем основной металл

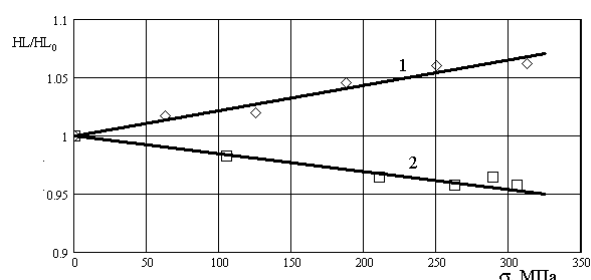


Рис. 16. Изменение относительной условной твердости от величины напряжения в образце при одноосном сжатии (1) и растяжении (2)

твердости, а напряжения сжатия к увеличению.

В обоих случаях изменение твердости не превышает 7–8% при величине напряжений до половины предела текучести материала.

Список литературы

1. Контроль твердости металла тонкостенных сосудов и трубопроводов переносными твердомерами ударного действия / Караев А.Б., Казанцев А.Г., Сугирбеков Б.А., Саньков Н.И., Шуваев В.А. // Неразрушающий контроль и диагностика в промышленности. М., 2004.
2. Бакиров Н.Б., Зайцев М.А., Фролов И.В. Математическое моделирование процесса вдавливания сферы в упругопластическое пространство // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2001. Т. 67. № 1.

Bibliography

1. Examination of metal hardness of thin-walled vessels and pipelines using portable impact hardness testing machine / Karaev A.B., Kazantsev A.G., Sugirbekov B.A., Sankov N.I., Shuvaev V.A. // Nondestructive examination and diagnostics in industry. M., 2004.
2. Bakirov N.B., Zaitsev M.A., Frolov I.V. Mathematical modelling of the process of sphere impression into elastic plastic material // Plant laboratory. Examination of materials. 2001. Vol. 67. № 1.

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1.004.12

Панова Е.А., Григорьева М.В., Малафеев А.В., Буланова О.В., Игуменцев В.А.

АНАЛИЗ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖИМАХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СЕТЯХ 110–220 КВ МАГНИТОГОРСКОГО ЭНЕРГОУЗЛА

Расчет токов короткого замыкания является одной из основных и наиболее распространенных инженерных задач, решаемых как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий. Постоянный рост нагрузок и, как следствие, рост трансформаторных мощностей, сечений проводов воздушных линий и жил кабелей приводит к увеличению токов несимметричных и трехфазных коротких замыканий. Кроме того, развитие собственных источников электроэнергии и усложнение структуры заводских сетей электроснабжения на крупных предприятиях с одновременным ростом нагрузки и токов короткого замыкания делают задачу расчета режимов короткого замыкания при планировании нормальных и ремонтных эксплуатационных схем весьма актуальной.

В значительной мере определяют надежность электроснабжения потребителей сети 110–220 кВ, поэтому важным является анализ вероятных аварийных режимов, среди которых существенную долю составляют различные виды однократной поперечной несимметрии (однофазные короткие замыкания (КЗ), двухфазные КЗ, двухфазные КЗ на землю). Вероятность возникновения повреждений такого рода значительно выше, чем трехфазных КЗ. Результаты анализа необходимы для выбора параметров срабатывания и оценки чувствительности релейной защиты, для проверки проводов ЛЭП и гибкой ошиновки на схлестывание при КЗ, для оценки коммутационной способности выключателей по току однофазного КЗ в сетях с заземленной нейтралью.

Магнитогорский энергоузел характеризуется наиболее сложной конфигурацией сетей 110–220 кВ среди объектов промышленной электроэнергетики. Сети 110 кВ образуют кольцевую сеть, связывающую четыре узловых подстанции (№ 90, 60, 77, 30), узел электростанций ЦЭС и ПВЭС, узел ТЭЦ. На настоящее время кольцевая сеть разомкнута в двух точках в целях снижения токов КЗ. Кроме того, линии 220 кВ образуют совместно с сетями 110 кВ два замкнутых контура (рис. 1). От узловых подстанций и линий 110 кВ питается 30 понизительных подстанций, режим нейтрали трансформаторов которых определяет уровень токов КЗ на землю.

В работе выполнен анализ влияния наиболее важных факторов – конфигурации электрической сети и режима нейтралей трансформаторов – на уровень токов короткого замыкания и остаточных напряжений при несимметричных КЗ. Анализ проводился при помощи программы [1], разработанной на кафедре ЭПП МГТУ и основанной на использовании модифицированного метода последовательного эквивалентирования для расчета установившихся режимов [2]. Расчеты выполнялись для токов и напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей, а также аварийной и здоровой фазы на шинах 110 кВ и 220 кВ узловых подстанций и системной подстанции «Смеловская», шинах 220 кВ подстанций № 86 и «Магнитогорская», шинах 110 кВ ТЭЦ и ЦЭС. Анализ изменения токов КЗ в сети 110 кВ для различных схем и режимов заземления нейтралей силовых трансформаторов произведен на основе сравнения существующей схемы МЭУ при действующем режиме заземления нейтралей трансформаторов с другими вариантами конфигурации этой схемы.

В разомкнутой схеме, когда нейтрали всех силовых трансформаторов разземлены, токи КЗ прямой и обратной последовательностей практически не изменяются. Это вызвано тем, что не изменились условия для их протекания. Уровень токов нулевой последовательности снижается примерно на 50% из-за увеличения сопротивления нулевой последовательности, вызванного разземлением нейтралей силовых трансформаторов. В данном случае контур протекания токов нулевой последовательности образован только заземленными нейтралями автотрансформаторов. В связи со снижением уровня токов нулевой последовательности снижается уровень суммарных токов КЗ. В разомкнутой схеме в режиме, когда нейтрали всех силовых трансформаторов заземлены, уровень токов КЗ прямой и обратной последовательностей практически не меняется аналогично режиму с разземленными нейтралями силовых трансформаторов. Уровень токов нулевой последовательности увеличивается на 10–230% в результате того, что значительно снижается сопротивление нулевой последовательности из-за большого количества заземленных нейтралей силовых трансформаторов. Вследствие увеличения токов

КЗ нулевой последовательности увеличивается уровень суммарных токов КЗ.

В кольцевой схеме при действующем режиме заземления нейтралей трансформаторов уровень токов КЗ прямой и обратной последовательностей увеличивается на 50–80%, а уровень токов КЗ нулевой последовательности и уровень суммарных токов увеличивается на 50–100%. Это объясняется тем, что создан дополнительный контур для протекания всех токов. В режиме, когда нейтралей всех силовых трансформаторов разземлены, уровень токов КЗ прямой и обратной последовательностей увеличивается на 10–80%. Это объясняется аналогично изменению уровней токов в кольцевой сети с действующим режимом заземления нейтралей трансформаторов. Уровень токов нулевой последовательности и суммарных токов снижается на 5–35%, так как нейтралей силовых трансформаторов разземлены и токи нулевой последовательности замыкаются только через нейтралей автотрансформаторов и по дополнительному контуру 110 кВ. В режиме, когда нейтралей всех трансформаторов заземлены, уровень токов прямой и обратной последовательности увеличивается на 10–80% из-за того, что образовался дополнительный контур. Уровень токов нулевой последовательности и, как следствие, уровень суммарных токов увеличивается на 50–350% из-за снижения сопротивления нулевой последовательности и появления дополнительного контура для протекания токов. Характер изменения токов КЗ показан на **рис. 2**.

Характер изменения токов КЗ в сети 220 кВ показан на **рис. 3**.

В разомкнутой схеме, когда нейтралей всех силовых трансформаторов разземлены, токи КЗ прямой и обрат-

ной последовательностей практически не изменяются. Это связано с тем, что условия для протекания данных токов остаются неизменными. Уровень токов нулевой последовательности снижается на 10–60% в результате значительного увеличения сопротивления нулевой последовательности. Уровень суммарных токов снижается в связи с уменьшением значений токов нулевой последовательности. В случае, когда нейтралей всех силовых трансформаторов заземлены, токи КЗ прямой и обратной последовательностей практически не изменяются. Уровень токов нулевой последовательности возрастает на 5–13% в результате значительного уменьшения сопротивления нулевой последовательности. Уровень суммарных токов при этом возрастает.

В кольцевой схеме при действующем режиме заземления нейтралей уровень всех токов КЗ увеличивается на 0,5–10%. Это объясняется тем, что создается дополнительный контур в сети 110 кВ для протекания всех токов, оказывающий, однако, незначительное влияние на сеть напряжением 220 кВ. В режиме, когда нейтралей всех силовых трансформаторов разземлены, уровень токов КЗ прямой и обратной последовательностей увеличивается на 3–10%. Это объясняется аналогично изменению уровней токов в кольцевой сети с действующим режимом заземления нейтралей трансформаторов. Уровень токов нулевой последовательности и суммарных токов снижается на 10–40%, так как нейтралей всех силовых трансформаторов разземлены и токи нулевой последовательности трансформируются в сеть 110 кВ через автотрансформаторы и замыкаются по дополнительному контуру.

В режиме, когда нейтралей всех трансформаторов заземлены, уровень токов прямой и обратной последо-

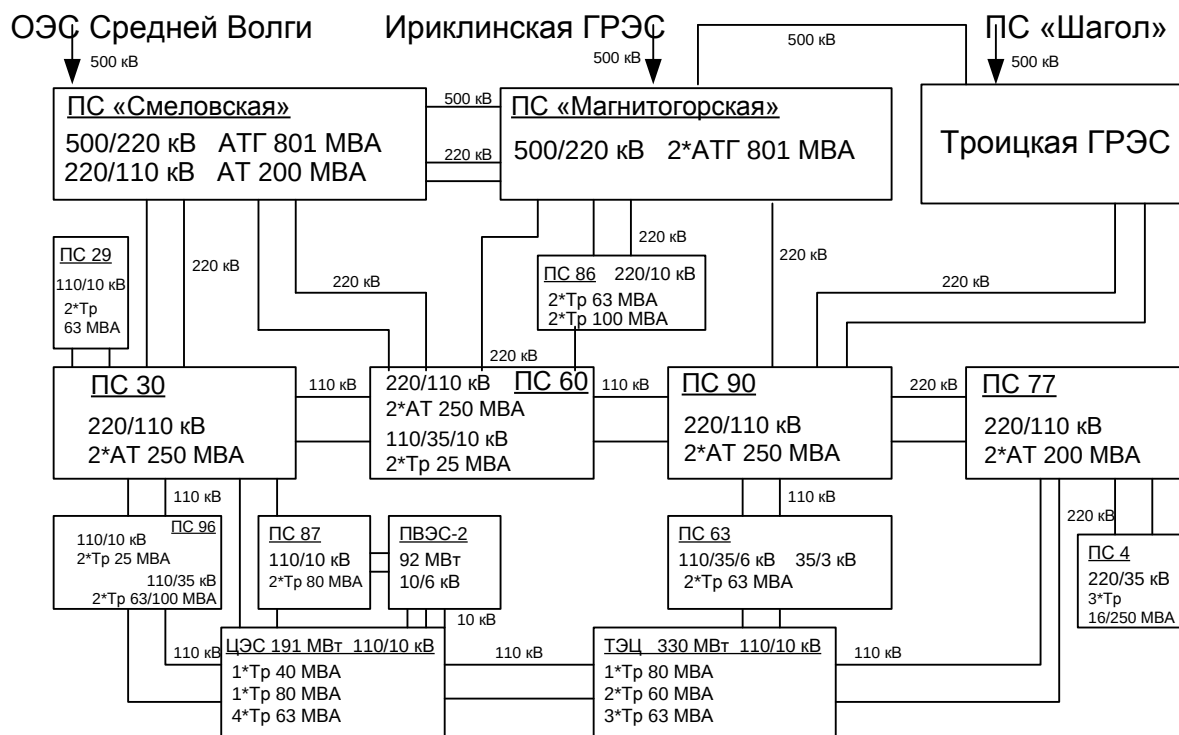


Рис. 1. Упрощенная схема Магнитогорского энергоузла на напряжениях 110–500 кВ

вательности увеличивается на 0,5–10%. Уровень токов нулевой последовательности и, как следствие, уровень суммарных токов повысился на 5–15%. Такое незначительное изменение объясняется тем, что в сети 220 кВ установлены только автотрансформаторы, поэтому на токах КЗ мало сказывается режим заземления нейтралей трансформаторов и конфигурация сети 110 кВ.

В действующей схеме в сети 110 кВ наибольший уровень токов короткого замыкания наблюдается на шинах подстанции № 30. Ток прямой последовательности достигает величины 18,83 кА при двухфазном замыкании на землю, ток обратной последовательности – 14,48 кА при двухфазном замыкании. Ток нулевой последовательности достигает уровня 26,25 кА, суммарный ток – 45,56 кА. В сети 220 кВ максимальный уровень токов наблюдается на шинах подстанции «Магнитогорская». Наибольшее значение тока прямой последовательности – 24,48 кА при двухфазном замыкании на землю. Ток обратной последовательности достигает значения 18,43 кА при двухфазном замыкании. Ток нулевой последовательности достигает уровня 43,87 кА.

На основе анализа изменения уровней токов можно сделать вывод, что режим заземления нейтралей является определяющим для уровней токов нулевой последовательности и, как следствие, суммарных токов. В сети 110 кВ конфигурация сети оказывает существенное влияние на уровни токов всех последовательностей, в то время как в сети 220 кВ не происходит значительного изменения уровней токов КЗ при смене конфигурации сети 110 кВ.

