

# **ВЕСТНИК**

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



**3.2010**

# ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного  
технического университета им. Г. И. Носова

№ 3 (31) сентябрь 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. начальника техотдела Молдавского металлургического завода, д-р техн. наук;

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

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

#### Редакционная коллегия:

##### Главный редактор:

*Г.С. Гун* – проф., д-р техн. наук.

##### Заместитель:

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

##### Члены редколлегии:

*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.И. Лукьянов* – проф., д-р техн. наук;

*А.М. Песин* – проф., д-р техн. наук;

*С.И. Платов* – проф., д-р техн. наук;

*В.М. Салганик* – 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:

*Т.С. Кузнецова* – доц., канд. техн. наук;

*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 21.09.2010.

Заказ 687. Тираж 500 экз. Цена свободная.



# VESTNIK

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

**№ 3 (31) September 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-ichiro Mori* – Professor Department of Production Systems Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan.

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

## **Editorial staff**

### **Editor-in-chief:**

*G. S. Gun* – Prof., D. Sc.

### **Deputy chief editor:**

*M. V. Chukin* - Prof., D.Sc.

### **Members of the editorial staff:**

*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. I. Luk'yanov* - Prof., D.Sc.

*S. I. Platov* - Prof., D.Sc.

*V. M. Salganik* - Prof., D.Sc.

*A.M. Pesin* – 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:**

*T. S. Kuznetsova* – Assoc. Prof., Ph.D.

*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 21.09.2010.

Order 687. Circulation – 500 items. Free price.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Разработка полезных ископаемых.....</b>	<b>5</b>
<i>Гавришиев С.Е., Бурмистров К.В., Кидяев В.А.</i> Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений.....	5
<i>Мельников И. Т., Суоров А.И., Шелковникова А.А.</i> Полевые исследования донных отложений прудковой зоны хвостохранилища ОАО «Ванадий» (Качканарский ГОК) .....	7
<i>Паук Л.Г., Джиоева А.К.</i> Определение наиболее рациональных способов отбойки.....	11
<i>Хлусов А.Е.</i> К определению рациональной толщины бетонной крепи горизонтальных выработок, пройденных в неустойчивых породах .....	13
<b>Металлургия черных, цветных и редких металлов. Литейное производство.....</b>	<b>16</b>
<i>Сибатуллин С.К., Майорова Т.В.</i> К расчету показателей хода доменного процесса при повышенном общем перепаде давления газов .....	16
<i>Казаков А.С., Столяров А.М.</i> Влияние внутреннего охлаждения роликов ЗВО МНЛЗ на теплоотвод от слябовой непрерывно-литой заготовки.....	18
<i>Чернов В.П., Селиванова Е.А.</i> Исследование свойств огнеупорных суспензий, используемых для керамических форм при литье по выплавляемым моделям .....	21
<b>Обработка металлов давлением.....</b>	<b>26</b>
<i>Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Бирюнт В.С., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Столяров А.В., Усков И.В., Шубаков А.П., Бабушкин О.В.</i> Исследование технологии получения проволоки из сплавов на основе золота.....	26
<i>Медведев Е.Б., Барышников М.П.</i> Закономерности влияния зон затрудненной деформации на формоизменение биметаллических композиций при холодном прямом выдавливании .....	28
<b>Материаловедение и термическая обработка металлов .....</b>	<b>32</b>
<i>Панов А.Г.</i> Зависимость ударной вязкости литых Fe-Mg-Ni модификаторов от морфологии микроструктуры .....	32
<i>Казанцев А.Г., Рымкевич А.И., Силаев А.А., Вовилкин А.Х., Кононов Д.А., Тихонов Д.С.</i> Сравнительный анализ характеристик механических свойств и трещиностойкости металла годных и забракованных по прозвучиваемости осей колесных пар .....	35
<b>Наноматериалы и нанотехнологии.....</b>	<b>42</b>
<i>Каменева А.Л.</i> Установление корреляционной связи процесса формирования пленок на основе Ti-Al-N методом электродугового испарения с процессами, протекающим на поверхности испаряемых катодов ....	42
<b>Моделирование технологических процессов .....</b>	<b>45</b>
<i>Басин М.Е., Бояринов М.Г., Колмогоров Г.Л.</i> Методика моделирования упругопластического деформирования длинномерного изделия в режиме гидродинамического трения .....	45
<i>Беланков А.Б., Гитман М.Б., Столбов В.Ю.</i> Трехуровневая модель формирования структуры металла при кристаллизации с применением сеточных клеточных автоматов .....	51
<i>Анципов А.В., Анципов А.В. (мл.), Слободянский М.Г., Губин А.С., Русанов В.А., Чекалин И.Ю., Анципов В.П.</i> Прогнозирование надежности трибосопряжений на основе термодинамического анализа процесса трения.....	54
<i>Чернецкая И.Е., Исаев Е.А.</i> Вероятностная модель увеличения массы гранул.....	60
<b>Экономика, управление и рынок продукции. Право .....</b>	<b>64</b>
<i>Абилова М.Г.</i> Активизация репродуктивного труда в России: методы оценки эффективности процесса и их реализация .....	64
<i>Немцев В.Н., Дерябин А.В., Дерябина А.В.</i> Неравномерность текущих доходов как фактор риска развития современного предприятия.....	67
<i>Поликарпова М.Г.</i> Экономико-математический анализ интеграционной деятельности секторов экономики РФ .....	73
<i>Журавин С.Г., Иванушкина И.С.</i> Особенности цикличности страхового рынка Российской Федерации .....	77
<i>Субботина Е.В.</i> Критерии установления пределов осуществления субъективных гражданских прав.....	81
<b>Рефераты .....</b>	<b>85</b>
<b>Reports.....</b>	<b>89</b>
<b>Сведения об авторах .....</b>	<b>92</b>
<b>The information about the authors .....</b>	<b>95</b>

## TABLE OF CONTENTS

<b>Mining</b> .....	<b>5</b>
<i>Gavrishev S.E., Bumistrov K.V., Kidyayev V.A.</i> The use of advantages offered by combined rock transport at the open cast-underground mining.....	5
<i>Melnikov I.T., Surov A.I., Shelkownikova A.A.</i> Field investigations of pond-zone tail-storing of OJSC (Open Joint Stock Company) “Vanadyi” (Kachkanar MCGE (Mountain Concentrate Group of Enterprises)) ground deposits.....	7
<i>Pauk L.G., Dzhioeva A.K.</i> Definition of rational ways of ore breaking.....	11
<i>Khlusov A.E.</i> On determination of rational thickness of concrete support in horizontal mine workings driven in the unstable rocks.....	13
<b>Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals. Foundry engineering</b> .....	<b>16</b>
<i>Sibatullin S., Majorova T.</i> To Calculation of indicators of a course of blast furnace process at the raised general pressure difference of gases.....	16
<i>Kazakov A.S., Stolyarov A.M.</i> The influence of internal roller cooling of secondary cooling zone on continuously cast slab. ....	18
<i>Chernov V.P., Selivanova E.A.</i> The study of properties of fire-resistant suspensions used for ceramic forms at investment casting. ....	21
<b>Pressure Treatment of Metals</b> .....	<b>26</b>
<i>Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Biron V.S., Lopatina E.S., Lebedeva O.S., Stolyarov A.V., Uskov I.V., Shubakov A.P., Babushkin O.V.</i> Research of technology of wire production from gold alloys.....	26
<i>Medvedev E.B., Baryshnikov M.P.</i> The influence of the hindered deformation zone on the plastic form change the bimetallic compositions during cold direct extrusion.....	28
<b>Material science and thermal metal treatment</b> .....	<b>32</b>
<i>Panov A.G.</i> Dependence of impact elasticity of cast Fe-Mg-Ni modifying agents on the microstructure morphology. ....	32
<i>Kazantsev A.G., Rymkevich A.I., Silaev A.A., Vopilkin A.H., Kononov D.A., Tihonov D.S.</i> Comparative analysis of characteristics of mechanical properties and fracture strength of metal in serviceable axles of wheel pairs and the ones that were rejected after the sonic test.....	35
<b>Nanomaterials and nanotechnology</b> .....	<b>42</b>
<i>Kameneva A.L.</i> Correlation between Ti-Al-N film forming process by electric arc evaporation and processes on the surface of vaporable cathode.....	42
<b>Modeling of technological processes</b> .....	<b>45</b>
<i>Basin M.E., Boyarshinov M.G., Kolmogorov G.L.</i> Simulation methodic of the elastoplastic drawing of long-sized product in hydrodynamic-friction regime. ....	45
<i>Belankov A.B., Gitman M.B., Stolbov V.Y.</i> Three-level model of metal structure forming during solidification using mesh cellular automaton.....	51
<i>Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Slobodianskiy M.G., Gubin A.S., Rusanov V.A., Chekalin I.Y., Antsupov V.P.</i> Forecasting the safety of tribological conjunction based on thermodynamic analysis of friction process.....	54
<i>Chernetskaya I.E., Isaev E.A.</i> Probabilistic model of granule mass growth. ....	60
<b>Economics, management and production market. Law</b> .....	<b>64</b>
<i>Abilova M.G.</i> Activization of reproductive labour in Russia: evaluation methods of process efficiency and their realization.....	64
<i>Nemtsev V.N., Derjabin A.V., Derjabina A.V.</i> Instability of current incomes as risk factor for development of contemporary enterprise. ....	67
<i>Polikarpova M.G.</i> Economic and mathematical analysis of the integration activities of the economic sectors of the Russian Federation. ....	73
<i>Juravin S.G., Ivanushkina I.S.</i> Recurrence of the Russian Federation insurance market. ....	77
<i>Subbotina E.V.</i> Criteria of establishing the limits of subjective civil rights. ....	81
<b>Рефераты</b> .....	<b>85</b>
<b>Reports</b> .....	<b>89</b>
<b>Сведения об авторах</b> .....	<b>92</b>
<b>The information about the authors</b> .....	<b>95</b>

## РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.32.013.3

Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Кидяев В.А.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ КАРЬЕРНОГО КОМБИНИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В настоящее время наиболее распространенным видом транспорта на карьерах является автомобильный, на его долю приходится около 70% перевозок всей горной массы. Он автономен и мобилен, что особенно важно для стесненных условий разработки, которые возникают в глубоких карьерах. Многими исследованиями доказано, что использование автомобильного транспорта целесообразно до глубины 150 м при расстоянии транспортирования внутри карьера до 3–4 км. При увеличении глубины открытой разработки и расстояния откатки свыше указанных величин технико-экономические показатели автомобильного транспорта существенно ухудшаются, и целесообразным является переход на комбинированный транспорт. Наиболее перспективным считается комбинирование автомобильного транспорта с конвейерным и скиповым. Однако, несмотря на это, многие предприятия эксплуатируют автотранспорт и на гораздо больших глубинах. Руководители предприятий предпочитают не прибегать к реконструкции карьера ввиду того, что изменение вида транспорта в карьере сопровождается значительными капиталовложениями, период окупаемости которых может превышать срок отработки запасов открытым способом.

Так, многие карьеры, разрабатывающие крупные месторождения, на данный момент находятся на стадии доработки или близки к ней. Отработка законтурных запасов на таких месторождениях предусматривается подземным способом. Одним из перспективных способов вскрытия законтурных запасов является вскрытие с использованием карьера в качестве вскрывающей выработки для подземного рудника, что позволяет сократить срок строительства подземного рудника на 1–2 года и получить дополнительный доход 7–9% по сравнению с традиционными способами строительства подземного рудника [1]. При этом для доставки полезного ископаемого на поверхность будут использоваться существующие в карьере автомобильные съезды и автосамосвалы. Возможность изменения схемы вскрытия и соответственно вида транспорта на таких карьерах даже не рассматривается, несмотря на то, что использование автомобильного транспорта является неэффективным уже при доработке нижних горизонтов глубоких карьеров.