Не менее важными параметрами режимов несимметричных КЗ являются напряжения симметричных

составляющих. Остаточное напряжение прямой последовательности определяет условия работы электроприемников, величины напряжений обратной и нулевой последовательности необходимы для определения параметров срабатывания релейной защиты (фильтровые высокочастотные защиты, ТЗНП с органами направления мощности нулевой последовательности и др.).

Остаточное напряжение прямой последовательности зависит от электрической удаленности подстанции от точки короткого замыкания. Чем менее удалена подстанция от точки короткого замыкания, тем сильнее влияние этого короткого замыкания на напряжение на ее шинах. Нагрузку обратной последовательности создают вращающиеся электрические машины. Чем больше сопротивление обратной после-

Токи нулевой последовательности и суммарные токи в сети 110 кВ

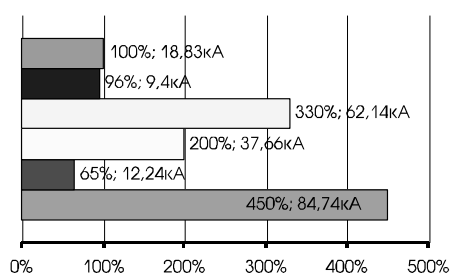


Рис. 2. Характер изменения токов КЗ в сети 110 кВ

Токи нулевой последовательности и суммарные токи в сети 220 кВ

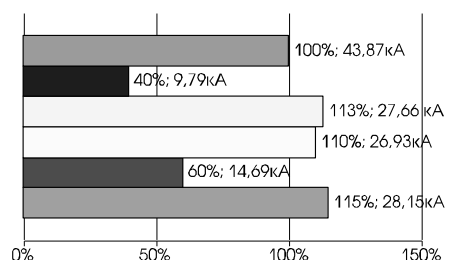


Рис. 3. Характер изменения токов КЗ в сети 220 кВ

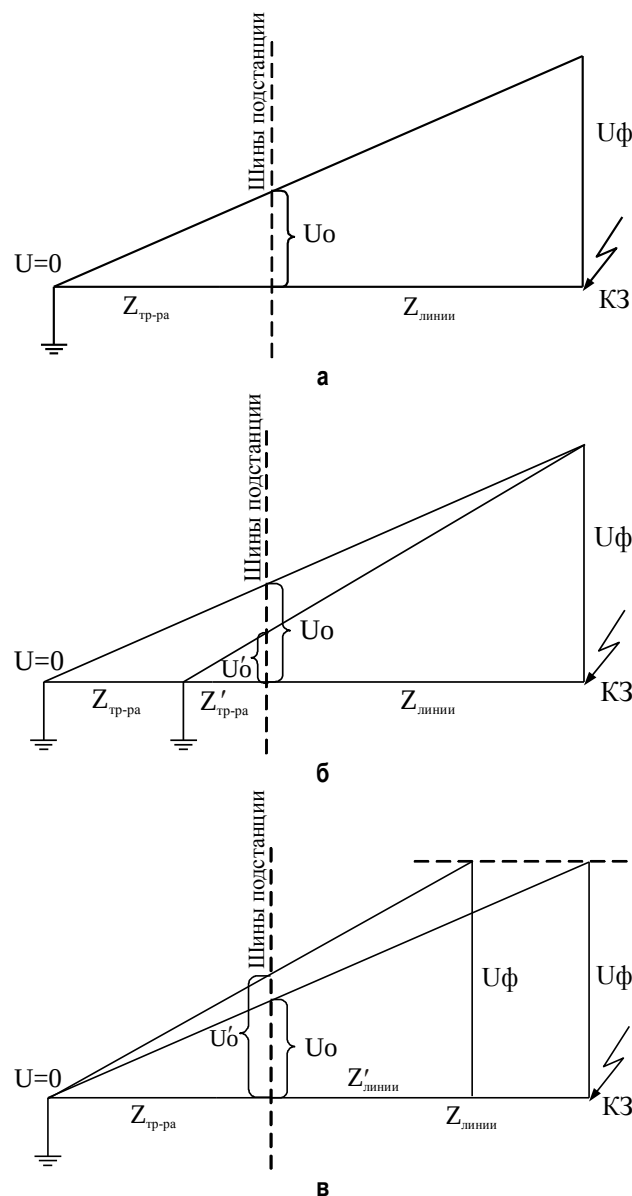


Рис. 4. Зависимость остаточного напряжения нулевой последовательности на шинах подстанции от сопротивлений линий и количества заземленных нейтралей трансформаторов

довательности, тем больше напряжение обратной последовательности.

Напряжение нулевой последовательности определяется наличием заземленных нейтралей трансформаторов в сети (рис. 4, а). Чем больше заземленных нейтралей, тем меньше эквивалентное сопротивление нулевой последовательности (рис. 4, б), т.к. в схеме замещения они складываются в параллель и, следовательно, напряжение нулевой последовательности будет меньше. Также напряжение нулевой последовательности зависит от удаленности подстанции от точки короткого замыкания (рис. 4, в).

На диаграмме (рис. 5) приведены уровни остаточных напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей при КЗ на шинах 110 кВ ПС № 60.

Для ТЭЦ и ЦЭС одним из наиболее тяжелых режимов следует считать то короткое замыкание, при котором остаточное напряжение прямой последовательности на шинах электростанции опустится ниже критического уровня. Для ТЭЦ (пылеугольная электростанция) критический уровень напряжения прямой последовательности составляет 55% напряжения в нормальном режиме, для ЦЭС (топливо – газовая смесь) – 65%. Если остаточное напряжение прямой последовательности на шинах электростанции будет ниже критического, то не смогут работать собственные нужды электростанции. Так, для ТЭЦ и ЦЭС в качестве наиболее тяжелых режимов можно выделить режимы двухфазного КЗ на землю на шинах 110 кВ ПС № 30 (остаточное напряжение прямой последовательности снижается до уровня 35,1%) и двухфазного КЗ на землю на шинах 110 кВ ПС № 96 (остаточное напряжение прямой последовательности снижается до уровня 38,7%).

Анализ величин остаточных напряжений показал, что в основном все полученные результаты объясняются электрической удаленностью подстанции от точки КЗ, но электрическая удаленность не всегда очевидна. Например, при коротком замыкании на шинах 110 кВ ПС № 60 в сети 110 кВ наибольшее остаточное напряжение обратной последовательности наблюдается на шинах ПС «Смеловская». Для обоснования полученных результатов был проведен расчет падений напряжения по схемам замещения участков ПС № 60–ПС № 30 и ПС № 60–ПС «Смеловская».

Как показали расчеты, в целом ряде случаев определяющим является не электрическая удаленность подстанции от точки КЗ, а такие факторы, как близость энергосистемы, суммарная мощность трансформаторов

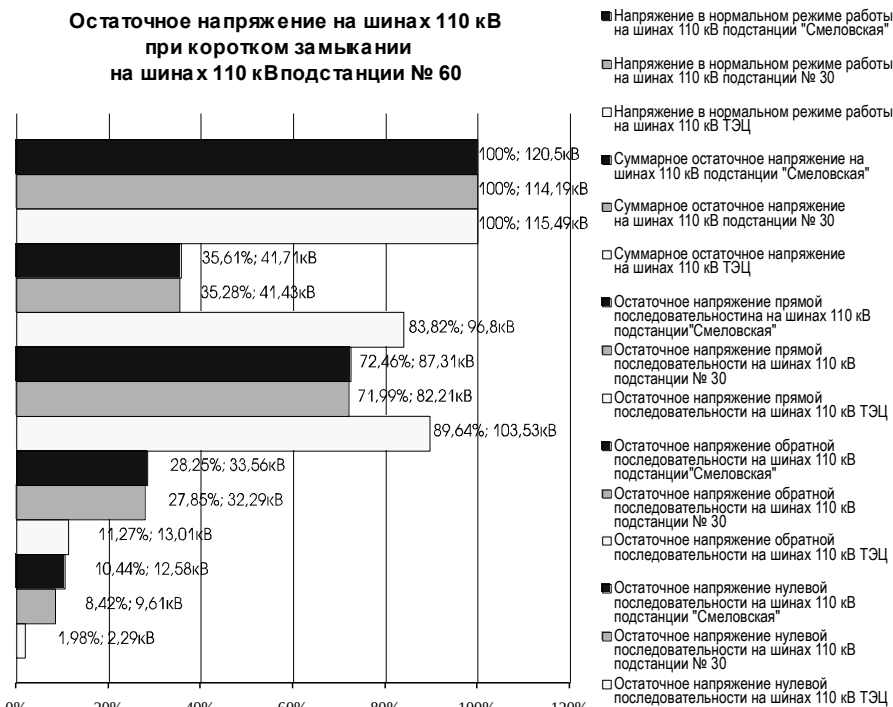


Рис. 5. Уровни остаточных напряжений при КЗ на шинах 110 кВ ПС № 60

с заземленными нейтралью или близость генераторов собственных электростанций. Так, например, при КЗ на шинах 110 кВ ТЭЦ в режиме разземления нейтралей трансформаторов 110 кВ наибольшее значение напряжения нулевой последовательности в сети 220 кВ наблюдается на ПС-77, наименьшее – на шинах ПС «Смеловская», хотя территориально эта подстанция является наиболее удаленной. Такое соотношение объясняется в данном случае малым сопротивлением нулевой последовательности автогрупп 500/220 кВ.

Проведенный анализ величин токов КЗ и напряжений симметричных составляющих необходим для определения параметров срабатывания и проверки по чувствительности релейной защиты, для выбора оборудования и режима заземления нейтралей, нормальных эксплуатационных схем. Результаты работы могут быть использованы в работе служб расчета и анализа режимов и служб релейной защиты и автоматики промышленных электрических сетей.

Список литературы

1. Программа «Расчет и оптимизация установившихся и переходных эксплуатационных режимов параллельной и раздельной работы с энергосистемой, режимов короткого замыкания и режимов замыкания на землю с оценкой влияния на электрооборудование в системах электроснабжения промышленных предприятий»: свидетельство 2008610273 РФ / Игуменцев В.А., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н., Зиновьев В.В. ОБПБТ. 2008. № 2. С. 186.
2. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения / Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. // Промышленная энергетика. 2008. № 6. С. 16–22.

Bibliography

1. Computer program «Calculation and optimization of the steady and transient operating conditions of parallel and separate operation with an electric power system and modes of earth-fault with an evaluation of influence on an electric equipment in electrosupply systems of industrial works»: A.c. 2007611306 RF. / V.A. Igumenshev, V.V. Zinovyev, A.V. Malafeev, O.V. Bulanova. –

Published in the bulletin «Computer programs and databases and integral chip topologies», 2007, No 2.

2. Igumenshev, V.A. Modified method of successive reduction for calculation of electric power supply composite systems modes [Text] / V.A. Igumenshev, B.I. Zaslavets, A.V. Malafeev, O.V. Bulanova, Y.N. Rotanova // Industrial power engineering. 2008. No 6. P. 16–22.

УДК 669.154

Нешпоренко Е.Г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРНИССАЖНОГО РЕЖИМА РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ПЕРФОРИРОВАННОЕ ОГРАЖДЕНИЕ УСТАНОВОК

Учет тепловых потерь в окружающую среду во многом определяет видимый расход топлива на процесс. Особенно это актуально для тех процессов, в которых топливо не может быть полностью использовано, например в восстановительных.

Анализ ограждений реакторов жидкофазного восстановления железа и других реакторов, работающих с расплавленными системами, по литературному обзору показал, что надежное их функционирование достигается за счет применения соответствующих огнеупоров. При этом имеет место ограниченный срок их эксплуатации.

При помощи организации защитного слоя гарниссажа на внутренней поверхности ограждения создается возможность форсирования процесса и становится неограниченным срок его эксплуатации. Однако в этом случае в тепловом балансе реактора значительно увеличивается статья тепловых потерь в окружающую среду и может достигать 20–75% [1–4], что приводит к большому увеличению расхода первичного энергоресурса на процесс.

Принципиально возможно снизить тепловые потери через ограждения путем активного воздействия на тепловой поток. Очевидно, что необходимо такое решение, при котором тепловой поток через ограждение возвращался бы в реакционное пространство, и было бы возможно образование гарниссажа. Для достижения поставленной цели предлагается использовать перфорированное ограждение, то есть в ограждении с определенным шагом выполняются отверстия, по которым в расплав, содержащийся в реакторе, поступает холодный газообразный энергоноситель. Газообразный энергоноситель нагревается от стенок отверстия и тем самым возвращает обратно в реактор часть энергии, ранее теряющейся в окружающую среду.

Задача исследования работы перфорированного ограждения при контакте с расплавом является новой и не исследованной ранее, что и подтверждает ее научную новизну.

Анализ функционирования перфорированного ограждения в условиях обработки

расплавной системы приводит к трем принципиально возможным режимам работы: догарниссажный, гарниссажный и смешанный.

Догарниссажный режим работы перфорированного ограждения предполагает, что холодный газообразный энергоноситель, проходя по отверстию, успевает нагреться до температуры, превышающей температуру плавления гарниссажа [5].

Гарниссажный режим работы перфорированного ограждения предполагает, что холодный газообразный энергоноситель, проходя по отверстию, не успевает нагреться до температуры, превышающей температуру плавления гарниссажа. При этом вокруг отверстия на поверхности ограждения, контактирующего с расплавом, возникает гарниссаж, который полностью покрывает поверхность.

Смешанный режим в данной работе не исследуется.

Исследования теплообмена газовой струи и гарниссажа проводились на экспериментальной установке, предназначенной для «холодного» моделирования, в лаборатории металлургии стали МГТУ (рис. 1). Шлаковый расплав моделируется расплавом парафина, кото-

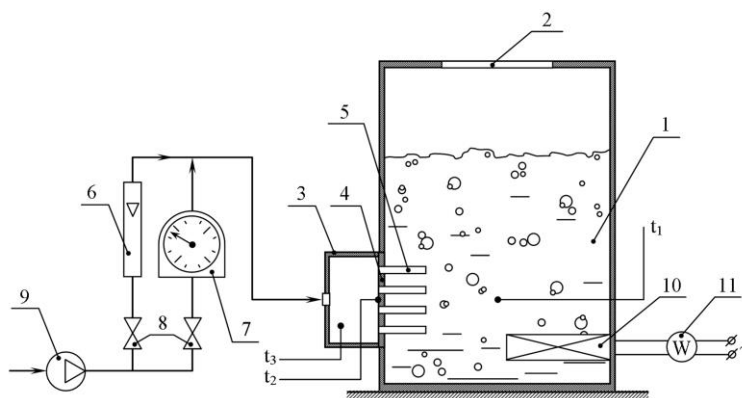


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – ванна с расплавом; 2 – отверстие для выхода отходящих газов; 3 – газовый коллектор; 4 – сменная решетка; 5 – трубки; 6 – ротаметр; 7 – газовый лопастной расходомер; 8 – регуляторы расхода газа; 9 – компрессор поршневой; 10 – термический электронагреватель; 11 – ваттметр; t_1 , t_2 , t_3 – термопара № 1, 2, 3

рый, охлаждаясь, застывает на поверхности ограждения лабораторной установки, образуя слой гарниссажа.

В задачу экспериментального исследования входила проверка возможности практической реализации процесса образования гарниссажа с одновременной регенерацией теплоты, распространяющейся теплопроводностью в образованном слое гарниссажа. Также замерялись температуры расплава, поверхности сплошного и перфорированного ограждения с целью определить долю тепла, теряющегося через ограждение при регенерации Q_{oc} , относительно тепловых потерь через сплошное ограждение Q^o_{oc} .

Исследовано влияние на отношение Q_{oc}/Q^o_{oc} таких факторов, как шаг перфорации S , диаметр отверстия d и расход газа G в следующих пределах: 0,005–0,02 м, 0,001–0,003 м, $(1,875–6,25) \cdot 10^{-5}$ кг/с соответственно. Приведены условия проведения опытов и условная кодировка факторов (табл. 1).

Тепловые потери через ограждения, а именно через сменную решетку, замерялись следующим образом: ввиду того, что расстояния между отверстиями измерялись миллиметрами, среднеинтегральный поток теплоты оценивался по температуре «горячей» точки t_2 , расположенной на пересечении диагоналей между центрами отверстий.

Ввиду того, что цели, поставленные при изучении данной системы, исследуется впервые, и не известно точное распределение температурного поля из-за технических ограничений эксперимента, для первого приближения следует принять во внимание результаты подобного процесса регенерации теплоты в догарниссажном режиме, исследованного с помощью вычисли-

тельного эксперимента [5]. Таким образом, можно предположить, что среднеинтегральная температура поверхности составляет 95% от температуры «горячей» точки, полученной в эксперименте. Это позволяет считать тепловые потери через ограждение реакционного пространства.

Составлена план-матрица факторного эксперимента 2^3 (табл. 2) и произведена статистическая обработка результатов [6].

В результате взаимного воздействия факторов на исследуемую величину получаем линейное уравнение следующего вида:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + b_6 \cdot x_6 + b_7 \cdot x_7 = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

После расчета коэффициентов регрессии b_i и преобразований получаем уравнение

$$\frac{Q_{oc}}{Q^o_{oc}} = 0,1196 + 35,7512 \cdot S - 93,4196 \cdot d - 98,2357 \cdot G + 2103,33 \cdot S \cdot d - 225060,0 \cdot S \cdot G + 237461,8 \cdot d \cdot G. \quad (2)$$

Уравнение (2) представляет собой функциональную связь варьируемых параметров с отношением теплоты, проходящей через перфорированное и сплошное ограждение экспериментальной установки.

Современные компьютерные средства графической визуализации позволяют представить двухпараметрическое влияние отдельных факторов на функцию отклика по уравнению (2).

На рис. 2 представлено отношение потерь теплоты через ограждение в зависимости от факторов S и d при $G = \text{const}$. Видно, что увеличение расхода газа через отверстия в 3 раза (нижний и верхний предел варьирования) при фиксированных геометрических па-

раметрах перфорации ограждения ($S=0,015$ м, $d=0,002$ м), обозначенных точками на графиках, приводит к снижению отношения тепловых потерь через ограждение Q_{oc}/Q^o_{oc} от значения 0,47 (47%) до 0,34 (34%), то есть в 1,38 раза.

На рис. 3 представлено отношение потерь теплоты через ограждение как функция, зависящая от факторов S и G , при $d = \text{const}$. Видно, что увеличение диаметра отверстия, через которое поступает газ, в 3 раза (нижний и верхний предел варьирования) при фиксированном шаге перфорации

Таблица 1

Условия проведения опытов

Изучаемые факторы	L , м	d , м	G , кг/с	Q_{oc}/Q^o_{oc}
Основной уровень (0)	0,0125	0,002	$4,062 \cdot 10^{-5}$	–
Интервалы варьирования I	0,0075	0,001	$2,187 \cdot 10^{-5}$	–
Верхний уровень (+1)	0,0200	0,003	$6,250 \cdot 10^{-5}$	–
Нижний уровень (–1)	0,0050	0,001	$1,875 \cdot 10^{-5}$	–
Код	x_1	x_2	x_3	y

Таблица 2

Матрица планирования факторного эксперимента и результаты опытов

№ п/п	x_0	План			Взаимодействия				y
		x_1	x_2	x_3	$x_4 = x_1 \cdot x_2$	$x_5 = x_1 \cdot x_3$	$x_6 = x_2 \cdot x_3$	$x_7 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,436
2	+1	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1	0,609
3	+1	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1	0,512
4	+1	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1	0,700
5	+1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1	0,019
6	+1	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1	0,039
7	+1	–1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	0,153
8	+1	–1	–1	–1	+1	+1	+1	–1	0,198
b_i	0,3333	0,2311	–0,0575	–0,0533	0,0158	–0,0369	0,0052	–0,0013	–

ограждения и расходе газа через отверстия ($S=0,015$ м, $G=4,0 \cdot 10^{-5}$ кг/с), обозначенных точками на графиках, приводит к снижению отношения тепловых потерь через ограждение Q_{oc}/Q^o_{oc} от значения 0,46 (46%) до 0,36 (36%), то есть в 1,28 раза.

На рис. 4 представлено отношение потерь теплоты через ограждение как функция, зависящая от факторов d и G , при $S=const$. Видно, что уменьшение шага перфорации ограждения в 4 раза (нижний и верхний предел варьирования) при фиксированном диаметре отверстия и расходе газа через отверстия ($d=0,002$ м, $G=4,0 \cdot 10^{-5}$ кг/с), обозначенных точками на графиках, приводит к снижению отношения тепловых потерь через ограждение Q_{oc}/Q^o_{oc} от значения 0,57 (57%) до 0,11 (11%), то есть более чем в 5 раз.

В результате проведения физических экспериментов были получены образцы парафинового гарниссажа, вид которого представлен на рис. 5. Данный образец получен при значении шага перфорации, равного 0,020 м, диаметр отверстия 0,001 м, расход воздуха $1,875 \cdot 10^{-5}$ кг/с.

Лучшим вариантом использования энергосберегающих возможностей перфорированного ограждения является создание на его основе нового оборудования [7, 8]. Однако радикальных изменений действующего оборудования промышленного предприятия обходят стороной, стараясь усовершенствовать существующее оборудование. Поэтому предложен ряд вариантов приложения перфорированного ограждения в действующих производствах.

В первую очередь перфорированное ограждение может быть применено в металлургическом производстве, а именно в сталеплавильных процессах, где необходимо иметь ограждение, которое работает в нижней части конвертера или дуговой сталеплавильной печи в условиях соприкосновения со сталью при температуре около 1650°C , посередине в условиях соприкосновения с окисленным шлаком при 1700°C , вверху в условиях соприкосновения с отходящим запыленным газом при 1850°C [9].

Проблемное место – граница раздела фаз. Одним из решений может быть создание слоя гарниссажа на конкретном участке агрегата с использованием кессонов. Однако в таком случае при образовании гарниссажа одновременно вырастут тепловые потери через ограждения, что и наблюдается при работе установок ковш-печь (УКП).

Применение перфорированного ограждения, работающего в гарниссажном режиме на конкретном участке конвертера, может решить эту задачу. Например, продувая через него нейтральный газ (аргон, азот), можно получить требуемый слой гарниссажа и одновременно сохранить возможность утилизации энергии, воспринятой газом в охладителях конвертерных газов или котлах-утилизаторах.

С помощью перфорированного ограждения происходит преобразование тепловой энергии низкого потенциала в энергию

отходящих газов с высоким потенциалом, которые, в свою очередь, могут служить источником энергии для ломоплавильных агрегатов. Таким образом, можно

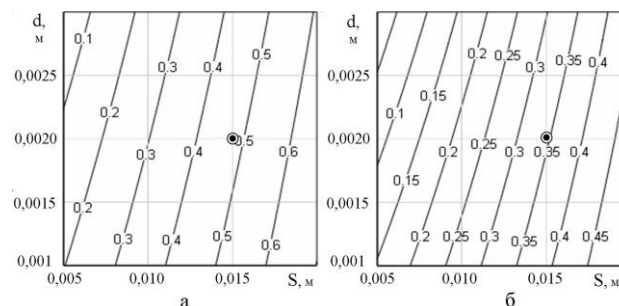


Рис. 2. Отношение потерь теплоты через ограждение при постоянном расходе газа: а – при $G = \min$; б – при $G = \max$

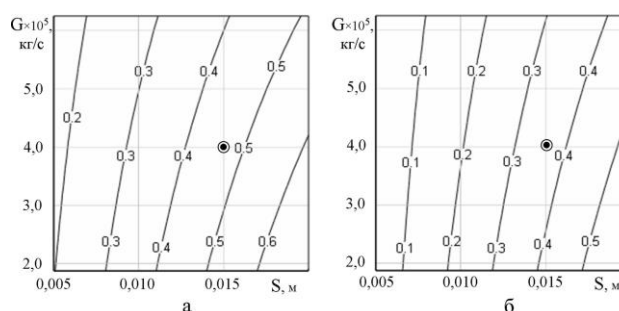


Рис. 3. Отношение потерь теплоты через ограждение при постоянном диаметре отверстия: а – при $d = \min$; б – при $d = \max$

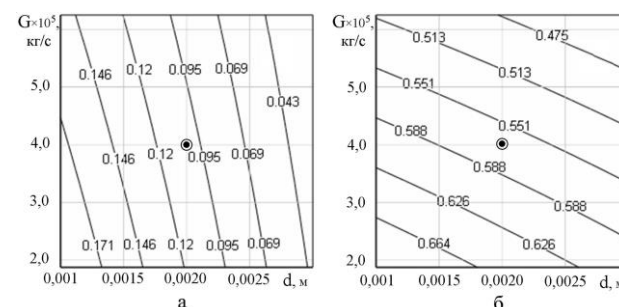


Рис. 4. Отношение потерь теплоты через ограждение при постоянном шаге перфорации: а – при $S = \min$; б – при $S = \max$

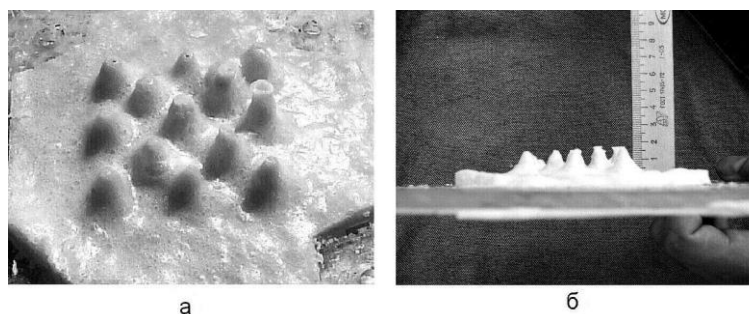


Рис. 5. Образец парафинового гарниссажа, полученный в ходе экспериментов: а – общий вид; б – вид сбоку

снизить электропотребление ломоплавильных агрегатов до минимальных значений.

В цветной металлургии многие процессы получения тугоплавких металлов идут при температурах свыше 1300°C. При этом возникают проблемы, связанные с растворением огнеупоров футеровки при взаимодействии со шлаком. При применении водяного охлаждения тепловые потери через ограждения возросли до 35% [1]. Применение перфорированного ограждения может решить проблему возврата теплоты и организацию защитного слоя гарниссажа на внутренней поверхности ограждения.

Также перфорированное ограждение можно применить для таких процессов, как цинковая плавка, свинцовая плавка, для выплавки синтетических шлаков, температурный уровень которых 1800°C, при получении расплавов, предназначенных для производства плавленых бадделито-корундовых (2000°C), магнетитовых огнеупоров (2400°C) и др.