Для повышения эффективности комбинированной разработки месторождений были проведены исследования по изменению схемы вскрытия на стадии дора-

ботки карьеров с учетом последующей доработки месторождений подземным способом.

В ходе исследований рассматривалось изменение схемы вскрытия карьеров глубиной до 500 м со схемы вскрытия наклонными траншеями (уклон 80%) на комбинированную схему вскрытия наклонными и крутыми траншеями (уклон 325%). Соответственно действующий на карьере автомобильный транспорт изменялся на комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт для вывоза горной массы из карьера, а затем руды с подземного рудника.

Цель исследований – определить, при каких условиях автомобильно-конвейерный транспорт будет наиболее эффективно использоваться на протяжении всего периода доработки месторождения.

При расчете автомобильно-конвейерного транспорта использовались показатели стоимости строительства, приведенные в [2]. Так как приведенные показатели стоимости справедливы для 1985 года, то полученные результаты приводились к настоящему периоду времени (2010 г.) через переводные коэффициенты.

Годовой экономический эффект от внедрения новой техники определялся, руб. [3]:

$$\Delta = [C_1 + E_n K_1] - [C_2 + E_n (K_2 + K_y)], \quad (1)$$

где  $C_1$ ,  $C_2$  – годовые эксплуатационные расходы до внедрения новой техники и после, руб.;  $K_1$ ,  $K_2$  – стоимость производственных фондов действующего предприятия до внедрения новой техники и после, руб.;  $K_y$  – неамортизируемая часть стоимости ликвидируемых производственных фондов, руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принят равным  $E_n=0,08$  [4].

В методике [5] принято, что при внедрении новой техники на действующем предприятии должен быть решен вопрос об основных фондах, неиспользуемых при замене старой техники. Учитывая, что автосамосвалы будут эффективно использованы при автомобильно-конвейерном транспорте,  $K_u$  принимаем равным 0. Таким образом, формула (1) примет вид:

$$\Delta = C_1 - E_n K_1 - C_2 + E_n K_2, \quad (2)$$

Введение конвейерного подъемника считается целесообразным при производительности по горной массе более 5 млн т в год, при этом срок окупаемости капитальных вложений находится в пределах от 1,5 до 5 лет [6].

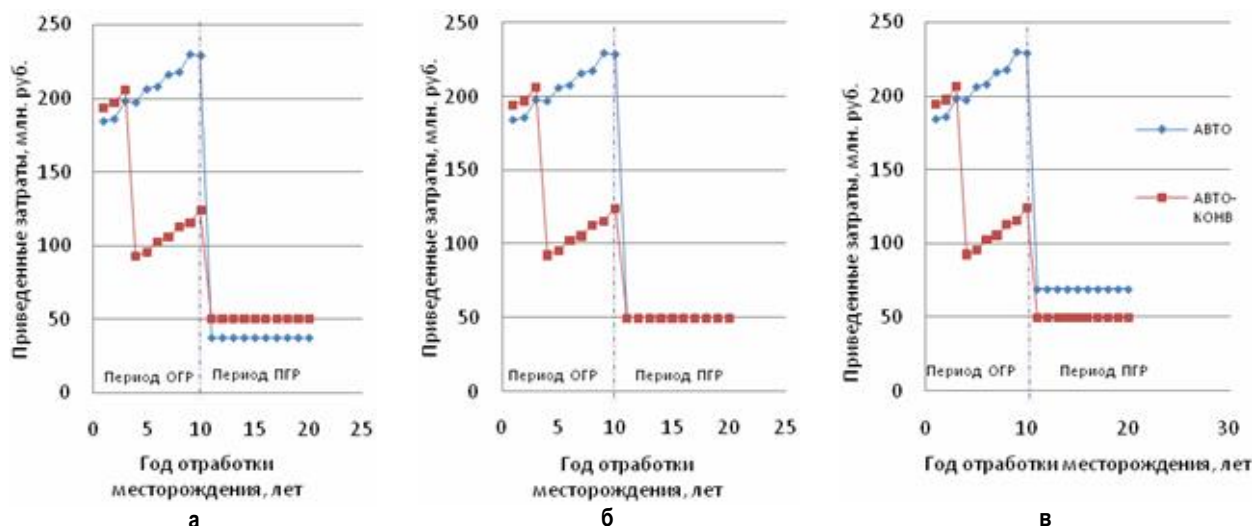


Рис. 1. Зависимость изменения приведенных затрат по годам отработки при: а –  $Q_{п}/Q_{к}=0,2$ ; б –  $Q_{п}/Q_{к}=0,3$ ; в –  $Q_{п}/Q_{к}=0,4$

В работе рассмотрены два варианта использования конвейерного подъемника в карьере – подземном руднике:

1. Производительность подземного рудника меньше производительности карьера ( $Q_{п}/Q_{к}<1$ ). Конвейерный подъемник используется для вывоза вскрышных пород из карьера и руды с подземного рудника.

2. Производительность подземного рудника равна производительности карьера ( $Q_{п}/Q_{к}=1$ ). Конвейерный подъемник используется для вывоза руды из карьера и с подземного рудника.

При разработке одного и того же месторождения производительность карьера по горной массе значительно превышает производительность подземного рудника. В ходе исследований рассматривались различные соотношения производительности карьера ( $Q_{к}$ ) и подземного рудника ( $Q_{п}$ ). Производительность карьера принималась – 5, 10 и 15 млн т в год по вскрышным породам, подземного рудника – от 1 до 7 млн т в год по руде. Срок доработки карьера принят равным 10 годам. При  $Q_{п}/Q_{к}$ , равном 0,2 (рис. 1, а), приведенные затраты на автомобильно-конвейерный транспорт при доработ-

ке карьерных запасов в среднем в 2 раза ниже затрат на автомобильный транспорт. При вывозе руды с подземного рудника в последующие 10 лет приведенные затраты при автомобильно-конвейерном транспорте выше затрат на автотранспорт, что свидетельствует о неэффективности его использования. Таким образом, при данном соотношении конвейерный подъемник выгодно использовать только в карьере.

При отношении  $Q_{п}/Q_{к}=0,3$  приведенные затраты на вывоз руды с подземного рудника автомобильно-конвейерным транспортом равны затратам на вывоз посредством автотранспорта (рис. 1, б). Это отношение является граничным при определении оптимальной экономической эффективности от строительства конвейерного подъемника.

При отношении  $Q_{п}/Q_{к}=0,4$  затраты на автомобильно-конвейерный транспорт ниже затрат на автотранспорт (рис. 1, в). Строительство конвейерного подъемника в этом случае является целесообразным.

На рис. 2 показаны кривые изменения суммарного экономического эффекта при отношении производительности подземного рудника к производительности карьера 0,2; 0,3 и 0,4, из которых видно, что экономически эффективным является строительство конвейерного подъемника при  $Q_{п}/Q_{к}>0,3$ .

На рис. 3 изображена зависимость изменения дисконтированного экономического эффекта от производительности карьера – подземного рудника. Производительность карьера – подземного рудника принималась от 1 до 7 млн т в год по руде. При равной производительности карьера и подземного рудника ( $Q_{п}/Q_{к}=1$ ) переход на автомобильно-конвейерный транспорт и его использование на этапе доработки карьера в течение 10 лет, а затем в течение 10 лет при вывозе руды с подземного рудника дает положительный экономический

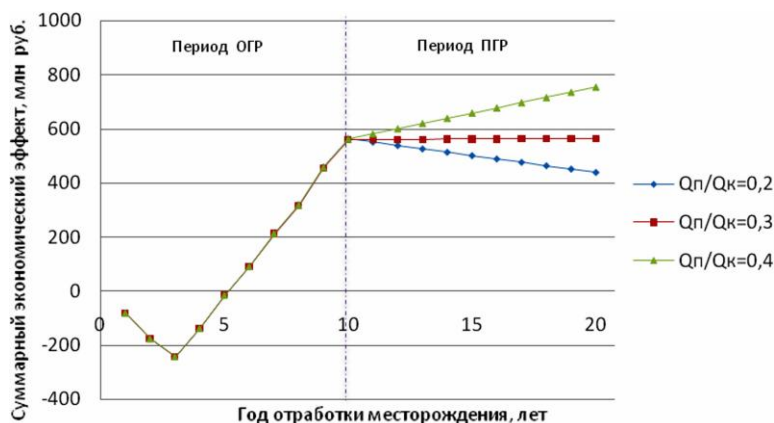


Рис. 2. Зависимость изменения суммарного экономического эффекта по годам отработки месторождения

эффект при производительности карьера – подземного рудника более 2 млн т в год. Срок окупаемости капитальных вложений составляет от 2 до 11 лет при производительности карьера – подземного рудника соответственно 7 и 2 млн т в год.

В ходе проведенных исследований по определению экономической эффективности строительства конвейерного подъемника при доработке карьера, для использования его при вывозе горной массы из карьера, а затем руды с подземного рудника, были получены следующие результаты:

1. Строительство конвейерного подъемника для транспортирования вскрышных пород на этапе доработки карьера позволяет получить экономический эффект в карьере, а на подземном руднике его дальнейшее использование эффективно при отношении производительности подземного рудника к производительности карьера более 0,3. При отношении  $Q_{п}/Q_{к} < 0,3$  затраты на вывоз горной массы с подземного рудника с использованием автомобильно-конвейерного транспорта становятся выше затрат на автомобильный транспорт и его использование является неэффективным.

2. Строительство конвейерного подъемника для транспортирования руды при отношении  $Q_{п}/Q_{к} = 1$  при доработке карьера целесообразно при производительности карьера – подземного рудника более 2 млн т в год, что позволяет получить более 23 млн руб. дисконтированного экономического эффекта за 20 лет использования автомобильно-конвейерного транспорта.

Таким образом, используя преимущества карьерного комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта, можно значительно повысить эффективность отработки не только карьера, но и всего месторождения в целом.

#### Список литературы

1. Ивашов Н.А. Обоснование способа вскрытия запасов за пределами контура карьера // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 9–13.
2. Пособие по определению укрупненных технико-экономических показателей стоимости строительства для сравнения вариантов и выбора видов промышленного транспорта (к СНиП 2.05.07-85).

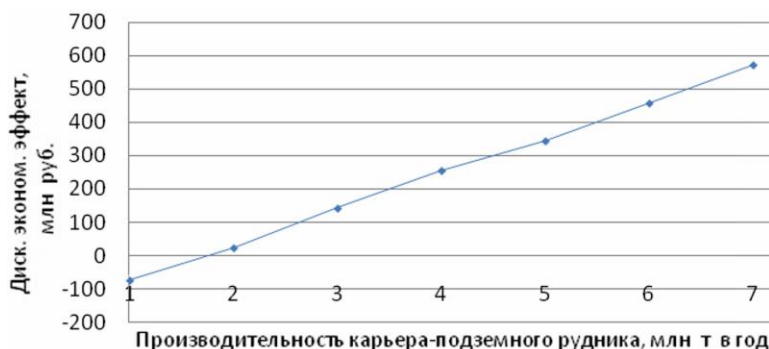


Рис. 3. Зависимость изменения дисконтированного экономического эффекта от производительности карьера – подземного рудника

3. Юматов Б.П., Бунин Ж.В. Строительство и реконструкция рудных карьеров. Изд. 2, перераб. и доп. М.: Недра, 1978. 231 с.
4. Трубеткой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров: учебник для вузов: в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. Т. 1. 519 с.: ил.
5. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рациональных предложений // Экономическая газета. 1977. № 10.
6. Васильев М.В. Комбинированный транспорт на карьерах. М.: Недра, 1975. 360 с.