Список литературы

1. Рафалович И.М. Теплопередача в расплавах, растворах и футеровке печей и аппаратов. М.: Энергия, 1977. 304 с.
2. Плавка в жидкой ванне / А.В. Ванюков, В.П. Быстров, А.Д. Васкевич и др. М.: Металлургия, 1998. 208 с.
3. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей. М.: Металлургия, 1970. 424 с.
4. Руссо В.Л. Теплофизика металлургических гарниссажных аппаратов. М.: Металлургия, 1978. 248 с.
5. Нешпоренко Е.Г. Регенерация тепловых потерь через перфорированное ограждение высокотемпературных технологических установок // Вестник МЭИ. 2008. № 1. С. 74–78.
6. Гречко А.В., Нестеренко Р.Д., Кудинов Ю.А. Практика физического моделирования на металлургическом заводе. М.: Металлургия, 1976. 224 с.
7. Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В., Петин С.Н. Ресурсосбережение в металлургическом комплексе с применением природного газа // Энергосбережение – теория и практика: тр. Третьей Всерос. школы-семинара молодых ученых и специалистов. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. С. 222–226.
8. Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В. Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 153 с.
9. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. 3-е изд., перераб. и доп. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.

Bibliography

1. Raphaelovich I.M. Heat transfer in fused, solutions and protection furnaces and devices. M: Energy, 1977. 304 p.
2. Fusion in a liquid bath / A.V. Vanjukov, V.P. Bystrov, A.D. Vaskevich, etc. M: Metallurgy, 1998. 208 p.
3. Andoniev S.M. Isparitelnoe cooling metallurgical pewhose. M: Metallurgy, 1970. 424 p.
4. Russo V.L. Thermophysics metallurgical of garnissage apparatus. M: Metallurgy, 1978. 248 p.
5. Neshporenko E.G. Regeneration of thermal losses through a perforiro-bathing protection of high-temperature technological installations // Bulletin MEI. 2008. №1. P. 74–78.
6. Grechko A.V., Nesterenko R.D, Kudinov U.A. Practice of physical modeling at metal works. M: Metallurgy, 1976. 224 p.
7. Neshporenko E.G., Kartavtsev S.V., Petin S.N. Savings of resources in a metallurgical complex with application of natural gas // Energy savings – the theory and practice: Works of the Third All-Russia school-seminar of young scientists and experts. M: Publishing house MEI, 2006. P. 222–226.
8. Neshporenko E.G., Kartavtsev S.V. Question savings of resources and energy at extraction of iron from ores: monography. Magnitogorsk: MGTU, 2007. 153 p.
9. Bigeev A.M., Bigeev V.A. Steel metallurgy. 3 ed., the reslave. and add. Magnitogorsk: MGTU, 2000. 544 p.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 336.748:001.891.57

Иванова Т.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ДАННЫХ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ КУРСОВ ВАЛЮТ

Эффективность операций с валютами зависит от прогноза курсов валют. При этом в большинстве случаев для получения положительного эффекта от валютных операций достаточно предвидеть направление движения курса, т.е. определить движение курса вверх или вниз. Поэтому прогнозирование будем проводить на основе знакового ряда, отражающего только направление изменения курса.

В работе предлагается и экспериментально исследуется метод построения прогноза направления движения курсов основных валют на основе метода сжатия данных (так называемых архиваторов), опирающегося на предсказание значения символа на основе контекстного моделирования.

Контекст – это множество символов анализируемого ряда, предшествующих данному. Предполагается уточнение вероятности появления кодируемого символа за счет учёта вероятности предшествующего контекста (т.е. вероятность появления кодируемого символа после определённого N числа символов слева, где N – это порядок контекста).

Для процесса анализа контекста в работе предлагается использовать алгоритм арифметического кодирования, являющийся алгоритмом сжатия без потерь

(англ. Lossless data compression), при использовании которого оригинальные данные полностью восстанавливаются из сжатого состояния.

Алгоритм арифметического кодирования [3]. Находится распределение частот $p_1, p_2, p_3, \dots$ символов входной последовательности: $a_1, a_2, a_3, \dots$. Рассматриваем отрезок $[0, 1]$. Разбиваем его на отрезки $I_1^1, I_2^1, I_3^1, \dots$ с длинами, пропорциональными $p_1, p_2, p_3, \dots$. Пусть первый символ последовательности — a_1 , тогда разбиваем отрезок I_1^1 на $I_1^2, I_2^2, I_3^2, \dots$ с длинами, пропорциональными $p_1, p_2, p_3, \dots$. Пусть второй символ на входе — a_2 , тогда разбиваем отрезок I_2^2 на $I_1^3, I_2^3, I_3^3, \dots$ с длинами, пропорциональными $p_1, p_2, p_3, \dots$, и т.д. Пусть последний символ попал в отрезок I_k^n , тогда вся последовательность кодируется каким-нибудь числом (его можно записать в двоичном виде) из I_k^n . Таким образом, вся входная последовательность кодируется одним числом из $[0, 1]$.

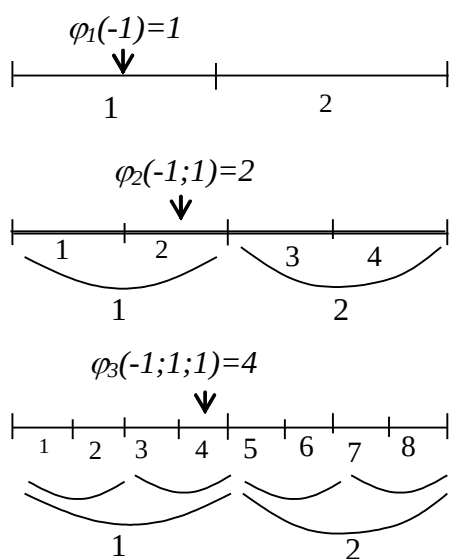
Для нашей задачи прогнозирования направления изменения курса, когда входной алфавит определяется множеством из двух значений $\{-1; 1\}$, при применении арифметического кодирования достаточно определять на каждом этапе преобразования только номер интервала, в который попадает значение. Такой подход будем называть упрощенным методом арифметического кодирования.

Например, последовательность $-1; 1; 1$ в случае алфавита, включающего набор символов $\{-1; 1\}$, будет закодирована числом 4 (рис. 1).

Общий алгоритм решения задачи построения прогноза направления изменения курса валют по контексту ограниченной длины N и алфавиту, включающему два значения:

1) Переходим от исходного ряда x_i к первым разностям этого ряда $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$. Затем сделаем замену разностей Δx_i на знаковый ряд k_i :

$$k_i = \begin{cases} +1, & \Delta x_i > 0; \\ 0, & \Delta x_i = 0; \\ -1, & \Delta x_i < 0. \end{cases}$$

Рис. 1. Процесс кодирования последовательности $-1; 1; 1$

Поскольку значение $k_i=0$ для динамики курса валют практически маловероятно, то в дальнейшем мы будем иметь дело с рядом, содержащим последовательность из $\{-1; 1\}$.

2) Задаем длину контекста N , на основе которого будет строиться прогноз, и переходим от знакового ряда k_i к набору последовательностей длины $N+1$ вида $k_{i-N}, k_{i-N+2}, \dots, k_i, k_{i+1}$, где $i=N+1, \dots, n$.

3) Используя упрощенный алгоритм арифметического кодирования, сжимаем последовательности $k_{i-N}, k_{i-N+2}, \dots, k_i, k_{i+1}$ длины $N+1$ в номера интервалов d_i . Число интервалов при кодировании последовательности длины $N+1$ и алфавиту, включающему два значения, составляет $l=2^{N+1}$, т.е. $d_i \in \{1, 2, \dots, l\}$.

4) Определяем выборочные частоты $f(j)$ ($j=1, 2, \dots, l$) появления значений номеров интервалов d .

5) Строим прогноз направления изменения курса валют $\tilde{k}_t$ на основе анализа предшествующего контекста из N значений: $k_{t-N}, k_{t-N+1}, \dots, k_{t-1}$.

Для этого с помощью упрощенного алгоритма арифметического кодирования сжимаем последовательность $k_{t-N}, k_{t-N+1}, \dots, k_{t-1}, k'_t$, где k'_t принимает поочередно все возможные значения алфавита $\{-1; 1\}$. Получим два значения: d'_{-1} для $k'_t = -1$ и d'_1 для $k'_t = 1$.

Рассчитываем вероятности появления d'_{-1} и d'_1 по формулам:

$$P(d'_{-1}) = \frac{f(d'_{-1})}{f(d'_{-1}) + f(d'_1)}$$

$$\text{и } P(d'_1) = \frac{f(d'_1)}{f(d'_{-1}) + f(d'_1)}.$$

В качестве прогноза $\tilde{k}_t$ принимается наиболее вероятное значение.

$$k_t = \begin{cases} -1, & \text{если } P(d'_{-1}) > P(d'_1), \\ 1, & \text{если } P(d'_{-1}) < P(d'_1). \end{cases}$$

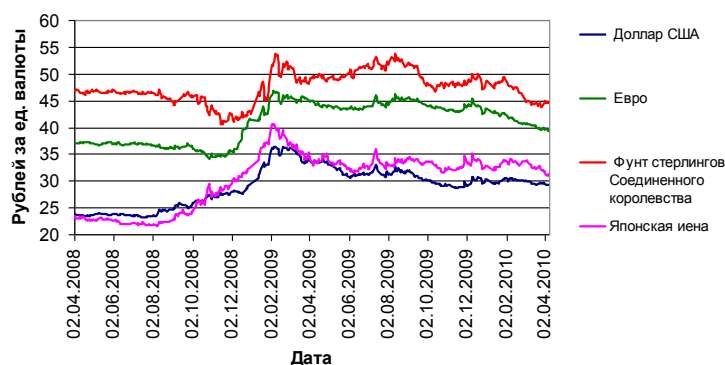


Рис. 2. Динамика курсов основных валют за период с 02.04.2008 по 02.04.2010

Повышения точности прогноза в предложенном алгоритме можно достигнуть, варьируя длиной контекста N , объемом обучающей выборки.

Эффективность методов прогнозирования направления изменения курсов валют оценивалась на примере динамики курса доллара США, фунта стерлингов, евро и японской иены относительно рубля [5] при прогнозировании направления изменения на 27 точек периода с 02.03.2010 по 08.04.2010 (рис. 2).

Проводились эксперименты с различными объемами обучающей выборки и значениями параметров глубины контекста.

Для оценки результатов испытания были выбраны критерии, оценивающие: процент оправдавшихся прогнозов знака прироста курса валюты (ПО, %); число нераспознанных ситуаций (НР); процент реализованных возможностей в стоимостном выражении, определяется как процент выигрыша от суммы максимально возможного выигрыша (ПД, %) (табл. 1).

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы. При малых объемах обучающей выборки и глубине контекста $N > 3$ статистика по вероятностному распределению контекста не успевает накапливаться. При больших объемах обучающей выборки и глубине контекста $N > 3$ наблюдаются случаи, когда алгоритм не позволяет однозначно распознать ситуацию. Для разных курсов валют лучшими оказывались модели при различных сочетаниях объемов выборки и глубине контекста. В среднем наилучшие результаты показала модель при объеме выборки 200 точек и глубине контекста $N=4$.

Нами также был рассмотрен вариант модели с переменной глубиной контекста. При построении прогноза выбиралось такое N , при котором наблюдалось наилучшее разделение данных. Однако значительных улучшений результатов не было: выбор падал в основном на одну модель, показывающую лучшие результаты при простом моделировании (см. табл. 1).

Было проведено сравнение результатов прогнозирования с применением алгоритмов сжатия данных (база настройки 200 точек, длина контекста 4) с традиционными алгоритмами прогнозирования на основе: нейросетевой модели (1 слой, 16 нейронов, алгоритм обратного распространения ошибок) [3], адаптивной модели прогнозирования временного ряда с неустойчивым характером колебаний [1], адаптивной модели экспоненциального сглаживания [2], адаптивной моделью линейного роста Брауна [2]; трендовой линейной моделью [2]. Для последних четырех моделей при построении прогноза использовалась схема скользящего окна: лучшие результаты получены при настройке параметров по 10 точкам. При использовании адаптивной модели экспоненциального сглаживания, адаптивной модели линейного роста Брауна и трендовой линейной модели прогнозировалось само значение курса и для оценки совпадения направления прогноза с направлением изменения фактического значения рассчитывался показатель p по формуле

$$p_{t+1} = \frac{x_{t+1} - x}{\hat{x}_{t+1} - x} \Big/ \left| \frac{x_{t+1} - x}{\hat{x}_{t+1} - x} \right| =$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{если направление прогноза совпало;} \\ -1, & \text{если направление не совпало.} \end{cases}$$

Оценки эффективности рассматриваемых методов прогнозирования при 27 испытаниях представлены в табл. 2.

Доля оправдавшихся прогнозов и процент прибыли модели прогнозирования с использованием алгоритмов сжатия данных превышают аналогичные показатели остальных методов прогнозирования.

Таблица 1

Результаты прогнозирования с использованием алгоритма сжатия

Дл. конт.	База 50 точек			База 100 точек			База 200 точек			База 300 точек			База 500 точек		
	ПО, %	ПД, %	НР	ПО, %	ПД, %	НР	ПО, %	ПД, %	НР	ПО, %	ПД, %	НР	ПО, %	ПД, %	НР
Динамика курса Доллара США															
2	55,6	46,6	0	44,4	40,8	0	55,6	60,6	0						
3				51,8	36,7	0	55,6	47,4	0						
4							55,6	69,6	0	51,9	56,2	0	55,6	69,6	5
5							62,9	59,9	1	62,9	65,6	3	55,6	65,9	6
6													59,3	73,7	2
Динамика курса Евро															
2	70,4	70,6	0	70,4	70,6	0	70,4	70,6	0						
3				70,4	70,6	8	70,4	70,6	0						
4							66,7	62,4	0	51,8	48,2	0	51,9	48,2	0
5							59,3	53,4	0	55,6	49,7	1	55,6	43,9	0
6													51,8	48,2	1
Динамика курса Фунта стерлингов Соединенного королевства															
2	37,1	32,2	0	44,4	29,2	0	44,4	29,2	0						
3				55,6	56,9	0	44,4	42,6	0						
4							70,4	76,2	0	55,6	53,9	0	70,7	76,2	0
5							51,8	52,4	4	66,7	66,9	4	55,6	46,4	0
6													40,7	49,9	4
Динамика курса Японской иены															
2	66,7	70,3	0	66,7	70,3	0	55,6	47,7	0						
3				48,2	49,4	0	55,6	49,9	0						
4							51,8	47,4	1	51,8	47,5	1	48,2	45,3	0
5							48,2	46,1	2	62,9	56,3	5	66,7	68,1	5
6													51,8	49,6	1
Средние значения показателей по четырем валютам															
2	57,4	54,9	0	56,5	52,7	0	56,5	52,1	0						
3				56,5	53,4	2	56,5	52,6	0						
4							61,1	63,9	0,25	52,8	51,4	0,25	56,5	59,9	1,25
5							55,6	52,9	1,75	62,1	59,6	3,25	58,3	56,1	2,75
6													50,9	55,4	2

Таблица 2

Результаты прогнозирования

Курс по отношению к рублю	Модель прогнозирования с использованием сжатия данных		Нейронная сеть		Адаптивная модель прогнозирования временного ряда с неустойчивым характером колебаний		Адаптивная модель экспоненциальной средней		Адаптивная модель линейного роста Брауна		Трендовая линейная модель	
	ПО, %	ПД, %	ПО, %	ПД, %	ПО, %	ПД, %	ПО, %	ПД, %	ПО, %	ПД, %	ПО, %	ПД, %
Доллар	55,56	69,57	55,56	43,88	59,26	54,72	53,57	47,72	28,57	30,16	40,74	46,40
Евро	66,67	62,36	66,67	55,63	44,44	67,30	57,14	58,79	35,71	38,54	48,15	49,25
Фунт	70,37	76,16	62,96	74,26	29,63	75,82	50,00	39,00	57,14	63,40	62,96	75,89
Йена	51,85	47,42	44,44	47,10	62,96	62,77	46,43	39,54	35,71	36,27	37,04	34,14
В среднем	61,11	63,88	57,41	55,22	49,07	65,15	51,79	46,27	39,29	42,09	47,22	51,42

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемая методика, основанная на сжатии данных, может быть использована для построения прогноза направления движения курсов основных валют.

Список литературы

1. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика, 2003. 416 с.
2. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие / Бушманова М.В., Иванова Т.А. и др. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 176 с.
3. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

4. URL: http://www.fit.com.ru/Surveys/Course/Lecture_10.doc.
5. URL: http://www.cbr.ru/currency_base/dynamics.aspx.

Bibliography

1. Lukashin U.P. Adaptive methods of short-term forecasting of time series. M.: Finance and Statistics, 2003. 416 p.
 2. Statistical methods of forecasting: course handbook / Bushmanova M.V., Ivanova T.A. and others. Magnitogorsk: MSTU after G.I.Nosov, 2006. 176 p.
 3. Haikin S. Neural Networks. Complete edition. M.: Viliams, 2006. 1104 p.
 4. URL: http://www.fit.com.ru/Surveys/Course/Lecture_10.doc.
 5. URL: http://www.cbr.ru/currency_base/dynamics.aspx.
-

РЕФЕРАТЫ

Разработка полезных ископаемых

УДК 622.235.2

Калмыков В.Н., Котик М.В., Пергамент В.Х.
Разлет осколков при увеличенном заполнении скважин зарядом ВВ.

При взрывах скважинных зарядов, длиной в 4–50 раз превышающих длину забойки, выявлены завышения в оценках расчетных по ЕПБ ВР зон разлета осколков для скважин с частично свободным надзарядным пространством по сравнению с менее глубокими, но заполненными зарядом и забойкой с такими же длинами и массами их. Оценены условия проявления и величины этих завышений, предложен вариант исключения их при расчетах.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: длины заряда, забойки, свободной части скважины; коэффициенты заполнения скважины зарядом и надзарядной части скважины – забойкой; зона разлета осколков; коэффициент относительного изменения радиуса зон разлета осколков.

УДК 622.765.063:622.33

Петухов В.Н., Лимарев М.С., Южакова О.А.
Исследование влияния элементного состава и строения химических соединений на эффективность их действия при флотации углей.

В работе изучены строение и флотационные свойства гетероциклических соединений с различными гетероатомами. Установлено влияние гетероатомов и молекулярной массы химических соединений на эффективность и селективность процесса флотации углей. Дано теоретическое объяснение изменения флотационных свойств исследованных реагентов в зависимости от строения и молекулярной массы химических соединений. Результаты исследований позволяют наметить основные направления поиска эффективных реагентов из числа гетероциклических соединений.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 4.

Ключевые слова: уголь; флотация; реагенты; гетероциклические химические соединения; эффективность, селективность действия.

УДК 622.27

Паук Л.Г., Джиева А.К. **Разработка методики расчета числа и общей длины пробуренных скважин.**

При скважинной отбойке широкое распространение получило веерное и параллельное расположение взрывных скважин. Коэффициент увеличения длины скважин D_d является величиной примерно постоянной и изменяется от 1,4 до 2.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: веерное и параллельное расположение взрывных скважин, общая длина скважин при веерном и параллельном расположении, коэффициент увеличения длины скважин D_d .

УДК 622.35:622.271.4

Першин Г. Д., Уляков М. С. **Обоснование способов подготовки к выемке блочного природного камня высокой прочности.**

В статье рассматриваются варианты строительства карьера на примере Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов с применением различных вариантов выемочно-погрузочного оборудования: деррик-кран, автокран и погрузчик. Расчеты выполняются для двух различных технологий добычи блоков: шпуровой способ (с помощью клиньев) и алмазно-канатного отделения монолита. А также при различной производительности по гранодиоритам: 12000, 24000 и 36000 м³/год. Для рассмотренных вариантов рассчитаны технико-экономические показатели и критерии эффективности инвестиционных проектов.

Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: природный камень, алмазно-канатное пиление, карьер, погрузчик, деррик-кран, автокран.

УДК 54-4:543.5

Медяник Н.Л. **Исследование продуктов взаимодействия молекул реагента РОЛ с ионами цинка и меди (II) методами ИК-Фурье- и масс-спектрометрии.**

Для практики ионной флотации меди и цинка из рудничных вод синтезирован реагент-собирающий РОЛ. По результатам ИК-Фурье- и масс-спектрометрического анализа установлены структурные и химические формулы продуктов взаимодействия молекул реагента с ионами цинка: $Zn(tPht)_2 \times 4H_2O$, $Zn(MonoEtgl-tPht)_2 \times 4H_2O$ и меди(II): $[Cu(H_2O)_2 (DiEtgl-tPht)_2]$, $[Cu(H_2O)_2 (MonoEtgl-tPht)_2]$, $[Cu(H_2O)_4 (tPht)_2]$ и $[Cu(H_2O)_4 (Etgl)]$.

Ил. 4. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: реагент-собирающий РОЛ, ИК-Фурье-спектрометрия, масс-спектрометрия, катионы цинка и меди(II), продукты взаимодействия, терефталаты.

Металлургия черных, цветных и редких металлов

УДК 658.512:669.1 013

Сулейманов М.Г., Тимиргалеева Л.Ш., Радудь М.А., Шакирова А.К. **Оценка и учет промышленного риска при проектировании металлургических предприятий.**

Предлагаются методики оценки вероятности отказов отдельного вида оборудования и технических систем, позволяющие установить коэффициенты резерва при обосновании производительности и производственной мощности. Приведены расчетные показатели коэффициентов резерва для одного из прокатных станов и доменного цеха ОАО «ММК». Они получены на основании обработки статистических материалов.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: металлургическое предприятие, авария, инцидент, система оборудования, способы повышения устойчивости, риски, вероятность аварийной ситуации.

УДК 669.162.16

Сибгатуллин С. К., Харченко А.С., Чевычелов А.В., Колосов А.В., Гостенин В.А., Пишнограев С.Н. Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи.

Представлены результаты оценки дренажной способности горна доменной печи № 4 ОАО «ММК», оснащенной компактным БЗУ лоткового типа. Выявлено, что при загрузке в доменную печь коксового орешка в количестве 350 кг в подачу фильтрация жидких продуктов плавки через слой кокса соответствовала требованиям. При последующем увеличении его до 650 кг в подачу дренажная способность горна ухудшилась. Коэффициент замены кокса косовым орешком составил 0,68 кг/кг.

Табл. 5. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: коксовый орешек, дренажная способность, кокс.

УДК 622.781.051.7-492.2

Сибгатуллин С.К., Иванов А.В., Решетова И.В. Применение органических связующих компонентов в процессе агломерации железорудного сырья.

Статья посвящена вопросам возможности применения поверхностно-активных веществ в агломерационном процессе.

Рассмотрены теоретические основы действия органических связующих веществ на агломерационную шихту при окомковании. Также представлены результаты экспериментов по спеканию агломерационных шихт с добавкой водных растворов поверхностно-активных веществ.

Табл. 2. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: агломерация, окомкование, интенсификация, прочность агломерата, добавки, поверхностно-активные вещества.

Литейное производство

УДК 621.778.1-419.4

Вдовин К.Н., Кольга М.А. Омеднение проволоки.

В статье рассмотрены вопросы, связанные с возможностью применения новой технологии получения биметаллической проволоки методом протяжки стального сердечника через расплав меди.

Описаны основные этапы технологического процесса омеднения и условия получения качественного покрытия.

Представлены результаты микрорентгеноспектрального анализа образцов биметаллической проволоки, полученной по предложенной технологии.

Ил. 5.

Ключевые слова: биметаллическая проволока, омеднение, микрорентгеноспектральный анализ.

УДК 621.746.628.01

Чернов В.П., Насонов П.Н. Влияние скорости охлаждения на кристаллизацию оксидных сплавов.

Рассмотрена структура и фазовый состав шлакокаменных отливок в зависимости от условий охлажде-

ния, а также получены кривые скорости охлаждения для регулирования кристаллизации отливок в ПГФ.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: скорость охлаждения, оксидный сплав, кристаллизация, структура, фазовый состав.

Обработка металлов давлением

УДК 621.771

Куницын Г.А., Голубчик Э.М., Песин А.М., Салганик В.М., Пустовойтов Д.О. Исследование и моделирование объёмного течения металла при холодной прокатке узкой ленты.

В работе представлены результаты численного моделирования объёмного течения металла при холодной прокатке узкой ленты в зависимости от формы профиля поперечного сечения: прямоугольный, клиновидный, выпуклый, вогнутый. Показано распределение интенсивности деформации и скорости течения металла по ширине ленты при прокатке. Особенностью полученных результатов является наличие чётко выраженного уширения и соответствующей поперечной деформации металла по ширине ленты. Математическое моделирование и анализ особенностей формоизменения ленты при холодной прокатке выполнен с использованием специализированного программного комплекса DEFORM 3D.

Ил. 11. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: холодная прокатка, узкая лента, объёмная деформация, уширение, клиновидность ленты, математическое моделирование.

УДК 621.778.8

Железков О.С., Семашко В.В. Совершенствование конструкции инструмента для обрезки граней головок клеммных болтов.

Проведены теоретические (метод конечных элементов) и экспериментальные исследования процесса обрезки граней головок клеммных болтов (ОСТ 32.161-2000). Установлено, что причиной низкой стойкости инструмента для обрезки граней головок клеммных болтов является возникновение больших локальных давлений срезаемого металла на режущие кромки обрезных матрицы и пуансона. Разработана новая конструкция обрезного инструмента (пат. 88589 РФ на полезную модель), применение которой обеспечивает повышение его стойкости за счет снижения локальных сил давления срезаемого металла на режущие кромки.

Ключевые слова: клеммный болт, обрезка граней, обрезной инструмент, моделирование, метод конечных элементов, локальные нагрузки.

Материаловедение и термическая обработка металлов

УДК 621.783.245:519.233.4:519.872

Девятченко Л.Д., Маяченко Е.П., Корнилов В.Л., Буданов А.П. Оценка ресурсов процесса термообработки рулонов холоднокатаного металла.

Методом планирования эксперимента выявлены значимые факторы при отжиге рулонов холоднокатаного металла (незаполняемость печи по высоте, исходная температура рулонов, толщина полосы), которые влияют на эффективность работы колпаковой печи типа HICON/H₂.

Моделируя случайный процесс отжига рулонов холоднокатаного металла как систему массового обслуживания, установлено, что загрузка печи рулонами металла (сталь 08Ю) сразу после холодной прокатки и при предельной полноте загрузки печи по высоте может повысить эффективность работы печи до 5,4%.

Ил. 2. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова: термообработка рулонов холоднокатаного металла, колпаковая печь, эффективность эксплуатации, планирование эксперимента, дисперсионный анализ, система массового обслуживания (СМО), оценка ресурсов случайного процесса.

УДК 621.785.52

Романенко Д.Н., Гадалов В.Н., Рагулина Л.Г., Трепаков А.В., Ляхов А.В. Нитроцементация стальных изделий в пастообразном карбюризаторе с нагревом в нейтральных соляных ваннах.