#### Bibliography

1. Ivashov N.A. Feasibility study of the opening method of stocks behind a limiting contour of an open-cast mine. The bulletin of MSTU named after G. I. Nosov. 2007. № 1. P. 9–13.
2. The manual for definition of the integrated technical and economic cost indexes of building for comparison of variants and a choice of kinds of industrial transport (to SNiP 2.05.07-85).
3. Jumatov B.P., Bunin ZH.V. Building and reconstruction of ore opencast mines. 2 edit, revised and add., M.: Nedra, 1978. 231 p.
4. Trubetsky K.N., Krasnjansky G.L., Hronin V.V. Designing of opencasts: Textbook for high schools: In 2 vol. 2 edit, revised and add. M.: Publishing house of Academy of mining sciences, 2001. I. 519 p.: fig.
5. A technique (substantive provisions) of definition of economic efficiency of use in a national economy of new techniques, inventions and innovation proposals // Economic newspaper. 1977. № 10.
6. Vasiliev M.V. Combined transport in the quarries. M.: Nedra, 1975. 360 p.

УДК 622.271:622.17

Мельников И. Т., Суров А.И., Шелковникова А.А.

## ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРУДКОВОЙ ЗОНЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ОАО «ВАНАДИЙ» (КАЧКАНАРСКИЙ ГОК)

Для складирования отходов обогатительных фабрик (ОФ) на Качканарском горно-обогатительном комбинате (ОАО «Ванадий») организовано хвостовое хозяйство, включающее системы гидротранспорта и

оборотного водоснабжения, хвостохранилища с комплексом дренажей, водозаборных устройств и контрольно-измерительной аппаратуры. При обогащении руд цветных металлов с применением флотореагентов



требуется более мелкий помол, и выход класса – 0,074 мм превышает 90–95%, а отходы обогатительного производства складываются, как правило, в наливных хвостохранилищах. Применение сухой или мокрой магнитной сепарации при обогащении железных руд обуславливает выход класса – 0,074 мм не более 30–60% и возможность строительства намывных хвостохранилищ для размещения хвостов. В условиях КачГОКа в прудке-отстойнике ежегодно накапливается около 14,0–15,0 млн т пылеватых хвостов. График гранулометрического состава хвостов ОФ Качканарского ГОКа показан на рис. 1.

При намыве хвостохранилищ из наиболее крупных фракций формируется надводный пляж, образуя упорную призму, а более мелкие частицы уносятся потоком в прудок-отстойник. Осаждение пылеватых частиц приводит к осветлению оборотной воды и формированию отложений прудковой зоны. Исследование свойств отложений по глубине и длине прудковой зоны производилось в полевых условиях на хвостохранилище Качканарского горно-обогатительного комбината (ГОКа) и в лабораториях ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО (г. Москва) и МГТУ (г. Магнитогорск) по стандартным методикам.

Площадь прудка-отстойника – 30–35% от общей площади хвостохранилища, которая составляет около 5,0 км<sup>2</sup>. Отбор проб осуществляется по 3 створам (А, В, С) и расстояние между точками отбор проб в каждом створе – 50–70 м согласно рис. 2. Разбивка створов производилась с помощью шнура длиной 50 м, лодки и катамарана. Индикация мест отбора проб в прудке-отстойнике выполнялась с помощью деревянных или пенопластовых буйков. Для определения количества твердых осадков в осветляемой воде, суспензии и материале текучей консистенции производился отбор по глубине через 0,5 м с помощью батометра. Результаты определения количества твердого в единице объема материала прудковой зоны приведены в таблице.

Плотность материала прудковой зоны, находящегося во взвешенном состоянии, определяется по формуле

$$\gamma_{\text{сусп}} = \frac{1 + R}{\gamma_T^{-1} + R} = \frac{\gamma_T (1 + R)}{1 + \gamma_T R}, \quad (1)$$

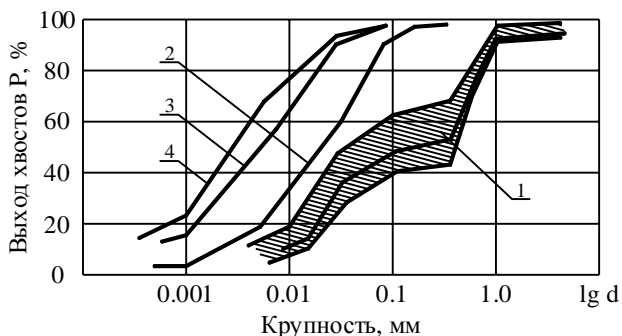


Рис. 1. Гранулометрический состав хвостов: 1 – исходные хвосты ОФ; 2, 3, 4 – донных отложений прудковой зоны: на расстоянии 100–350 м, 350–500 и более 500 м от уреза воды

где  $R=Ж:Т$  – весовая консистенция (вес воды, содержащей 1 т твердого), т/т;  $\gamma_T = 3,15 \text{ т/м}^3$  – средневзвешенная плотность минералов частиц хвостов.

Началом донных отложений считалось появление структурной прочности хвостов, т.е. при переходе их в текучую консистенцию. При исследовании использовался метод статического зондирования с применением металлического шара-пенетromетра диаметром 15 см и весом 15 кг, размеры и вес которого взяты по аналогии с применявшимися при зондировании намывной плотины Форт-Пек в США [1]. Исследованиями ряда авторов [2–5] установлено, что шар-пенетromетр «зависает» при переходе суспензии в грунт текучей консистенции, имеющий сдвиговую прочность 0,001–0,002 МПа,  $W=80–95\%$ . Переход от суспензий к грунту текучей консистенции происходит при  $\gamma_{\text{ск.взв}}=0,60–0,65 \text{ т/м}^3$ , а к текучепластичному при  $\gamma_{\text{ск.взв}}=0,80–0,90 \text{ т/м}^3$ .

В суспензиях и отложениях текучей консистенции частицы хвостов находятся в состоянии взвеси. Исходя из этого вводится понятие – определение «плотности скелета взвеси», которая определяется по формуле

$$\gamma_{\text{ск.взв}} = \frac{(\gamma_{\text{сусп}} - 1) \cdot \gamma_T}{\gamma_T - 1}, \quad (2)$$

где  $\gamma_{\text{сусп}} = \frac{\gamma_{\text{сусп}}}{\gamma_0}$  – относительная плотность суспензии ("тяжелой жидкости");  $\gamma_T, \gamma_0$  – плотность минеральной части хвостов и воды, т/м<sup>3</sup>.

На расстоянии до 350–400 м от уреза воды мощность слоя суспензии практически равна нулю. Это означает, что поверхность донных отложений сложена довольно плотными пылеватыми породами и супесями намывными. По мере удаления от уреза воды мощность слоя суспензии возрастает и на расстоянии больше 500 м от уреза воды составляет 1,5–2,0 м и более (см. рис. 1).

Выполненные натурные и лабораторные исследования показывают, что переход донных отложений в текучую консистенцию происходит при плотности взвеси  $\gamma_{\text{ск.взв}}=0,55–0,60 \text{ т/м}^3$ . Высота слоя осажденных частиц текучей консистенции также возрастает по

#### Изменение плотности взвеси материала прудковой зоны с глубиной

Глубина прудковой зоны от поверхности воды h, м	Плотность материала прудковой зоны по трём створам					
	А		В		С	
	$\gamma_{\text{сусп}}$	R	$\gamma_{\text{сусп}}$	R	$\gamma_{\text{сусп}}$	R
0,5	1,00015	4732	1,00014	5000	1,00015	4545
1,5	1,00020	3448	1,00014	5000	1,00014	5000
2,5	1,00015	4546	1,00020	3333	1,00020	3703
3,5	1,00013	5263	1,00014	5000	1,00020	3125
4,5	1,00039	1754	1,00046	1493	1,00054	1351
5,5	1,034	19,5	1,047	14,3	1,045	14,9
6,5	1,239	1,96	1,275	2,16	1,305	1,92
7,5	–	–	1,476	1,118	1,402	1,38

мере удаления от уреза воды и, как правило, не превышает 2,0–2,5 м. При  $\gamma_{ск.взв}=1,1-1,2 \text{ т/м}^3$  осадок переходит в текучепластичную и с глубиной в мягкопластичную консистенцию при  $\gamma_{ск.взв}=1,6-1,7 \text{ т/м}^3$ .

Отбор проб отложений прудковой зоны производился с предварительно заякоренного катамарана пробоотборником конструкции И.С. Федорова [6]. По каждому из трех створов в каждой точке стояния образцы отложений прудковой зоны отбирались с шагом 1 м по глубине. Максимально возможная глубина извлекаемых образцов отложений в прудковой зоне составляла 7–8 м и ограничивалась техническими возможностями и увеличением плотности материала прудковой зоны с глубиной.

У образцов ненарушенной структуры, отобранных по высоте слоя структурных отложений прудковой зоны, определялись значения плотности  $\gamma_w$  и плотности минеральных частиц  $\gamma_T$ , величина влажности и гранулометрический состав по стандартным методикам и ГОСТ 25584-90.

Допуская, что коэффициент водонасыщения хвостовых отложений прудковой зоны равен или близок к единице ( $G = 1,0$ ), остальные основные показатели рассчитывались по известным формулам:

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_w}{1 + 0,01 \cdot \omega}; \quad \gamma_{взв} = \gamma_{ск} - \frac{\gamma_{ск}}{\gamma_T} \gamma_w; \quad (3)$$

$$n = \frac{\gamma_T - \gamma_{ск}}{\gamma_T}; \quad \varepsilon = \frac{n}{1 - n}.$$

После высушивания и взвешивания определялся гранулометрический состав отобранных образцов. Обработка полученных результатов исследований показы-

вает, что средневзвешенный диаметр хвостовых отложений уменьшается по мере удаления от уреза воды – границы между пляжной и прудковой зонами. В зависимости от зернового состава названия разновидностей хвостов согласованы с принятыми для песчаных грунтов в ГОСТ 25100-95. Для отдельных проб содержание пылеватых и глинистых частиц, то есть частиц размером менее 0,05 мм, суммарно достигает 90%, что приводит к проявлению пластических свойств. По ГОСТ 25100-95 донные отложения можно классифицировать как пески антропогенного образования. Гранулометрический состав донных отложений прудковой зоны показан на рис. 1 (кривые 2, 3, 4).