Предлагается новый высокоскоростной и высокоэффективный метод цементации, объединяющий преимущества пастообразных и жидких карбюризаторов. Этот способ заключается в нанесении на поверхность деталей нитроцементующей обмазки и, после ее высушивания, нагреве и выдержке этих деталей в нетоксичных нейтральных ваннах. Были разработаны и рекомендованы составы соляных ванн, которые позволили проводить насыщение стали при различных температурах. Важным преимуществом этих соляных ванн является экологическая чистота процесса термической обработки. Эта чистота достигается отсутствием в составе токсичных веществ, оптимальным сочетанием жидкотекучести и испаряемости расплава. Также был приготовлен карбюризатор на основе газовой сажи с добавками желтой кровяной соли и углекислого натрия. Установлено, что, нитроцементация стальных изделий с использованием нитроцементующей углеродно-азотистой обмазки и нагревом в нейтральных соляных ваннах по эффективности не уступает нитроцементации в цианистых ваннах, а с точки зрения экологии значительно безопаснее последней.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: покрытия, цементация, карбюризатор, сталь.

УДК 621.822.6; 621.892.09

Жиркин Ю.В., Пузик Е.А. Аналитическо-экспериментальное определение параметров ЭГД-смазки в подшипниках качения опор рабочих валков стана 2000 горячей прокатки.

Данная статья посвящена эластогидродинамической смазке в подшипниках качения. В статье описывается эксперимент по определению момента сопротивления в подшипнике качения и аналитический метод определения пьезокоэффициента вязкости смазочного материала.

Ил. 9. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: эластогидродинамическая смазка в подшипниках качения, момент сопротивления в подшипниках качения, пьезокоэффициент вязкости смазочного материала.

Стандартизация, сертификация и управление качеством. Методы контроля

УДК 621.97:621.882.6

658.512.004

Закиров Д.М., Осипов Д.С., Гун И.Г., Сабадаш А.В., Овчинников С.В., Майстренко В.В., Мезин И.Ю. Применение логики антонимов для комплексного качества автомобильного крепежа.

Представлены примеры использования методов обеспечения при разработке новых и улучшении существующих конструкций и технологий производства на примере автомобильного крепежа. Предложена методика комплексной квалиметрической оценки результативности сквозных технологий производства крепежных изделий. Методика разработана с использованием математического аппарата и аксиоматики нечеткой логики антонимов для комплексирования единичных и групповых показателей с учетом корреляционной связи и системного характера структуры данного комплексного показателя. Представленные методы были использованы ОАО «БелЗАН» при постановке на производство колесных болтов, фланцевых болтов крепления блока цилиндров, гаек крепления форсунок. Внедрение результатов при поставках крепежа в ОАО «КамАЗ» позволило получить значительный экономический эффект.

Ил.6. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: автомобильный крепеж, методология FMEA, результативность сквозных технологий производства, квалиметрическая комплексная оценка, качество, анализ, эффективность.

УДК 658.562

Клочков Ю.С. Методика оценки уровня качества производственного процесса.

В статье рассматриваются вопросы статистического анализа процессов производства. Предложены методы совершенствования индексов воспроизводимости, которые основаны на расчете потерь в зависимости от удаленности параметра от поля допуска и определения степени влияния $\bar{X}$ и σ .

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: менеджмент качества, индексы воспроизводимости, анализ статистический.

УДК 620.179.16

Разыграев А.Н. Разработка оптимизированного преобразователя для ультразвукового контроля сварных соединений методом тандем.

Получены и численно исследованы формулы акустических трактов ультразвукового контроля изделий методом тандем для моделей дефектов типа «полоса». Для обеспечения полноты контроля сварных соединений оборудования и трубопроводов сложных конструкций с ограниченной контроледоступностью обоснован выбор оптимальных параметров преобразователя «корневой тандем».

Ил. 9. Библиогр. 16 назв.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, специфические дефекты, корневой тандем, акустический тракт, диаграммы направленности.

УДК 539.4

Казанцев А.Г., Караев А.Б., Саньков Н.И., Сугирбеков Б.А. Об измерении твердости переносными твердомерами ударного действия.

В работе рассмотрены некоторые аспекты измерения твердости переносными твердомерами ударного действия, накладывающие ограничения на область их корректного применения. С использованием численных методов проанализированы возможности динамического метода измерения твердости металла тонкостенных оболочек, материалов с неоднородными свойствами по толщине, а также в случаях, когда в контролируемой детали имеются напряжения.

Ил. 16. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: твердость, скорость боя, удар, контактное взаимодействие при ударе, податливость, оболочка, трубопровод, скорость деформации, упрочнение, метод конечных элементов, остаточные напряжения.

Энергетика металлургии, энергосбережение и теплоэнергетика

УДК 621.311.1.004.12

Панова Е.А., Григорьева М.В., Малафеев А.В., Буланова О.В., Игуменцев В.А. Анализ токов и напряжений в режимах несимметричных коротких замыканий в сетях 110–220 кВ Магнитогорского энергоузла.

В статье выполнен анализ токов и напряжений в режимах несимметричных коротких замыканий различных видов в условиях Магнитогорского энергетического узла. Выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на исследованные параметры режима.

Ил. 5. Библ. 2 назв.

Ключевые слова: система электроснабжения, установившийся режим, режим нейтрали, несимметричное короткое замыкание.

УДК 669.154

Нешпоренко Е.Г. Экспериментальное исследование гарниссажного режима регенерации теплоты через перфорированное ограждение установок.

В данной работе на эксперименте исследуется работа перфорированного ограждения в условиях обработки расплавленного материала в реакторах. Целью экспериментального исследования является определение возможности снижения тепловых потерь через ограждение реактора с одновременным образованием гарниссажа, защищающего от воздействия расплавленного материала.

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: энергосбережение, гарниссаж, перфорированное ограждение.

Математические методы в экономике

УДК 336.748:001.891.57

Иванова Т.А. Исследование применения алгоритмов сжатия данных к прогнозированию направления движения курсов валют.

В работе предлагается и экспериментально исследуется метод построения прогноза направления движения курсов основных валют на основе метода сжатия данных, опирающегося на предсказание значения символа с помощью контекстного моделирования.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: методы прогнозирования, временные ряды, курсы валют, алгоритмы сжатия информации.

REPORTS

Mining

UDC 622.235.2

Kalmykov V.N., Kotik M.V., Pergament V.H. Scattering of splinters at the increased filling of hole blast with a charge of explosives.

It was found that at explosions of hole blast charges 4-50 times exceeding the tamping length the zone of splinters scattering calculated in accordance with «Uniform Safety rules at explosive works (RU)» was overestimated for hole blast with partially free over charges space in comparison with shallow ones but filled with a charge and tamping with the same length weight. The authors enumerated the conditions and size of such overestimations and showed how to avoid them.

Fig. 6. Table 1. Bibliogr. 3 names.

Key words: lengths of a charge, tamping, hollow part of a borehole; factors of filling a borehole with a charge and overcharge borehole parts with tamping; the zone of splinters scattering; factor of relative change of radius of zones of splinters scattering.

UDC 622.765.063:622.33

Petuhov V., Limarev M., Ujakova O. The influence of elemental composition and structure of chemical compounds on their efficiency during coals floatation.

The aim of this research work was to study the structure and floatation properties of heterocyclic compounds with various heteroatoms. The influence of heteroatoms and molecular mass of chemical compounds on efficiency and selectivity of the process of coals floatation was established. The article offers theoretical explanation of the changes in floatations properties of the investigated reagents depending on the structure and molecular mass of the chemical compounds. The results of this research work allow us to plan the basic directions of search for effective reagents among heterocyclic compounds.

Fig. 3. Table 1. Bibliogr. 4 names.

Key words: coal; floatation; reagents; heterocyclic compounds; efficiency, selectivity of action.

UDC 622.27

Pauk L.G., Dzhioeva A.K. Development of the calculation procedure of the number and total length of boreholes.

Radial and parallel patterns of blastholes drilling have become common for borehole breaking. Enlargement factor of the borehole length D_d varies within the range of 1.4–2.

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 2 names.

Key words: radial and parallel patterns of blastholes drilling, total borehole length for radial and parallel pattern, enlargement factor of the borehole length D_d .

UDC 622.35:622.271.4

Pershin G. D., Ylyakov M. S. Substantiation of the ways to prepare block strong natural stone for excavation.

In the article the authors consider construction variants of an open cast pit by means of different variants of load-

ing and unloading equipment – a derrick-crane, an autocrane and a loader. Nizhne-Sanarsk granite deposit has been taken as an experimental building site. Calculations have been made for two different technologies of block excavation: wedge mining and diamond rope monolith separation. The article also dwells on such factor as capacity dependence on granite: 12000, 24000 and 36000 m³/year. The authors have also calculated some technical and economical factors as well as investments efficiency criteria for the variants offered.

Fig. 4. Bibliogr. 5 names.

Key words: natural stone, diamond-rope sawing, quarry, loader, derrick, autocrane.

UDC 54-4:543.5

Medyanik N.L. Study of reaction product of ROL reagent molecules with zinc and copper (II) ions using IR-Fourier method and chromatography-mass spectrometry.

A ROL collecting agent was developed for ionic flotation of copper and zinc out of mine waste water. As a result of IR-Fourier analysis and chromatography-mass spectrometry we found structural and chemical formulas of the reaction product of the reagent molecules with zinc ions: $[Zn(H_2O)_4]-(tPht)_2$, $[Zn(H_2O)_4]-(Etgl-tPht)_2$ and copper (II) ions: $[Cu(H_2O)_2]-(DiEtgl-tPht)_2$, $[Cu(H_2O)_2]-(Etgl-tPht)_2$, $[Cu(H_2O)_4]-(tPht)_2$

Fig. 4. Bibliogr. 9 names

Key words: a ROL collecting agent, IR-Fourier method and chromatography-mass spectrometry, zinc and copper (II) cations, reaction products, terephthalates.

Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals

UDC 658.512:669.1 013

Sulejmanov M.G., Timirgaleeva L.S., Radul M.A., Shakirova A.K. Estimation and registration of industrial risk at metallurgical enterprises design.

Techniques of probability estimation of equipment and the technical systems failure are offered. They make it possible to calculate reserve factors at productivity and capacity validation. Design parameters Settlement of reserve factors for one of rolling mills and blast furnaces of JSC "MMK" are given. They were calculated on the basis of statistical data processing.

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 9 names.

Key words: metallurgical enterprise, failure, incident, equipment system, ways of stability increase, risks, probability of an emergency.

UDC 669.162.16

Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Chevychelov A.V., Kolosov A.V., Gostenin V.A., Pishnograev S.N. The influence of coke nut on filtration of melting liquid products in the hearth of the blast furnace.

The evaluation results of the hearth drainage capacity of blast furnace № 4 at OJSC MMK, equipped with a

compact bell-less charging device of chute type are represented here. While charging the coke nut into the blast furnace in the amount of 350 kg per batch the filtration of melting liquid products through the coke layer corresponded to the requirements. When we increased the charging of nut to 650 kg per batch, the drainage capacity of the hearth deteriorated. The changing factor of coke for the coke nut was 0.68 kg/kg.

Table 5. Bibliogr. 4 names.

Key words: coke nut, drainage capacity, coke.

UDC 622.781.051.7-492.2

Sibagatullin S.K., Ivanov A.V., Reshetova I.V. Application of organic binding components in sintering process of iron-ore raw material.

The article is devoted to questions of possible application of surface-active substances during sintering.

In the article theoretical basics of action of organic binding material on sintering charge during pelletizing are considered. Also experimental data of sintering mixture with the additive of water solutions of surface-active substances are represented.

Table 2. Bibliogr. 5 names.

Key words: sintering, pelletizing, intensification, hardness of sinter, additives, surface-active substances.

Foundry Engineering

UDC 621.778.1-419.4

Vdovin K.N., Kolga M.A. Wire coppering.

The questions concerned with the new technology of bimetallic wire production by means of steel wire drawing through the molten copper are examined.

The basic stages of coppering process and conditions of high-quality coating production are described.

Also the article contains the results of microroentgenospectral analysis of composite wire samples manufactured by the proposed method.

Fig. 5.

Key words: bimetallic wire, coppering process, microroentgenospectral analysis.

UDC 621.746.628.01

Chernov V. P., Nasonov P. N. The influence of cooling rate on crystallization of oxide alloys.

The structure and phase structure of slag-stone castings depending on cooling conditions is considered and also the curve cooling rates for regulation of casting crystallisation in SCM are received.

Fig. 6. Table. 1. Bibliogr. 2 names.

Key words: cooling rate, oxide alloy, crystallization, structure, phase structure.

Pressure Treatment of Metals

UDC 621.771

Kunitin G.A., Golubchik E.M., Pesin A.M., Salganik V.M., Pustovoitov D.O. Research and modeling of 3D material flow in cold rolling of narrow strip.

The article gives results of numerical simulation of 3D material flow in cold rolling of narrow strip, depending on the shape of the profile cross-section: rectangular, wedge-shaped, convex and concave. It shows the intensity

distribution of deformation and flow velocity across the width of the metal strip during rolling. A special feature of the results is the existence of explicit broadening and the corresponding lateral deformation of the metal across the width of the strip. Mathematical modeling and analysis of the features of forming strip during cold rolling is made using a specialized software package DEFORM 3D.

Key words: cold rolling, narrow strip, 3D deformation, broadening, wedge-shaped strip, mathematical simulation.

UDC 621.778.8

Zhelezkov O.S., Semashko V.V. Development of construction of instruments for trimming of verges the head of terminal screw-bolts.