Обобщая результаты выполненных исследований, можно констатировать следующее:

- на расстоянии 100–350 м от уреза воды донные отложения в основном представлены пылеватыми хвостами, средневзвешенный диаметр которых составляет  $d_{cp}=0,04-0,124 \text{ мм}$  (класс 0,15–0,05). Пористость донных отложений на поверхности  $n=52,4-54,2\%$ , а на глубине 2–3 м уже уменьшается до  $n=45,0-48,1\%$ . Отбор проб на большей глубине не представлялся возможным из-за высокой плотности донных отложений ( $\gamma_{ск} > 1,75 \text{ т/м}^3$ );

- на расстоянии 350–500 м от уреза воды донные отложения представлены в основном частицами, средневзвешенный диаметр которых равняется  $d_{cp}=0,02-0,035 \text{ мм}$  (класс 0,05–0,02). Пористость донных отложений на границе структурных образований не превышает  $n=61,8-65,7\%$ , а на глубине 3 м уменьшается до 48,7–53,7%. Для этих донных отложений содержание пылеватых частиц диаметром менее 0,05 мм составляет около 90%, а диаметром менее 0,02 мм – в пределах 10–20%;

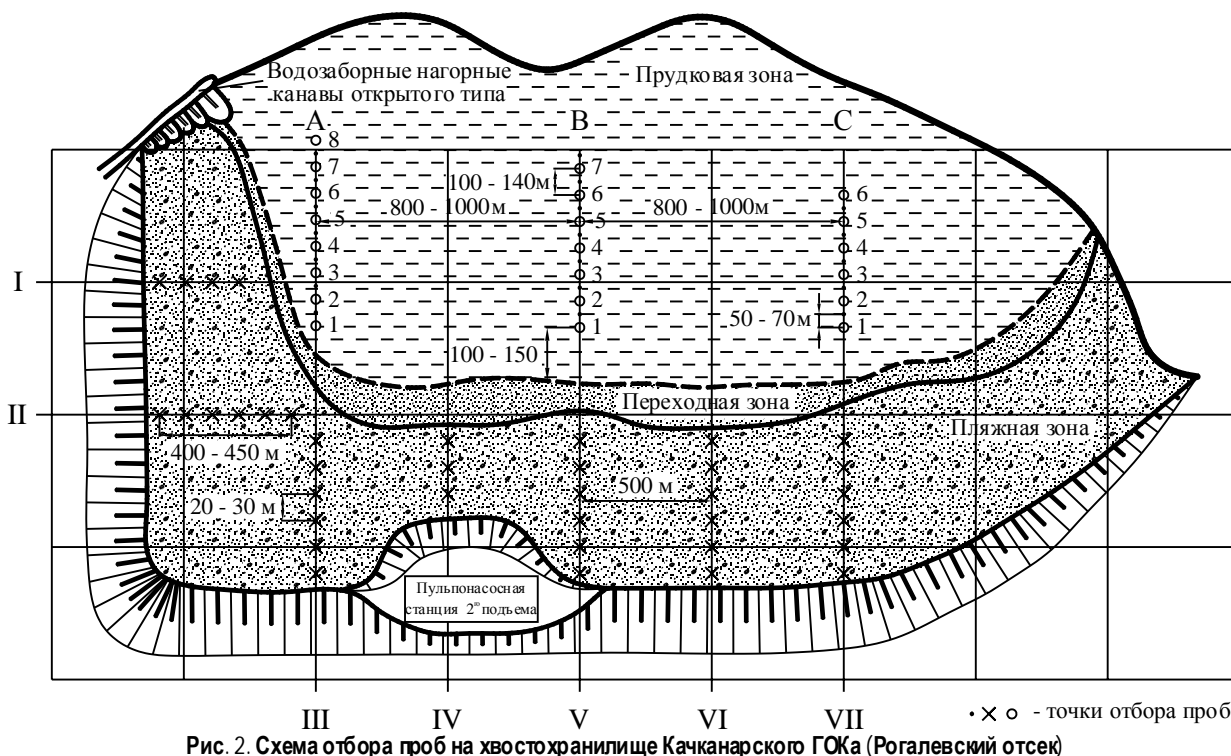


Рис. 2. Схема отбора проб на хвостохранилище Качканарского ГОКа (Рогалевский отсек)

– на расстоянии более 500 м от границы между пляжной и прудковой зонами донные отложения прудковой зоны представлены частицами, средневзвешенный диаметр которых равняется  $d_{\text{ф}} = 0,011 - 0,0152$  мм (класс 0,02–0,01). На поверхности структурных образований пористость колеблется от 66,1 до 73,6%, а плотность скелета 0,326–1,01 т/м<sup>3</sup>. Содержание частиц крупностью менее 0,05 мм составляет, как правило, 95–98%, менее 0,02 мм колеблется от 20 до 30%.

Изменение плотности скелета донных отложений с глубиной показано на рис. 3. На глубине 3 м пылеватые хвостовые отложения, супеси и суглинки намывные имеют интервал изменения плотности скелета соответ-

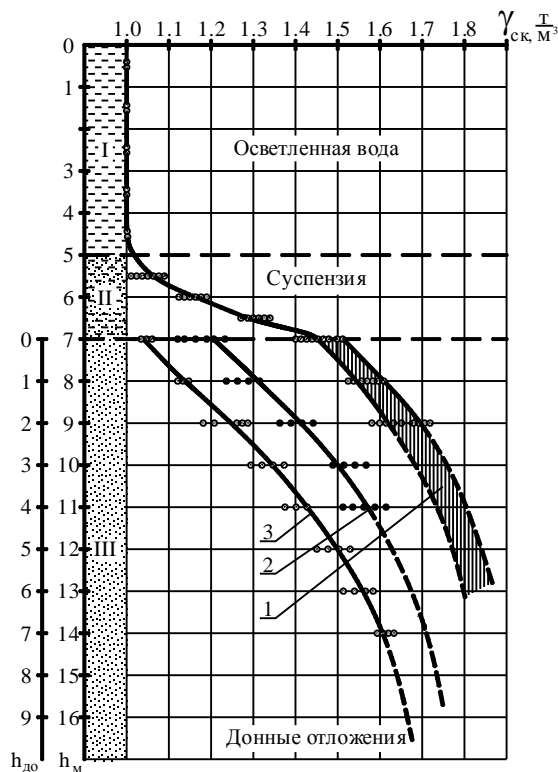


Рис. 3. Изменение плотности скелета донных отложений прудковой зоны в зависимости от глубины их залегания: 1 – пылеватые породы (класс 0,15–0,05); 2 – частицы класса 0,05–0,02; 3 – частицы класса 0,02–0,01

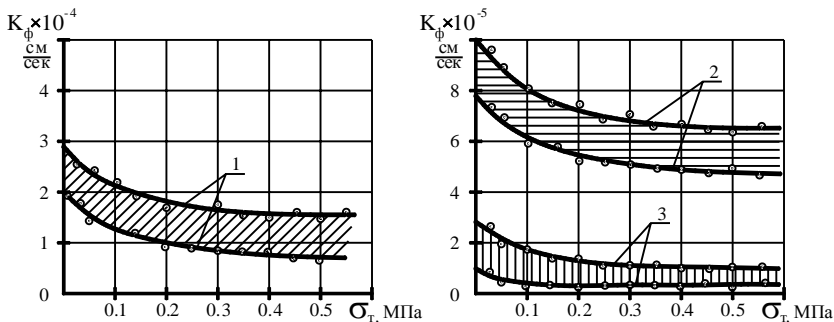


Рис. 4. Изменение коэффициента фильтрации хвостовых отложений прудковой зоны при различных значениях эффективных нагрузок: 1 – пылеватые хвосты (класс 0,15–0,05); 2 – частицы класса 0,05–0,02; 3 – частицы класса 0,02–0,01

ственно равный 1,65–1,74, 1,46–1,58, 1,26–1,33 т/м<sup>3</sup>. На глубине 7 м плотность скелета суглинков намывных – 1,55–1,62 т/м<sup>3</sup>. Таким образом, плотность донных отложений различной крупности с глубиной возрастает, что объясняется с точки зрения теории фильтрационной консолидации. Согласно данной теории процесс уплотнения грунтов под действием собственного веса, находящихся под водой, протекает тем медленнее, чем меньше коэффициент фильтрации.

Фильтрационно-компрессионные испытания отложений прудковой зоны производились на приборе (ГОСТ 25584-90), который позволял определять коэффициенты фильтрации хвостовых отложений при различных значениях эффективных сжимающих нагрузок. Как правило, определение фильтрационных свойств отложений прудковой зоны в полевых условиях сопряжено с рядом трудностей. Поэтому для получения расчетных характеристик было принято моделирование структуры образцов в лабораторных условиях согласно методике, разработанной во ВНИИ ВОДГЕО.

Из хвостовых отложений готовились пасты с влажностью, соответствующей пределу текучести. Тщательным перемешиванием из пасты удалялись пузырьки воздуха и затем производилась загрузка прибора. Определение коэффициентов фильтрации производилось при нагрузках 0; 0,025; 0,050; 0,1; 0,3; 0,7 МПа после полной стабилизации деформации.

Результаты исследований представлены на рис. 4, анализ которого показывает, что происходит значительное уменьшение коэффициента фильтрации в интервале сжимающих нагрузок 0–0,5 МПа. Как установлено при полевых исследованиях, донные отложения находятся в текучепластичной консистенции при  $\gamma_{\text{ск}} > 1,6 - 1,7$  т/м<sup>3</sup>, что соответствует величине сжимающих нагрузок 0,2–0,6 МПа. В данном интервале нагрузок коэффициент фильтрации пылеватых хвостов частицы (класс 0,05–0,15) изменяется от  $2 \cdot 10^{-4}$  до  $8 \cdot 10^{-5}$  см/с, частицы класса 0,02–0,05 – от  $8 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-6}$  см/с и частицы класса 0,01–0,02 – от  $3 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-7}$  см/с и менее  $1 \cdot 10^{-7}$  см/с из водозаборных сооружений.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие важные выводы:

1. Донные отложения неоднородны по своему составу, их средневзвешенный диаметр и коэффициент фильтрации уменьшаются по мере удаления от уреза воды по направлению к водозаборному сооружению и с глубиной вследствие гравитационной консолидации.

2. Донные отложения прудковой зоны могут использоваться для создания противофильтрационных экранов при формировании отвалов вскрышных пород, шлаков металлургического производства, золоотвалов на поверхности земли и в отработанных пространствах карьеров для защиты подземных вод от загрязнения, так как их коэффициент фильтрации находится в пределах от

$1 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  см/с ( $8,6 \cdot 10^{-3}$ – $4,3 \cdot 10^{-4}$  м/сут).

3. Удельная поверхность пылеватых хвостов по сравнению с исходным сырьём увеличена в  $10^5$ – $10^6$  раз и с момента процесса измельчения до складирования в хвостохранилище они не вступают в соприкосновение с кислородом воздуха. Поэтому при высушивании, имея высокую поверхностную химическую активность, и соприкосновении с воздухом тонкодисперсные хвосты донных отложений затвердевают и могут быть использованы в качестве слабвяжущего материала. Способностью образовывать цементный камень обладают и донные отложения хвостохранилищ Соколовско-Сарбайского и Лисаковского ГОКов. Поэтому необходимы более детальные исследования минералогического состава мелкодисперсных хвостов для их широкого применения в цементной промышленности.

4. Использование донных отложений позволяет увеличивать вместимость хвостохранилищ и снижает угрозу возникновения селевых потоков в случае прорыва ограждающих дамб.

5. Донные отложения прудковой зоны являются бесконечным экраном зоны питания фильтрационного потока в теле дамб намывных хвостохранилищ и оказывают существенное влияние на режим фильтрации: высотное положение кривой депрессии, высоту высачивания фильтрационного потока на внешний откос и удельные расходы фильтрации через тело дамб. Учёт влияния донных отложений на фильтрационный режим хвостохранилищ позволяет увеличить вместимость эксплуатируемых гидротехнических сооружений на 15–20%.

#### Список литературы

1. Шульц Л.В. и др. Физико-механические свойства грунтов хвостохранилищ // Труды ЛПИ. Л., 1974. № 338. С. 93–95.

2. Абемян Ц.Х., Трунков Г.Т., Элоян Л.А. Исследование характеристик грунтов прудковой зоны хвостохранилища // Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. Л.: ЛПИ им. М.И. Калинина, 1977. С. 107–113.
3. Горелик Л.Ш., Чернявский В.А. Лабораторные исследования прудковых отложений хвостохранилищ // Проектирование, строительство и эксплуатация хвостохранилищ обогатительных фабрик. Белгород, 1978. С. 46–48.
4. Каминская В.И., Коновалов Л.П. Экспериментальные исследования физико-механических свойств грунтов прудковой зоны гидроотвала // Труды ВНИИГС. Л., 1973. Вып. 36. С. 96–101.
5. Чернявский В.А. Полевые исследования хвостохранилищ и шламоотвалов // Проектирование, строительство и эксплуатация хвостохранилищ обогатительных фабрик. Белгород, 1978. С. 199–200.
6. Федоров И.С., Добровинская О.Х. Свойства и расчетные характеристики намывных хвостов рудообогатительных фабрик. М.: Недра, 1970. 151 с.

#### Bibliography

1. Shults L.V. and others. Ground Physical-mechanical properties of tail-ponds // Studies of LPI. L., 1974. № 338. P. 93–95.
2. Abegyan C.H., Trunkov G.T., Eloyan L.A. Pond-zone tail-storing ground properties investigations. // Rational using of natural resources and environmental protection. L.: LPI named after M.I. Kalinin, 1977. P. 107–113.
3. Gorelik L.Sh., Chernyavskiy V.A. Laboratory investigations of tail-storing pond deposits // Projecting, building and exploitation Concentrate factory tail-storing. Belgorod, 1978. P. 46–48.
4. Kamiskaya V.I., Konovalov L.P. Pond-zone hydraulic dump physical-mechanical ground properties experimental investigations // Studies of VNIIGS. L., 1973. Edition 36. P. 96–101.
5. Chernyavskiy V.A. Field investigations of tail-storing and slime dumps // Projecting, building and exploitation of concentrate factory tail-storing, Belgorod, 1978. P. 199–200.
6. Fedorov I.S., Dobrovinskaya O.H. Concentrating ore factories draining packed tails properties and rated characteristics. M.: Nedra, 1970. 151 p.

УДК 622.27

Паук Л.Г., Джигоева А.К.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ОТБОЙКИ

В отечественной и зарубежной практике применения одностадийных систем разработки отбойка руды ведется минными зарядами и глубокими скважинами диаметром от 50 до 150 мм.

Отбойка минными зарядами при отработке рудных тел была заменена скважинной в силу присущих ей недостатков, главными из которых являются: большой объем нарезных выработок и неравномерное дробление отбиваемого массива.

Наиболее распространенным и эффективным является способ отбойки руды глубокими скважинами различного диаметра, что объясняется имеющимся буровым оборудованием и горно-геологическими особенностями обрабатываемых залежей. Так, например, на руднике «Заполярный», где наблюдается значительное

горное давление, может быть применено только малогабаритное буровое оборудование, требующее для установки выработок небольшого сечения. Диаметры скважин 72 и 105 мм оказались для рудника «Заполярный» наиболее эффективными.

На руднике им. XXII съезда КПСС для эффективного использования комплекса вибромеханизмов и получения выхода негабарита не более 10% в блоке 13 горизонта VII применяли отбойку скважинами диаметром 70 мм и отказались от неё только из-за плохого качества буровых станков БУ-70 [65].

На рудниках Швеции отбойка руды в зажатой среде при системе подэтажного обрушения ведется скважинами диаметром 55–60 мм.

Применение скважин большого диаметра (100–

150 мм) на месторождениях с крепкими рудами позволяет за счет увеличения линии наименьшего сопротивления увеличить выход руды с 1 п.м скважины.

Единого мнения исследователей о целесообразном диаметре скважин еще не сложилось. Многие авторы [1] рекомендуют применять скважины диаметром 100–150 мм, а другие авторы [2] считают необходимым при массовых взрывах в зажатой среде применять скважины только большого диаметра.

По мнению других исследователей [3], при отбойке в зажатой среде (особенно трещиноватых руд) в этом нет необходимости, так как при более густой сетке скважины малого диаметра обеспечивают лучшее дробление массива. Большинство исследователей [4] считают, что л.н.с. и диаметр скважин зависят от физико-механических свойств руды. При определенных горнотехнических условиях и порядке взрывания величины минимального диаметра скважин, удельного расхода ВВ и максимальной толщины отбиваемого в зажатой среде слоя руды должны быть взаимосвязаны.

Отмечено увеличение выхода негабарита с увеличением диаметра скважин [5]. На руднике им. ХХП съезда КПСС при отработке блока № 5 отбойка велась скважинами диаметром 100 и 150 мм [6]. Расстояние между веерными комплектами скважин диаметром 150 мм составляло 3,5–2,5 м, а при скважинах диаметром 100 мм расстояние между веерами – 2–2,7 м, расстояние между концами скважин – соответственно 3,3 и 2,5 м. Сравнительные показатели отбойки руды в зажиме скважинами различного диаметра приведены в **таблице**.

Опытные работы по выбору целесообразного диаметра взрывных скважин проводились также в блоке 6/7 рудника им. Кирова комбината «Апатит». Для получения сопоставимых результатов соблюдалось постоянство схемы взрывания, интервалы замедления, количества плоскостей обнажения и удельного расхода ВВ [7]. При испытаниях проводили взрывание скважин диаметром 105, 145 и 214 мм. Расстояние между рядами скважин соответственно составляли 2,3–2,4, 3,2–4 и 5,8–6,5 м, при расстоянии между скважинами в веере 2,5–3,5, 3,7, 6,2–7 м.

В результате взрывов было выявлено, при отбойке

**Показатели отбойки руды в «зажиме» скважинами различного диаметра**

Показатель	Диаметр скважин, мм	
	100	150
Максимальная толщина одновременно отбиваемого слоя, м	20	21
Максимальное количество рядов скважин в слое, шт.	9	6
Расход ВВ, кг/т	0,680	0,860
В том числе:		
на отбойку	0,540	0,650
на выпуск и вторичное дробление	0,140	0,210
Выход негабарита, %	10–12	15–16
Производительность скрепериста, т/см	123	101

восходящими веерными скважинами диаметром 145 мм на всю высоту этажа выход негабарита (свыше 800 мм) составил 11,1%, тогда как при отбойке скважинами диаметром 105 мм из подэтажей – 2,3%. При отбойке восходящими параллельными скважинами диаметром 145 мм качество дробления улучшилось, но все же выход крупных кусков составил 7%, т.е. в 3 раза больше, чем при диаметре 105 мм.

Увеличение диаметра скважин до 214 мм даже при параллельном расположении повысило выход негабарита до 7,8%. Суммарная трудоемкость очистных работ (отбойки, выпуска и доставки руды) при отбойке скважинами увеличенного диаметра возросла в 1,5–2 раза.

Выбор целесообразного диаметра скважин для отбойки рудных тел средней мощности в условиях Квайсинского месторождения производился на основании опыта отбойки руды на отечественных и зарубежных предприятиях, а также с учетом следующих требований, связанных с особенностями строения рудного тела:

- невыдержанная форма рудных тел по падению и простиранию требует доразведки его контуров в пределах блока из подэтажных выработок;
- необходимость сохранять от подработки лежащий бок рудного тела, представленный неустойчивыми порфиритами крепостью 4–6;
- для повышения интенсивности выпуска, улучшения технико-экономических показателей по системе разработки необходимо обеспечить хорошее качество дробления руды и снизить выход негабарита при относительно небольших размерах кондиционного куска;
- малая устойчивость горных выработок, пройденных по рудному телу, требует проведения их небольшим сечением с обязательным креплением;
- обрушенные налегающие породы представлены мелкой фракцией сильно измельченных порфиритов.

Для отбойки невыдержанных рудных тел средней мощности были приняты скважины малого диаметра (до 70 мм).

При одностадийных системах подэтажного и этажного принудительного обрушения применяется параллельное и веерное расположение скважин. В зависимости от применяемого бурового оборудования принятой конструкции системы разработки скважины располагаются в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а отбойка руды производится горизонтальными и вертикальными слоями. Отбойка руды горизонтальными слоями имеет недостатки, связанные с увеличением количества потерянных скважин, увеличением объема буровых выработок и затрат на их восстановление после массовых взрывов.

Применение отбойки вертикальными слоями позволяет уменьшить влияние этих недостатков, однако зарядание вертикальных восходящих скважин становится более трудоемким.

По направлению бурения при отбойке вертикальными слоями скважины могут быть восходящими и нисходящими. Направление бурения зависит от применяемого оборудования.

Для скважин малого диаметра нет надежных конструкций станков, позволяющих бурить нисходящие скважины. В связи с этим для Квайсинского рудника

принят способ отбойки вертикальными веерами входящих скважин.

**Список литературы**

1. Деменко В.В., Кузнецов В.В., Павлов В.Д. Промышленное бурение глубоких скважин уменьшенного диаметра. М., 1969.
2. Именитов В.Р., Мильченко Д.В. О принципах массовой отбойки руды // Горный журнал. 1960. № 8.
3. Мильченко Д.В., Конорев И.М. Исследование образования компенсационного пространства при отбойке крепких руд // Тр. АГМНИИ АН КазССР. Алма-Ата, 1963. Т 15.
4. Демин Н.С. Отбойка руды на завал // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1961. № 2.
5. Дорохов М.И. Исследование и выбор эффективных способов подземной отбойки трещиноватых руд с применением взрывных скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1964.
6. Отбойка руды при новой технологии / Иофин С.Л., Шкарпетин В.В., Егорочкин А.А. и др. М., 1969.
7. Фугзан М.Д. Влияние частичного выпуска из призабойной зоны на выход крупнокусковой руды при отбойке в «зажиме» // Горный журнал. 1962. № 11.
8. Фугзан М.Д. и др. Одностадийная выемка с массовой отбойкой руды на руднике «Заполярный» // Тр. ин-та Гипроникель. 1962. Вып. 5.
9. Именитов В.Р. Высокопроизводительные системы разработки крепких руд. М.: Госгортеиздат, 1961.
10. Левин В.И. Разработка методики параметров подземной скважинной отбойки руды в «зажиме»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1964.
11. Ерофеев И.Е., Пустовалов А.И., Тургамбаев Б.М. Ограбтка опытного блока с одностадийной выемкой на руднике им. 22 съезда КПСС // Добыча и обогащение руд цветных металлов. 1964. № 2.
12. Гушин В.В., Беличенко А.Ф. Подземная разработка апатитовых месторождений. Мурманск, 1972.

**Bibliography**

1. Demenko V.V., Kuznetsov V.V., Pavlov V.D. Industrial drilling of deep bore holes of the reduced diameter. M., 1969.
2. Imenitov V.R., Milchenko D.V. About principles of mass ore breaking // Mountain magazine. 1960. № 8.
3. Milchenko D.V., Konorev I.M. Research of formation of compensatory space during hard ore breaking // Works of Altay mountain-metallurgical scientific research institute AN KAZ.SSR. Volume 15. Alma-Ata, 1963.
4. Dyomin N.S. Ore breaking on a blockage // News of higher educational institutions. Nonferrous metallurgy 1961. № 2.
5. Dorokhov M.I. Research and choice of effective ways of underground fractured ores breaking with the application of blast holes. The author's abstract of the dissertation presented on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. M., 1964.
6. Iofin S.L., Shkarpetin V.V., Egorochkin A.A., etc. Ore breaking using new technology. M., 1969.
7. Fugzan M. D. Influence of partial release from bottomhole zones on lumpy rock yield at ore breaking in "clip" // Mountain magazine. 1962. № 11.
8. Fugzan M. D, etc. One-phasic dredging with mass ore breaking in the mine "Polar" // Studies of the institute Hypronickel. 1962. № 5.
9. Imenitov V. R. High-efficiency systems of working out of hard ores. M.: Gosgorteizdat, 1961.
10. Levin V.I. Working out of technique of parameters of underground ore breaking in a clip: the Author's abstract of the dissertation presented on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. M.: 1964.
11. Erofeev I.E., Pustovalov A.I., Turgambaev B.M. Working of the test block with one-stage mining in the mine of the 22nd congress of the CPSU // Extraction and enrichment of ores of nonferrous metals. 1964. № 2.
12. Guschin V.V., Belichenko A.F. Underground mining of apatite deposits. Murmansk, 1972.

УДК 622.261.27:622.023.623

Хлусов А.Е.

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ БЕТОННОЙ КРЕПИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ В НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ**

Как показывает практика, наиболее эффективными крепями для капитальных выработок являются монолитная бетонная или набрызг-бетонная крепи. Однако они обладают рядом недостатков, такими как неудовлетворительная работа при неравномерных нагрузках и при смещении контура выработки свыше 50 мм. Для обеспечения нормальной работоспособности бетонной крепи в таких условиях и расширения области ее использования необходимо применять специальные мероприятия.