Theoretical (finite elements method) and experimental researches of the process of trimming of verges of terminal screw-bolts heads by OST 32.161-2000 are conducted. The reason of low firmness of instrument for trimming verges of screw-bolts heads is the large local pressure of the cut away metal on the matrices and punchon verges. The new construction of edge instrument is developed, its application provides the increase of firmness (patent RUS № 88589 «Instrument for trimming of bar wares heads with a curvilinear supporting surface»).

Key words: terminal screw-bolt, trimming of verges, edge instrument, design, finite elements method, local loads.

Material Science and Thermal Metal Treatment

UDC 621.783.245: 519.233.4: 519.872

Devyatchenko L.D., Mayachenko E.P., Kornilov V.L., Budanov A.P. Estimation of resources of heat treatment process of cold-rolled coils.

The experiment planning method revealed factors significant for annealing coils of cold-rolled metal (spare room in furnaces above the coil, initial temperature of coils, strip thickness) which influence an overall performance of a bell-type furnace HICON/H2.

When modelling a random process of annealing coils of cold-rolled metal as a system of mass service it was established that charging the furnace with coils of metal (steel 08YU) right after cold rolling and at maximum capacity of the furnace can improve the overall performance of the furnace by 5,4%.

Fig. 2. Table 5. Bibliogr. 7 names.

Key words: heat treatment of coils of cold-rolled metal, bell-type furnace, efficiency of operation, experiment planning, analysis of variance, queueing system (QS), the estimation of resources of a random process.

UDC 621.785.52

Romanenko D.N., Gadalog V.N., Ragulina L.G., Trepakov A.V., Ljahov A.B. Neutral salt-bath hardening of steel items in a slurred carburizer.

The new high-speed and highly effective method of cementation uniting advantages of pastelike and liquid carburizers is offered. This way consists in drawing nitro-cement plaster on a surface of details and, after drying, heating and endurance these details in nontoxic neutral baths.

Structures of salinas which have allowed to spend saturation of steel at various temperatures have been developed and recommended. The important advantage of these salinas

is ecological cleanliness of the process of thermal processing.

This cleanliness is reached by absence in structure of toxic substances, an optimum combination of melt flowing and evaporation. Also a carburizer has been prepared on the basis of gas soot with additives of yellow blood salt and carbonic sodium.

It is established that steel products of nitrocementation using nitrocemet carbonic-nitrogenous plaster and heating in neutral salinas by efficiency does not concede nitrocementation in cyanic baths, and from the point of view of ecology they are much safer than the latter.

Fig. 2. Table 1. Bibliogr. 2 names.

Key words: coverings, cementation, carburizer, steel.

UDC 621.822.6; 621.892.09

Zhirkin Y.V., Puzik E.A. Analytical and experimental method used for parameters definition in rolling bearings of the supports of working rollers in the hot rolling mill 2000.

This article is about elasto-hydrodynamic lubrication in the rolling bearing.

Experiments for defining the moment of resistance in the rolling bearing and analytical method for calculating piezocoefficient of oil viscosity are describe here.

Fig. 9. Bibliogr. 4 names.

Key words: elasto-hydrodynamic lubrication in the rolling bearings, moment of resistance in the rolling bearings, piezocoefficient of oil viscosity.

Standardization, Certification and Quality Management. Controll Methods

UDC 621.97:621.882.6
658.512.004

Zakirov D.M., Osipov D.S., Gun I.G., Sabadash A.V., Ovchinnikov S.V., Maystrenko V.V., Mezin I.Yu. The usage of antonym logic for the complex quality of automotive fasteners.

The samples of usage of methods of quality assurance during the inventing new design of fasteners and their manufacturing technologies as well as during the improving of current ones are shown on the automotive fasteners. There was offered the method of complex qualitative impact assessment of through technologies of fasteners production. The method was worked out with usage of mathematical apparatus and axiomatization of antonyms fuzzy logic for complexing of single and group indexes taking into the account the correlation and system character of this complex index value. These methods were used by BelZAN JSC during the arrangement of production of wheel bolts, flange bolts of cylinders block mounting, nuts of injector mounting. The introduction of achieved results has made economical effect during the manufacturing of fasteners for KAMAZ JSC.

Fig. 6. Bibliogr. 9 names.

Key words: automotive fasteners, FMEA methodology, impact of through production technologies, complex qualitative impact assessment, quality, analysis, effectiveness.

UDC 658.562

Klochkov Y.S. Method of quality level evaluation of the manufacturing process.

The article deals with the problems of statistic analysis of manufacturing processes. Methods of capability

index improvements are suggested based on the calculation of losses depending on the parameter distance from the tolerance range and on efficiency of $\bar{X}$ and σ .

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 3 names.

Key words: quality management, repeatability index, statistic analysis.

UDC 620.179.16

Razygraev A.N. Development of the optimized probe for the ultrasonic testing of welding joins by a tandem method.

Formulas of acoustic paths of the ultrasonic testing of products by tandem method for models of defects of «strip» type are received and numerically investigated. To provide the proper control of welding joins of the equipment and pipelines of complex designs with limited controllability the choice of optimum parameters for the «root tandem» converter is given.

Fig. 9. Bibliogr. 16 names.

Key words: ultrasonic examination, specific defects, root tandem, acoustic path, directional patterns.

UDC 539.4

Kazantsev A.G., Karaev A.B., Sankov N.I., Sugirbekov B.A. Hardness measuring with portable impact hardness testing machines.

The article considers some aspects of hardness measuring with portable impact hardness measuring machines that limit the area of their application. The possibility of dynamic method of examination of metal hardness of thin-walled shells, of metals with nonuniform properties and of items with stresses was analized using some quantitative methods.

Fig. 16. Bibliogr. 2 names.

Key words: hardness, head speed, impact, contact interaction during the strike, compliance, shell, pipeline, speed of deformation, hardening, finite element method, locked-up stresses.

Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat Power

UDC 621.311.1.004.12

Panova E.A., Grigoryeva M.V., Malafeyev A.V., Bulanov O.V., Igumenshev V.A. Currents and voltages analysis in terms of Magnitogorsk industrial electric power supply system 110–220 kV networks out-of-balance short circuit operating conditions.

The analysis of currents and voltages in terms of Magnitogorsk industrial electric power supply system out-of-balance short circuit operating conditions is carried out. The most significant factors affecting the investigated operating conditions parameters are revealed.

Fig. 5. Bibliogr. 2 names.

Keywords: electric power supply system, steady-state operating conditions, neutral grounding systems, out-of-balance short-circuit.

UDC 669.154

Neshporenko E.G. Experimental research of garnissage mode of regeneration of heat through the punched protection of installations.

The experiment investigates punched protection in the conditions of processing of melt material in reactors.

The experimental research purpose is to define the possibility of decreasing thermal losses through the protection of the reactor with simultaneous formation of garnissage protecting the furnace from the melt influence.

Fig. 5. Table 2. Bibliogr. 9 names.

Keywords: energy saving, garnissage, punched protection.

Mathematics Methods in Economy

UDK 336.748:001.891.57

Ivanova T.A. Research on data compression algo-

rithm application to forecasting currency exchange rate trend.

In the given paper the method of building up the forecast of main currencies exchange rate trend is proposed and experimentally investigated using data compression method based on symbol forecasting by means of contextual simulation.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 5 names.

Key words: forecasting methods, time series, currency rates, information compression algorithm.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Буданов Анатолий Петрович – ведущий инженер Центральной лаборатории контроля ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. (3519)244687. E-mail: clk@mmk.ru.

Буланова Ольга Викторовна – канд. техн. наук, доц. кафедры электроснабжения промышленных предприятий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: управление режимами систем электроснабжения промышленных предприятий. Тел. (3519)298581. E-mail: logan_b_7@mail.ru.

Вдовин Константин Николаевич – проректор по НР, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)298409. E-mail: vdovin@magtu.ru.

Гадалов Владимир Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Материаловедение и сварочное производство» ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел./факс: (4712)506880. E-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Голубчик Эдуард Михайлович – канд. техн. наук, ведущий инженер-технолог ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. (3519)251731. E-mail: Golub66@mail.ru.

Гостенин Владимир Александрович – начальник аглодоменного отдела ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. (3519)243861. E-mail: kanina@mmk.ru.

Григорьева Мария Викторовна – инженер ОАО «Южуралэлектромонтаж», г. Магнитогорск. Направление исследований: расчет и анализ режимов несимметричных коротких замыканий систем электроснабжения промышленных предприятий. Тел. (3519)298581.

Гун Игорь Геннадьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298431. E-mail: goun@belmag.ru.

Девятченко Леонид Дмитриевич – канд. техн. наук, доц. кафедры математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)296524. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Джиоева Ада Константиновна – канд. техн. наук, и.о. доц. кафедры технологии разработки месторождений Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), г. Владикавказ. Направление исследований: геотехнология. E-mail: adadak@mail.ru.

Железков Олег Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры теоретической механики и сопротив-

ления материалов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298427. E-mail: ferumoff@mail.ru.

Жиркин Юрий Васильевич – канд. техн. наук, проф. кафедры механического оборудования металлургических заводов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследования: изучение области реализации режима эластогидродинамической смазки в неконформных парах трения. Тел. (3519)298507. E-mail: Girkin@yandex.ru.

Закиров Дильфат Миннихметович – д-р техн. наук, председатель совета директоров ОАО «БелЗАН», г. Белебей. E-mail: ophosh@belzan.ru; ovchinnikov@belzan.ru.

Иванов Алексей Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: доменное и агломерационное производство. Тел. 8(3519)298430.

Иванова Татьяна Александровна – канд. экон. наук, доц. кафедры математических методов в экономике ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований – экономика. E-mail: econom@magtu.ru.

Игуменцев Валентин Алексеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры электроснабжения промышленных предприятий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: управление режимами систем электроснабжения промышленных предприятий. Тел. (3519)298581.

Казанцев Александр Георгиевич – д-р техн. наук, зав. отделом прочности ОАО НПО «ЦНИИТ-МАШ», г. Москва. Тел. (495)6758905. E-mail: kazantsev_a_g@mail.ru.

Калмыков Вячеслав Николаевич – проф., д-р техн. наук, заведующий кафедрой подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298466.

Караев Алибек Басханукович – канд. техн. наук, зав. лабораторией ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва. Тел. (495)6758905.

Клочков Юрий Сергеевич – канд. техн. наук, доц. Поволжского регионального отделения Академии проблем качества РФ, г. Самара. Направление исследований: менеджмент качества. Тел. (846)2674321. E-mail: assistantssau@mail.ru.

Колосов Алексей Васильевич – и.о. заместителя начальника технологического управления ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. (3519)246791. E-mail: kanina@mmk.ru.

Кольга Мария Анатольевна – аспирантка кафедр

ры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: kolga@mmk.ru.

Корнилов Владимир Леонидович – канд. техн. наук, заместитель начальника Центральной лаборатории контроля ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. (3519)245537 E-mail: vkornilov@mmk.ru.

Котик М.В. – горный инженер, аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Куницын Глеб Александрович – канд. техн. наук, начальник центральной лаборатории контроля ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: kunitsyn_gleb@mail.ru.

Лимарев Михаил Сергеевич – аспирант кафедры химической технологии неметаллических материалов и физической химии ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: limarevm@mail.ru.

Ляхов Андрей Владимирович – аспирант кафедры «Материаловедение и сварочное производство» ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел./факс: (4712)587104. E-mail: svarka-kstu@mail.ru.

Майстренко Виктор Владимирович – зам. генерального директора – технический директор ОАО «БелЗАН», г. Белебей. E-mail: ophosh@belzan.ru.

Малафеев Алексей Вячеславович – канд. техн. наук, доц. кафедры электроснабжения промышленных предприятий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: управление режимами систем электроснабжения промышленных предприятий. Тел. (3519)298581. E-mail: malapheev_av@mail.ru.

Маяченко Елена Петровна – ст. преп. кафедры математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)296524. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Медяник Надежда Леонидовна – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой химии, технологии упаковочных производств ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519)298522, 298533. E-mail: chem.@magtu.ru.

Мезин Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологий, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298431. E-mail: i.mezin-l@mail.ru.

Насонов Павел Николаевич – аспирант кафедры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298419. E-mail: Nasononov0207@mail.ru.

Нешпоренко Евгений Григорьевич – ассистент кафедры теплотехнических и энергетических систем ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: разработка энергетически эффективных решений

промышленных объектов. E-mail: neshporenkoeg@mail.ru.

Овчинников Сергей Васильевич – генеральный директор ОАО «БелЗАН», г. Белебей. E-mail: ovchinnikov@belzan.ru.

Осипов Дмитрий Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298431. E-mail: dmitry_osipov@mail.ru.

Панова Евгения Александровна – аспирант, ассистент кафедры электроснабжения промышленных предприятий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: моделирование и анализ несимметричных аварийных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий. Тел. (3519)298581. E-mail: panova.ea@gmail.com.

Паук Лев Георгиевич – ст. преп. кафедры технологии разработки месторождений Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), г. Владикавказ. Направление исследований – геотехнология. E-mail: adadak@mail.ru.

Пергамент Владимир Хаимович – старший научный сотрудник кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298466.

Першин Геннадий Дальтонович – д-р техн. наук, проф. кафедры механизации и электрификации горных производств ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Pshenichnaya_e@mail.ru.

Песин Александр Моисеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)220041. E-mail: pesin@bk.ru.

Петухов Василий Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой химической технологии неметаллических материалов и физической химии ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mgtu@magtu.ru.

Пишнограев Сергей Николаевич – начальник лаборатории чугуна ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. (3519)246694. E-mail: kanina@mmk.ru.

Пузик Екатерина Александровна – аспирант кафедры механического оборудования металлургических заводов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследования: изучение области реализации режима эластогидродинамической смазки в неконформных парах трения. Тел. (3519)298507. E-mail: ekshalimova@mail.ru.

Пустовойтов Денис Олегович – аспирант кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)220041. E-mail: pustovoirov_den@mail.ru.

Рагулина Людмила Георгиевна – аспирант ка-

федры «Материаловедение и сварочное производство» ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел./факс: (4712)587104. E-mail: svarka-kstu@mail.ru.

Радуль Марина Александровна – аспирант кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Разыграев Антон Николаевич – старший научный сотрудник ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва. Направление исследований: технология неразрушающего контроля. Тел.: (495)6758750, (495)6771011. E-mail: razygraev-a@cniitmash.ru.

Решетова Ирина Валерьевна – аспирант кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: доменное и агломерационное производство. Тел. (3519)298430. E-mail: Irareshetova@rambler.ru.

Романенко Дмитрий Николаевич – канд. техн. наук, и.о. зав. кафедрой «Материаловедение и сварочное производство» ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел./факс: 8(4712)587104. E-mail: Romanenko-kstu46@yandex.ru.

Сабадаш Алексей Владиславович – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298431. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Салганик Виктор Матвеевич – д-р техн. наук, проф., декан факультета технологий и качества, зав. кафедрой обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298506. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Саньков Николай Иванович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва. Тел. (495)6758905.

Семашко Владимир Владимирович – аспирант кафедры теоретической механики и сопротивления материалов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298427. E-mail: tsentral@mgn.ru.

Сибгатуллин Салават Камилович – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный техни-

ческий университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: доменное и агломерационное производство. Тел. (3519)298430. E-mail: 10skt@mail.ru.

Сугирбеков Балат Азимбаевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва. Тел. (495)6758905.

Сулейманов Марат Гизатович – канд. техн. наук, проф. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Тимиргалеева Лилия Шамилевна – канд. техн. наук, доц. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Трепачков Алексей Викторович – аспирант кафедры «Материаловедение и сварочное производство» ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел./факс: (4712)587104. E-mail: svarka-kstu@mail.ru.

Уляков Максим Сергеевич – аспирант кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: maxim-atlet@yandex.ru.

Харченко Александр Сергеевич – аспирант кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: sanchomagn@mail.ru.

Чевычелов Андрей Витальевич – начальник доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. (3519)243877. E-mail: kanina@mmk.ru.

Чернов Виктор Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298530. E-mail: tchernov@magtu.ru.

Шакирова Алина Камилевна – аспирант кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Южакова Олеся Александровна – аспирантка кафедры химической технологии неметаллических материалов и физической химии ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298514.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Budanov Anatoliy Petrovich – principal engineer of Central Laboratory of control of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works». Phone: (3519)244687. E-mail: clk@mmk.ru.

Bulanova Olga Viktorovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of industrial works electric power supply at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: handle of industrial electric power supply systems. Phone: (3519)298581. E-mail: logan_b_7@mail.ru.

Chernov Victor Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the department of Electrometallurgy and foundry manufacture of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298530. E-mail: tchernov@magtu.ru.

Chevychelov Andrey Vitalyevich – head of the blast furnace plant of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works».

Devyatchenko Leonid Dmitrievich – Candidate of technical sciences, Associate Professor of the department of mathematics at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298524. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Gadalov Vladimir Nikolaevich – Doctor of technical sciences, Professor of the department of «Materials science and welding», South West State University. The expert in the field of materials technology and thermal processing of metals and alloys. Tel./fax: (4712)506880. E-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Gioeva Ada Konstantinovna – Cand. of Sc., Fulfilling duties of the assistant professor of «The department of the Deposit Development Technology at the North Caucas Mining Institute» (State Technological University), Vladikavkaz. E-mail: adadak@mail.ru.

Golubchik Edvard Mikhailovich – Candidate of Technical sciences, principal engineer of Central Laboratories of control of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works». Phone: (3519)25-17-31. E-mail: Golub66@mail.ru.

Gostenin Vladimir Alexandrovich – head of the sinter and iron department of the Central Laboratory of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works». E-mail: kani-na@mmk.ru.

Grigoryeva Maria Viktorovna – engineer of JSC «Yuzhuralelectromontazh». Research field: calculation and analysis of unsymmetrical short-circuits modes of industrial electric power supply systems. Phone: (3519)298581.

Gun Igor Gennadievich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of technologies, certification and service of automobiles at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298431. E-mail: gown@belmag.ru.

Igumenshev Valentine Alekseevich – Candidate of

Technical Sciences, Associate Professor of the department of industrial works electric power supply at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: handle of industrial electric power supply systems. Phone: (3519)298581.

Ivanov Aleksey Viktorovich – Candidate of technical sciences, Associate Professor of the department of ferrous metallurgy of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Field of research: blast furnace process and sintering manufacture. Phone: (3519)298430.

Ivanova Tatyana Aleksandrovna – candidate of economics, assistant professor of the department of mathematical methods in economics of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Field of research – economics. E-mail: econom@magtu.ru.

Kalmykov Vyacheslav Nikolaevich – Prof., Doctor of Technical Sciences, Head of the department of underground mining of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Karaev Alibek Bashanukovich – Candidate of Technical Sciences, Head of a laboratory at OJSC Scientific Production Association «CNIITMACH», Moscow.

Kazantsev Aleksandr Georgievich – Doctor of Technical Sciences, Head of the department of hardness at OJSC Scientific Production Association «CNIITMACH», Moscow. Phone: (495)6758905. E-mail: kazantsev_a_g@mail.ru.

Kharchenko Alexander Sergeevich – a post-graduate student of the department of ferrous metallurgy of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: sanchomagn@mail.ru.

Klochkov Yuri Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Volga Region Office of Academy of Quality Problems of the Russian Federation. Research field: quality management. Phone: (846)2674321. E-mail: assistantssau@mail.ru.

Kolga Maria Anatol'evna – a post-graduate student of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Kolosov Alexey Vsilyevich – acting deputy manager of duties of the technological department of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works», E-mail: kanina@mmk.ru.

Kornilov Vladimir Leonidovich – Candidate of technical sciences, the deputy Chief of the Central Laboratory of control of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works». Phone: (3519)245537. E-mail: vkornilov@mmk.ru.

Kotik M.V. – mining engineer, post-graduate student

of the department of underground mining of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Kunitsin Gleb Alexandrovich – Candidate of Technical sciences, director of Central Laboratories of control of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works». E-mail: kunicyn_gleb@mail.ru.

Limarev Mihail Sergeevich – post-graduate student, the department of chemical technology of nonmetallic materials and physical chemistry of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: limarevm@mail.ru.

Ljahov Andrey Vladimirovich – a postgraduate student of the department «Materials science and welding», South West State University. The expert in the field of materials technology and thermal processing of metals and alloys. Tel./fax: (4712)587104. E-mail: svarka-kstu@mail.ru.

Malafeyev Alexey Vjacheslavovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of industrial works electric power supply at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: handle of industrial electric power supply systems. Phone: (3519)298581. E-mail: malapheev_av@mail.ru.

Mayachenko Elena Petrovna – engineer, senior lecturer of the department of mathematics at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298524. E-mail: mgtu@magtu.ru

Maystrenko Victor Vladimirovich – Deputy of General Director – Technical Director of BelZAN JSC. E-mail: ophosh@belzan.ru.

Medyanik Nadezda Leonidovna – Candidate of technical sciences, head the department of the chemistry, technologies of packing. SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298522. E-mail: chem.@magtu.ru.

Mezin Igor Yurievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of technologies, certification and service of automobiles at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298431. E-mail: i.mezin-l@mail.ru.

Nasonov Paul Nikolaevich – a post-graduate student of the department of Electrometallurgy and foundry manufacture of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298419. E-mail: Nasononov0207@mail.ru.

Neshporenko Evgenie Grigorevich – a lecturer of the department of heat engineering and power systems at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: development of energy effective solutions for industrial enterprises. E-mail: neshporenkoeg@mail.ru.

Osipov Dmitry Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of technologies, certification and service of automobiles at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298431. E-mail: dmitry_osipov@mail.ru.

Ovchinnikov Sergey Vasilyevich – General Director of BelZAN JSC. E-mail: ovchinnikov@belzan.ru.

Panova Eugenia Aleksandrovna – a post-graduate student of the department of industrial works electric power supply at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: mathematical simulation and analysis of industrial electric power supply systems unsymmetrical emergency modes. Phone: (3519)298581. E-mail: panova.ea@gmail.com.

Pauk Lev Georgievich – senior lecturer of «The department of the Deposit Development Technology at the North Caucas Mining Institute» (State Technological University), Vladikavkaz. E-mail: adadak@mail.ru.

Pergament Vladimir Haimovich – the senior scientific officer the department of underground mining of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Pershin Gennadiy Daltonovitch – Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Mechanization and electrification of mining technologies» of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: Pshenichnaya_e@mail.ru.

Pesin Alexander Moiseevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Metal Forming» of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519)220041. E-mail: pesin@bk.ru.

Petuhov Vasily Nikolaevich – Prof., Doctor of Technical Sciences, Head of the department of chemical technology of nonmetallic materials and physical chemistry of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: mgtu@magtu.ru.

Pishnograyev Sergey Alexandrovich – head of the iron laboratory of the Central Laboratory of OJSC «Magnitogorsk Iron & Steel Works». E-mail: kanina@mmk.ru.

Pustovoitov Denis Olegovich – postgraduate student of the department «Metal Forming» at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)220041. E-mail: pustovoitov_den@mail.ru.

Puzik Kate – a postgraduate student of the department of mechanical equipment of metallurgical plants at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: analysis of the area of elasto-hydrodynamic lubrication in the non-conforming pairs of friction. Phone: (3519)298507.

E mail: ekshalimova@mail.ru.

Radul Marina Aleksandrovna – a post-graduate student of the department of industrial ecology and life safety of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Ragulina Lyudmila Georgievna – a postgraduate student of the department of «Materials science and welding», South West State University. The expert in the field of materials technology and thermal processing of metals and alloys. Tel./fax: (4712)587104. E-mail: svarka-kstu@mail.ru;

Razygraev Anton Nikolaevich – senior research officer of Central Research Institute for Machine-Building Technology, Moscow. Research field: Nondestructive Examination. Phone: (495)6758750, (495)6771011. E-mail: razygraev-a@cniitmash.ru.

Reshetova Irina Valerjevna – a post-graduate student of the department of ferrous metallurgy of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Field of research: blast furnace process and sintering manufacture. Phone: (3519)298430. E-mail: Irareshetova@rambler.ru.

Romanenko Dmitry Nikolaevich – Candidate of technical sciences fulfilling duties The Head of the department of «Materials science and welding», South West State University. The expert in the field of materials technology and thermal processing of metals and alloys. Tel./fax: (4712)587104. E-mail: Romanenko-kstu46@yandex.ru;

Sabadash Alexey Vladislavovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of technologies, certification and service of automobiles at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298431. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Salganik Victor Matveevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department «Metal Forming», Dean of the Technology and Quality faculty at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298506. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Sankov Nikolai Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, senior research officer at OJSC Scientific Production Association «CNIITMACH», Moscow.

Semashko Vladimir Vladimirovich – a post-graduate student of the department of theoretical mechanics and strength of materials at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298427. E-mail: tsentral@mgn.ru.

Shakirova Alina Kamilevna – a post-graduate student of the department of industrial ecology and life safety of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Sibagatullin Salavat Kamillovich – Doctor of

Technical Sciences, Professor of the department of ferrous metallurgy of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: 10skt@mail.ru.

Sugirbekov Balat Azimbaevich – Candidate of Technical Sciences, senior research officer at OJSC Scientific Production Association «CNIITMACH», Moscow.

Sulejmanov Marat Gizzatovich – Candidate of technical sciences, Professor of the department of industrial ecology and life safety of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Timirgaleeva Lilija Shamilevna – Candidate of technical sciences, a senior lecturer of the department of industrial ecology and life safety of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298488. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Trepakov Alexey Viktorovich – a postgraduate student of the department «Materials science and welding», South West State University. The expert in the field of materials technology and thermal processing of metals and alloys. Tel./fax: (4712)587104. E-mail: svarka-kstu@mail.ru;

Ujakova Olesya Aleksandrovna – post-graduate student, the department of chemical technology of non-metallic materials and physical chemistry of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Vdovin Konstantin Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, the Head of the department of Electrometallurgy and foundry manufacture, the pro-rector on scientific work of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298409. E-mail: vdovin@magtu.ru.

Ylyakov Maxim Sergeevich – a post graduate student of the department «Open mining of mineral deposits» of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: maxim-atlet@yandex.ru.

Zakirov Dildat Miniyaikhetovich – Doctor of Technical Sciences, Chairman of the Board of Directors of BELZAN JSC. E-mail: ophosh@belzan.ru; ovchinnikov@belzan.ru.

Zhelezkov Oleg Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the department of theoretical mechanics and strength of materials at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298427. E-mail: ferumoff@mail.ru.

Zhirkin Yuriy Vasiljevich – Candidate of technical sciences, Professor of the department of mechanical equipment of metallurgical plants at SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: analysis of the area of elasto-hydrodynamic lubrication in the nonconforming pairs of friction. Phone: (3519)298507. E-mail: Girkin@yandex.ru.