Одним из таких решений может быть проведение выработки в два этапа: вначале с временной крепью, допускающей большие смещения пород, проводят передовую выработку меньшего сечения (50–70% от проектного), а затем после образования вокруг нее зоны неупругих деформаций и их реализации (через 30–60 сут) выра-

ботку расширяют до проектных размеров и возводят постоянную бетонную крепь. В сильно неустойчивых породах обычно применяют замкнутую бетонную крепь, толщина которой зависит от прочности пород и размеров выработки (рис. 1). При этом, учитывая, что прочность на разрыв и изгиб бетона в несколько раз ниже его прочности при сжатии, для повышения работоспособности крепи сечению выработки выгодно придать такую форму, чтобы на ее контуре действовали только сжимающие напряжения. Такой формой является арочная, если нейтральная ось крепи очерчена по вервочной кривой, соответствующей приложенным к ней нагрузкам [1, 2]. Найдем ее уравнение и толщину крепи – наша статья, собственно, об этом.

Расчетную схему представим в виде монолитной бетонной оболочки, нагруженной вертикальной  $p^B$  и

горизонтальной  $p^r$  нагрузками, не равными между собой, но в силу особенности описанной выше технологии проведения выработки распределенными в первом приближении равномерно (рис. 2). Кривую  $OCBDO$  будем рассматривать как нейтральную ось замкнутого криволинейного стержня, возможное трение его внешней поверхности о породы в расчетах учитывать не будем, что пойдет в запас прочности. Для определения внутренних усилий от действия внешней нагрузки мысленно отсечем часть стержня, заменив ее влиянием моментов и сил. Ввиду симметричности нагружения достаточно рассмотреть четверть его длины, например сегмент  $OC$ , поместив начало координат в точку  $O$ . В результате получим криволинейный стержень, заделанный на двух концах, а значит, нагруженный на опорах  $O$  и  $C$  изгибающими моментами ( $M_o$  и  $M_c$ , соответственно) и реакциями ( $R_o^r, R_o^b$  и  $R_c^r, R_c^b$ , соответственно). На его внутренней и внешней поверхностях будут отсутствовать растягивающие напряжения, если в любом его сечении  $S$  будет действовать только осевая сжимающая сила  $T_s$ , а изгибающий момент – отсутствовать, то есть будет выполняться условие

$$M_s = 0. \tag{1}$$

Замкнутая бесшарнирная крепь в расчетном отношении является трижды статически неопределимой системой, однако условие (1) позволяет перевести ее в статически определимую, поскольку в точках  $O$  и  $C$  становятся равными нулю изгибающие моменты ( $M_o = M_c = 0$ ) и поперечные составляющие реакций ( $R_o^r = R_c^b = 0$ ). Написав уравнение изгибающих моментов относительно некоторого сечения стержня  $S$  с координатами  $x$  и  $y$  и приравняв его согласно (1) к нулю, получим уравнение оси стержня, который от действия нагрузок  $p^b$  и  $p^r$  будет испытывать только продольное сжатие, но не изгиб:

$$y = \sqrt{\frac{p^b}{p^r}} (2ax - x^2), \tag{2}$$

где  $2a$  – ширина выработки.

Соответственно оптимальная высота выработки  $2f$  в этом случае определится из соотношения

$$\frac{2f}{2a} = \sqrt{\frac{p^b}{p^r}}. \tag{3}$$

Последнее равенство показывает, что больший размер выработки ( $2a$  или  $2f$ ) должен соответствовать направлению действия большей нагрузки ( $p^r$  или  $p^b$ ). Так, в случае превышения горизонтальной нагрузки над

вертикальной, как показано на рис. 2, получаем сечение выработки, выгнутое горизонтально. При равенстве величин  $p^b$  и  $p^r$  (гидростатическое давление) уравнение (2) описывает форму кольца.

Спроецировав на координатные оси силы и реакции, удерживающие элемент стержня  $OS$  в равновесии, получим, что сжимающая сила  $T_s$ , действующая вдоль его оси, определяется выражением

$$T_s = \sqrt{[p^b(a-x)]^2 + [p^r y]^2}. \tag{4}$$

Из анализа функции (4) следует, что в зависимости от соотношения величин нагрузок  $p^b$  и  $p^r$  она имеет максимум либо в точке  $O$ , либо в точке  $C$ :

при  $p^b > p^r$

$$T_s^{\max} = T_s(x=0; y=0) = p^b a = f \sqrt{p^b p^r},$$

при  $p^r > p^b$

$$T_s^{\max} = T_s(x=a; y=f) = p^r f = a \sqrt{p^b p^r}.$$

Расчет толщины монолитной бетонной обделки следует вести по величине  $T_s^{\max}$ . Осевые сжимающие

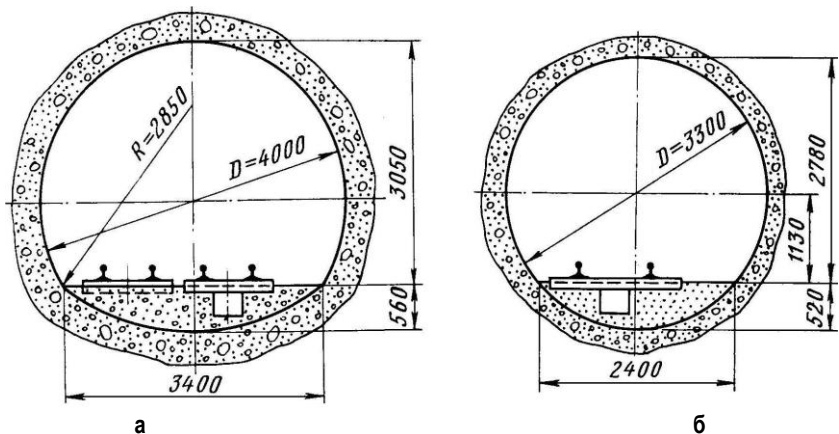


Рис. 1. Монолитная бетонная крепь: арочная с обратным сводом (а) и кольцевая (б)

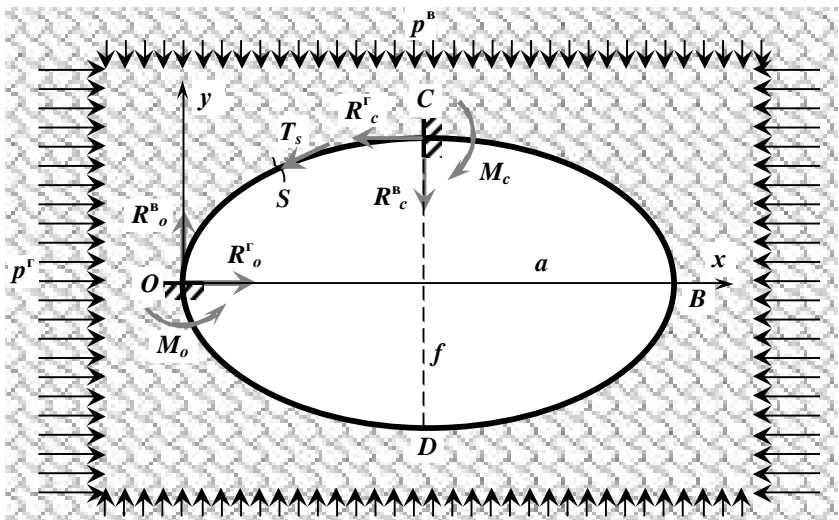


Рис. 2. Схема к расчету монолитной бетонной крепи, не испытывающей изгиба

напряжения, возникающие в поперечном сечении крепи в результате действия силы  $T_s^{\max}$ , по условию прочности не должны превышать длительного сопротивления бетона на сжатие  $\sigma_{\text{дл}}$ . Исходя из этого, необходимая толщина крепи  $\delta$  будет определяться из выражения

$$\delta = \frac{n_3 \cdot T_s^{\max}}{\sigma_{\text{дл}}}, \quad (6)$$

где  $n_3$  – коэффициент запаса.

Расчетная нагрузка на крепь в горизонтальном  $p^Г$  и вертикальном  $p^В$  направлениях может быть найдена в соответствии со СНиП II-94-80 [3] и руководством к нему [4], а также при помощи методики [5], в которых искомые величины определяются исходя из значения ожидаемых смещений пород на контуре незакрепленной выработки  $U$  (рис. 3), которые, в свою очередь, зависят от прочности и устойчивости пород, глубины расположения выработки и срока ее службы. При этом двухэтапное проведение выработки позволит до установки постоянной крепи реализоваться большим смещениям пород, чем при одностадийной проходке ( $U_{02} > U_{01}$ ), а значит, как видно из рис. 3, в итоге приведет к меньшей нагрузке на бетонную крепь ( $p_2 < p_1$ ) и к меньшим ее деформациям ( $U_2 - U_{02} < U_1 - U_{01}$ ).

#### Список литературы

1. Динник А.Н. Устойчивость арок. М.: ОГИЗ Гостехиздат, 1946. 128 с.
2. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. М.: Недра, 1984. 415 с.
3. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982. 31 с.
4. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. М.: Стройиздат, 1983. 272 с.

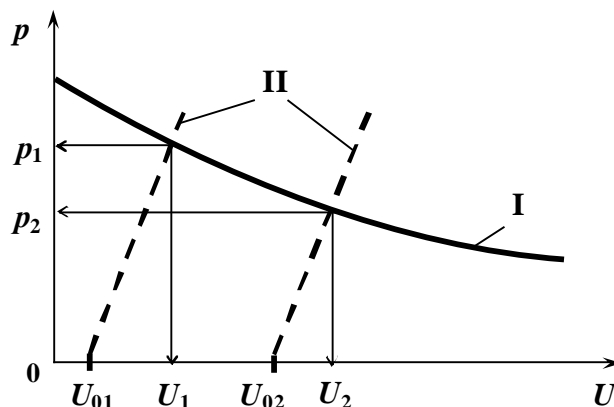


Рис. 3. Общий характер взаимодействия массива с крепью: зависимость отпора пород на контуре незакрепленной выработки от величины их смещений (I) и деформационная характеристика крепи (II)

5. Методическое руководство по проектированию и расчету крепи горно-капитальных выработок угольных шахт / В.А. Борисовец, Е.А. Иванов, А.М. Козел и др. СПб.: ВНИМИ, 2005. 82 с.

#### Bibliography

1. Dinnik A.N. Stability of arches. M.: OGIS, Gostechizdat, 1946. 128 p.
2. Baklashov I.V., Kartozia B.A. Mechanics of underground structures and support constructions. M.: Nedra, 1984. 415 p.
3. SNiP II-94-80. Underground mine workings. Gosstroy USSR. M.: Stroyizdat, 1982. 31 p.
4. Directions for designing of underground mine workings and calculation of supports. VNIMI, VNIIOMIIS Minugleprom USSR. M.: Stroyizdat, 1983. 272 p.
5. Borisovets V.A., Ivanov E.A., Kozel A.M. et al. Manual on designing and calculation of supports for permanent mine workings of coal mines. St. Petersburg: VNIMI, 2005. 82 p.



# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 662:669.162.266

Сибгатуллин С.К., Майорова Т.В.

## К РАСЧЕТУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХОДА ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОВЫШЕННОМ ОБЩЕМ ПЕРЕПАДЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ

Совершенствования хода доменного процесса в современных условиях можно достичь улучшением организации проточного движения шихтовых материалов и образующихся газов в рабочем пространстве печи [1–4]. В связи с этим представляет теоретическую и практическую значимость повышение степени использования потенциальной энергии газового потока на совершение работы по преодолению сопротивления шихты. Максимального использования этой энергии можно достичь улучшением газодинамики по высоте и сечению печи, что позволит вести доменную плавку с высоким значением общего перепада давления газов от горна до колошника.

Параметры доменного процесса в новых условиях его организации можно определить по допустимому общему перепаду давления газов. Расчёт выполняется, исходя из газодинамических условий (газопроницаемости шихты), в комплексе с расчётом расхода и давления дутья, степени прямого восстановления.

Расход и давление дутья в новых условиях хода плавки определяется путём оценки влияния на них изменений в новых условиях по сравнению с базовыми. Для этого используется зависимость перепада давления газа  $\Delta P$  от расхода дутья за 1 мин на  $1 \text{ м}^3$  полезного объема печи ( $V_{1\partial}$ ), описываемая выражением [1, 2]:

$$\Delta P = \lambda_{ш} \cdot V_{1\partial}^m / (P_{\partial} + P_{кз}) \quad (1)$$

где  $\lambda_{ш}$  – коэффициент сопротивления шихты;  $P_{\partial}$  и  $P_{кз}$  – давление дутья и колошниковый газ соответственно;  $m$  – показатель степени в формуле потерь напора, учитывающий режим движения газового потока.

Общий коэффициент сопротивления шихты для базового периода можно выразить из формулы (1):

$$\lambda_{ш} = ((P_{\partial\delta} + P_{кз}) \cdot \Delta P_{\delta}) / V_{\delta 1\partial}^m,$$

где  $P_{\partial\delta}$ ,  $P_{кз}$  – давление дутья и колошниковый газ в базовых условиях;  $\Delta P_{\delta}$  – общий перепад давления газа в базовых условиях;  $V_{\delta 1\partial}$  – расход дутья за 1 мин на  $1 \text{ м}^3$  полезного объема печи в базовых условиях.

Для расчёта величины этого коэффициента отдельно для кокса и железорудного материала используется зависимость соотношения коэффициентов сопротивления от соотношения эквивалентной по поверхности крупности этих материалов:

$$\lambda_{жс} / \lambda_{к} = a + b(f_{жс} / f_{эжс}) \quad (2)$$

где  $\lambda_{к}$ ,  $\lambda_{жс}$  – коэффициенты сопротивления кокса и железорудных материалов соответственно;  $f_{жс}$  и  $f_{эжс}$  – эквивалентная по поверхности крупность кокса и железорудных материалов соответственно.

Получается система уравнений

$$\begin{cases} \lambda_{шш} = \lambda_{бк} \cdot v_{бк} + \lambda_{бжс} \cdot (1 - v_{бк}), \\ \lambda_{жс} / \lambda_{к} = a + b(f_{жс} / f_{эжс}), \end{cases}$$

где  $v_{бк}$  – объёмная доля кокса в шихте базового периода.

В результате решения этой системы уравнений определяются коэффициенты сопротивления кокса  $\lambda_{бк}$  и железорудной части шихты  $\lambda_{бжс}$ .

Для расчёта величины этих коэффициентов в новых условиях используется их зависимость от эквивалентной по поверхности крупности:

$$\lambda_{нжс} = \lambda_{бжс} (f_{бэжс} / f_{нэжс}),$$

$$\lambda_{нк} = \lambda_{бк} (f_{бжк} / f_{нжк}),$$

где  $f_{нжс}$  и  $f_{нэжс}$  – эквивалентная по поверхности крупность кокса и железорудных материалов в новых условиях соответственно.

Общий коэффициент сопротивления шихты для новых условий составляет

$$\lambda_{шш} = \lambda_{нк} \cdot v_{нк} + \lambda_{нжс} \cdot (1 - v_{нк}).$$

Допустимый общий перепад давления в рассматриваемых новых условиях  $\Delta P_n$  определяется по формуле

$$\Delta P_n = V \cdot H_p \cdot \rho_{шш} + \delta P_{\phi},$$

где  $V$  – допустимая степень уравновешивания шихты подъемной силой газового потока в новых условиях;  $H_p$  – рабочая высота печи;  $\rho_{шш}$  – насыпная плотность шихты в новых условиях ведения доменной плавки;  $\delta P_{\phi}$  – перепад давления дутья от места замера давления до торца фурмы.

Расход дутья за 1 мин на  $1 \text{ м}^3$  полезного объема печи  $V_{н1\partial}$  для новых условий определяется по формуле

$$V_{н1\partial} = m \sqrt{\frac{\Delta P_n}{\lambda_{шш}}}.$$

Тогда интенсивность по дутью в новых условиях  $I_{нд}$  ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) составляет

$$I_{нд} = V_{нд} \cdot V_n,$$

где  $V_n$  – полезный объем печи,  $\text{м}^3$ .

Избыточное давление дутья в новых условиях

$$P_{нд} = P_{нкз} + \Delta P_n. \quad (3)$$

Расчет допустимой величины общего перепада давления газа позволяет оценить количество работы газового потока, основываясь на уравнении первого закона термодинамики и используя соотношение между параметрами состояния газа:

$$q = \Delta U + A,$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Количество работы газового потока по преодолению сопротивления шихты в пространстве доменной печи  $A_c$  в новых условиях определяется по формуле

$$A_c = R \left( n_{nz} T_{nz} \ln \frac{P_{nz}}{P_{нд}} + n_{фz} T_z \ln \frac{P_{нд}}{P_{кз}} + n_{CO} T_p \ln \frac{P_n}{P_{кз}} \right),$$

где  $n_{nz}$  – количество природного газа, кмоль/т чугуна;  $n_{фz}$  – количество фурменного газа, кмоль/т чугуна;  $n_{CO}$  – количество монооксида углерода, образовавшегося при восстановлении сырья, кмоль/т чугуна;  $T_{nz}$  – температура природного газа, К;  $T_z$  – теоретическая температура горения, К;  $T_p$  – температура протекания реакций восстановления, К;  $P_{nz}$ ,  $P_{нд}$  – давление природного газа и дутья, кПа;  $P_n$  – давление в зоне протекания реакций прямого восстановления, кПа;  $P_{кз}$  – давление на колошнике, кПа;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К.

Ведение доменной печи с повышенным общим перепадом давления газа обеспечивает увеличение количества полезной работы, совершаемой газовым потоком с улучшением результатов доменной плавки. По выполненным исследованиям на доменных печах увеличение общего перепада давления на 10 кПа сопровождалось уменьшением удельного расхода кокса в среднем на 8 кг/т чугуна и увеличением производительности доменной печи на 2,1%.

Ухудшение газопроницаемости шихты будет сопровождаться увеличением затрат тепла на совершение такого же или большего количества работы без улучшения результатов плавки.

Определение расхода дутья позволяет рассчитать степень прямого восстановления. Имеются положительные и отрицательные стороны действия прямого восстановления на результаты доменной плавки, наряду с ранее отмечаемыми [3].

Положительное влияние:

- известный низкий расход углерода на связывание кислорода восстанавливаемых оксидов; образующийся монооксид углерода частично участ-

вует в процессе косвенного восстановления;

- действие на формирование зоны замедленного теплообмена, благоприятной для косвенного восстановления;
- малое количество газов, образующихся при восстановлении, что благоприятно для газодинамики доменного процесса: при прямом восстановлении сквозь шихту поднимается в 5–10 раз меньше газов, чем при косвенном;
- увеличение предельной степени использования газов-восстановителей;
- высокая скорость протекания процесса восстановления при высоких температурах;
- промывающее действие от мелочи кокса и “спели”.

Отрицательное влияние:

- известное повышенное потребление тепла на проведение процесса восстановления;
- ухудшение газодинамических условий в зоне формирования первичных и промежуточных шлаков при избыточном развитии прямого восстановления;
- увеличение количества работы на образование газов.

Для расчета степени прямого восстановления по балансу углерода определяется количество углерода, расходуемого на прямое восстановление железа и взаимодействие с  $\text{CO}_2$  известняка ( $Cd_{Fe} + Cd_u$ ), вычитая из количества газифицируемого углерода ( $C_o$ ) потребление на горение у фурм ( $C_\phi$ ) и восстановление примесей чугуна ( $Cd_{np}$ ):

$$Cd_{Fe} + Cd_u = C_o - (C_\phi + Cd_{np}).$$

Количество газифицируемого углерода  $C_o$  определяется по его поступлению в печь с коксом, природным газом (топливными добавками) и с карбонатами шихтовых материалов. Количество углерода, расходуемого на прямое восстановление примесей чугуна и проведение реакции десульфурации чугуна  $Cd_{np}$ , определяется по составу чугуна и стехиометрическим соотношениям в соответствующих реакциях.

Количество углерода, сгорающего у фурм  $C_\phi$ , определяется по количеству кислорода, поступающего в зону горения с дутьем:

$$C_\phi = V_o \cdot (O_{2o}/100) \cdot (2 \cdot 12/22,4).$$

Выражение, характеризующее расход углерода на прямое восстановление железа, имеет вид

$$Cd_{Fe} = Fe_e \cdot (12/56) \cdot (r_d/100).$$

Выражение, характеризующее расход углерода на взаимодействие с  $\text{CO}_2$  известняка, имеет вид

$$Cd_u = I \cdot (CO_{2I}/100) \cdot (12/44) \cdot (r_d/100),$$

где  $Fe_e$  – количество железа, переходящего в чугун за вычетом поступающего в металлическом состоянии, кг;  $I$  – расход известняка, кг;  $CO_{2I}$  – содержание  $\text{CO}_2$  в известняке, %;  $r_d$  – степень прямого восстановления, %.

Расчёт величины “а” по  $a = Fe_6 \cdot (12/56)/100$  и величины “b” по  $b = I \cdot (CO_{2II}/100) \cdot (12/44)/100$  позволяет определить степень прямого восстановления из выражения

$$(a + b) \cdot r_d = Cd_{Fe} + Cd_{II}.$$

Зная степень прямого восстановления, количество железа и примесей, восстановленных углеродом, можно определить количество работы образования газа  $A_o$  в доменной печи:

$$A_o = \Delta n_{CO} \cdot R \cdot T_p,$$

где  $\Delta n_{CO}$  – изменение количества молей монооксида углерода в результате протекания реакций восстановления углеродом, моль/т чугуна.

В соответствии с этим выражением развитие прямого восстановления ведет к увеличению работы образования газов.

### Заключение

Представлены зависимости для определения расхода и давления дутья, степени прямого восстановления на основе допустимой степени уравнивания шихты подъёмной силой газового потока при ведении доменной плавки с повышенным общим перепадом давления газов.

Полученные аналитические выражения позволяют рассчитать количество совершаемой работы газовым потоком по преодолению сопротивления шихты, а также работы образования газов при протекании реакций.

### Список литературы

1. Стефанович М.А. Анализ хода доменного процесса. Свердловск: Metallurgizdat, 1960. 236 с.
2. Стефанович М.А., Сибататуллин С.К. Рациональная организация

- хода основных процессов в противоточной зоне доменной печи // Производство чугуна. Свердловск: УПИ, 1983. С. 80–86.
3. Металлургия чугуна / Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н., Юсфин Ю.С. и др. М.: Академкнига, 2004. 774 с.
4. Теплообмен и повышение эффективности доменной плавки / Н.А. Спирин, Ю.Н. Овчинников, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: УГТУ, 1995. 243 с.
5. Основы теории и технологии доменной плавки / Дмитриев А.Н., Шумаков Н.С., Леонтьев Л.И., Онорин О.П. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 545 с.
6. Сысоев Н.П. Влияние скорости и опускания столба шихты в доменной печи на его порозность // Производство чугуна. Магнитогорск: МГМА, 1994. С. 4–6.
7. Доменная плавка с повышенной долей агломерата в шихте / В.А. Гостенин, А.Л. Мавров, М.Ф. Гибадулин, Н.С. Штафьенко // Сталь. 2006. № 11. С. 20–21.

### Bibliography

1. Stefanovich M.A. The analysis of the blast furnace process. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 1960. 236 p.
2. Stefanovich M.A., Sibagatullin S.K. Rational organization of basic processes in the counterflow zone of a blast furnace // Pig-iron Manufacture. Sverdlovsk: UPI, 1983. P. 80–86.
3. Vegman E.F., Zherebin B.N., Pohvisnev A.N., Jusfin J.S., etc. Pig-iron Metallurgy. M.: Academkniga, 2004. 774 p.
4. Heat exchange and increase of efficiency of blast furnace melting / A. Sprin, J.N. Ovchinnikov, V.S. Shvydki, J.G. Jaroshenko. Ekaterinburg: USTU, 1995. 243 p.
5. Dmitriev A.N., Shumakov N.S., Leontev L.I., Onorin O.P. Basics of the theory and technology of blast furnace melting. Ekaterinburg: The Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 2005. 545 p.
6. Sysoyev N.P. The influence of rate of lowering of a raw materials column in a blast furnace on its fractional void volume // Pig-iron Manufacture. Magnitogorsk: Mountain-metallurgical academy, 1994. P. 4–6.
7. Blast furnace melting with the raised share of agglomerate in raw materials / V.A. Gostenin, A.L. Mavrov, M.F. Gibadulin, N.S. Shtafienko // The Steel. 2006. № 11. P. 20–21.

УДК 621.746.5.047

Казаков А.С., Столяров А.М.

## ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ РОЛИКОВ ЗВО МНЛЗ НА ТЕПЛОТВОД ОТ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Для оценки степени влияния внутреннего охлаждения роликов зоны вторичного охлаждения (ЗВО) криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком на суммарную величину теплоотвода от слябовой заготовки использовался расчётный метод.

Исследование проводилось в верхней части зоны вторичного охлаждения криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком, включающей в себя первую секцию роликов и зону загиба сляба, состоящую из трёх роликовых секций по пять роликов в каждой секции. Схема исследуемого участка представлена на рис. 1.

Выбор данного участка зоны вторичного охлаждения для проведения исследования обусловлен тем, что на нём осуществляется поточный контроль расходов воды, подаваемой внутрь роликов для их охлаж-

дения, а также температуры воды на входе и выходе из системы охлаждения. В нижерасположенных роликовых секциях данные параметры не контролируются.

Первая секция роликов и зона загиба имеют протяжённость 760 и 3354 мм соответственно. Вертикальный участок ЗВО машины состоит из пяти роликов первой секции, имеющих диаметр 155 мм, и четырёх верхних роликов зоны загиба с диаметром 180 мм. Общая протяжённость вертикального участка ЗВО составляет 1645 мм. Остальные одиннадцать роликов зоны загиба имеют диаметр 180 мм.

На первом этапе исследований проводился сбор и анализ исходных данных, необходимых для проведения расчётов с целью оценки степени влияния внутреннего водяного охлаждения роликов на теплоотвод

от сляба. Для этого была проконтролирована разливка металла 340 плавков. На этих плавках производилось опытное измерение температуры поверхности широкой грани в осевой части слябовой заготовки по малому радиусу. Для этого в трёх точках на технологической оси машины, расположение которых стрелками указано на рис. 1, были установлены пирометры марки «Термоскоп 800». Измерение температуры производилось в доступных для осуществления этого местах технологической оси машины: на входе в первую роликовую секцию (первая точка), на входе в зону загиба (вторая точка) и на выходе из неё (третья точка). Данные о параметрах проконтролированных плавков представлены в таблице.

Из этой таблицы видно, что разливалась сталь различных марок: СтЗсп (30 плавков – около 9% от общего количества плавков), S235JR (55 плавков – 16%), 20 (33 плавки – 10%) и 17Г1С-У (222 плавки – 65%). Разливка производилась на слябы с одинаковой толщиной 250 мм и разной шириной: 1270, 1560, 1730, 2050 и 2300 мм. Скорость вытягивания слябовых заготовок из кристаллизатора зависела от размеров поперечного сечения и изменялась в диапазоне от 0,5 до 0,9 м/мин с шагом 0,1 м/мин.

На каждой плавке дополнительно фиксировались температура и расходы воды, циркулирующей в каждой из четырёх роликовых секций. Контролировался и химический состав разливаемого металла по данным о

содержании элементов в маркировочных пробах.

На втором этапе исследований осуществлялся расчёт относительного количества тепла, отводимого от непрерывно-литой заготовки водой, используемой для внутреннего охлаждения роликов начального участка ЗВО.

Расчёт производился последовательно для каждого из четырёх участков зоны вторичного охлаждения МНЛЗ: первой роликовой секции, составляющей верхнюю часть вертикального участка ЗВО машины; первого участка зоны загиба из пяти роликов – второй роликовой секции, второго участка зоны загиба из пяти роликов – третьей роликовой секции и третьего участка зоны загиба из пяти роликов – четвёртой роликовой секции. Расчёт осуществляется для середины каждого участка в следующей последовательности:

1. Вычисляется продолжительность времени от начала процесса кристаллизации заготовки по формуле

$$\tau_i = \frac{L_{i\text{cp}}}{v}, \tag{1}$$

где  $\tau_i$  – продолжительность времени от начала кристаллизации заготовки, мин;  $L_{i\text{cp}}$  – расстояние от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до середины  $i$ -го участка зоны вторичного охлаждения, м;  $v$  – величина скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора, м/мин.

2. Определяется толщина слоя затвердевшего металла с использованием формулы

$$\xi_i = k_s \cdot 10^{-3} \sqrt{\tau_i}, \tag{2}$$

где  $\xi_i$  – толщина слоя затвердевшего участка в середине  $i$ -го участка зоны вторичного охлаждения, м;  $k_s$  – величина коэффициента затвердевания металла, мм/мин<sup>0.5</sup>.

3. Подсчитывается плотность теплового потока от

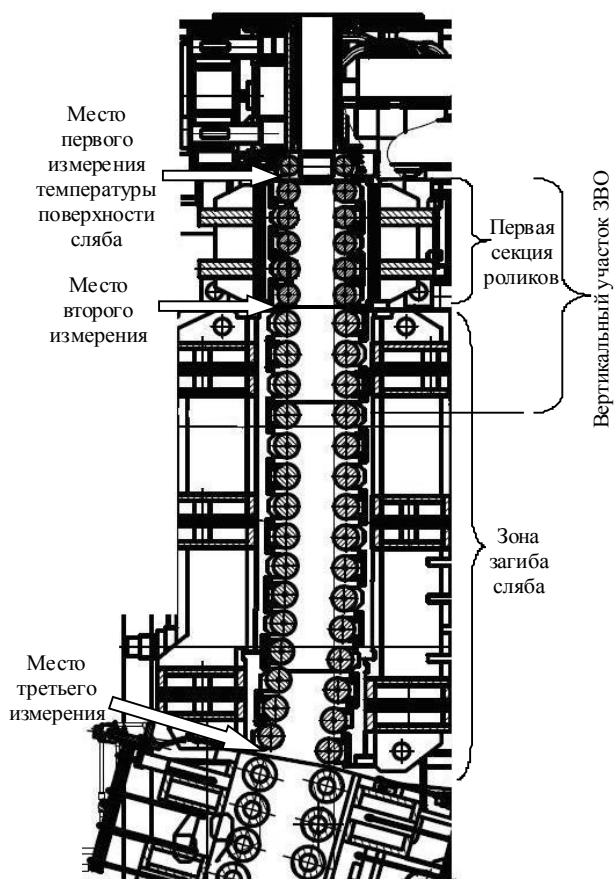


Рис. 1. Схема исследуемого участка зоны вторичного охлаждения криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком

**Данные параметров проконтролированных плавков**

Марка стали	Стандарт	Количество плавков, шт.	Ширина сляба, мм	Скорость вытягивания сляба, м/мин	Количество измерений температуры в каждой точке
СтЗсп	ГОСТ 380-2005	30	1270	0,7	1541
S235JR	СТО ММК 209-2006	28		0,8	1410
		27	0,9	1370	
20	ГОСТ 1050-80	33	1560	0,7	1643
17Г1С-У	ТУ 14-1-1950-2004	33	1730	0,6	1682
		33		0,7	1682
		33		0,8	1682
17Г1С-У	ТУ 14-1-1950-2004	33	2050	0,7	1670
17Г1С-У	ТУ 14-1-1950-2004	30	2300	0,5	1528
		30		0,6	1528
		30		0,7	1511

жидкой сердцевинки к поверхности заготовки через слой затвердевшего металла

$$q_{внi} = \lambda \frac{(t_{ликв} - t_{носi})}{\xi_i}, \quad (3)$$

где  $q_{внi}$  – плотность теплового потока от жидкой сердцевинки к поверхности заготовки, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности затвердевшего металла, Вт/(м·град);  $t_{ликв}$  – температура ликвидус стали, °С;  $t_{носi}$  – температура поверхности широкой грани по оси заготовки, °С.

4. Температура поверхности широкой грани по оси заготовки находится по степенной зависимости, получаемой в результате аппроксимации опытных значений замеров температуры в трёх точках зоны вторичного охлаждения машины при разливке металла каждой плавки

$$t_{нави} = a_1 \cdot L_{i360}^{-a_2}, \quad (4)$$

где  $a_1$  – величина коэффициента регрессии;  $a_2$  – величина степени полученной зависимости;  $L_{i360}$  – расстояние от начала зоны вторичного охлаждения машины до середины  $i$ -го участка этой зоны, м.

5. В формуле (3) температура ликвидус определяется из выражения

$$t_{ликв} = 1539 - 73[C] - 12[Si] - 3[Mn] - 30[S] - 28[P] - 1[Cr] - 3,5[Ni] - 7[Cu] - 3[Al] - 3[Mo], \quad (5)$$

где 1539 – температура кристаллизации чистого железа, °С; 73; 12; 3; 30; 28; 1; 3,5; 7; 3; 3 – величины снижения температуры кристаллизации железа при введении в него 1% соответственно углерода, кремния, марганца, серы, фосфора, хрома, никеля, меди, алюминия и молибдена, °С/%; [C], [Si], [Mn], [S], [P], [Cr], [Ni], [Cu], [Al], [Mo] – содержание в стали соответственно углерода, кремния, марганца, серы, фосфора, хрома, никеля, меди, алюминия и молибдена, %.

6. Площадь поверхности заготовки, через которую проходит тепловой поток от жидкой сердцевинки заготовки, вычисляется по формуле

$$F_i = 2(a + b - 4\xi_i)L_i, \quad (6)$$

где  $F_i$  – площадь поверхности заготовки, м<sup>2</sup>;  $a$ ,  $b$  – толщина и ширина отливаемой заготовки, м;  $L_i$  – длина  $i$ -го участка ЗВО, м.

7. Определяется величина теплового потока от жидкой сердцевинки к поверхности заготовки через слой затвердевшего металла

$$Q_{внi} = q_{внi} \cdot F_i. \quad (7)$$

8. Количество тепла, теряемого заготовкой с охлаждающей водой, циркулирующей внутри роликов, подсчитывается по формуле

$$Q_{полi} = (V_{ei} \cdot \rho_e \cdot c_e \cdot \Delta t_e) / 3,6, \quad (8)$$

где  $Q_{полi}$  – количество тепла, теряемого заготовкой на нагрев воды, циркулирующей в роликах, Вт;  $V_{ei}$  – расход воды, подаваемой внутрь роликов, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho_e$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $c_e$  – удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг·град);  $\Delta t_e$  – величина перепада температуры воды в роликах, °С.

9. Вычисление относительного количества тепла, отводимого от непрерывно-литой заготовки водой, используемой для внутреннего охлаждения роликов, производится по формуле

$$\eta_i = \frac{Q_{полi}}{Q_{внi}} \cdot 100, \quad (9)$$

где  $\eta_i$  – доля тепла, теряемого заготовкой с циркулирующей внутри роликов водой, %.

При проведении расчётов было принято допущение, что температура поверхности по оси обеих широких граней сляба по малому и большому радиусам МНЛЗ является одинаковой.

Расчёт осуществлялся в электронных таблицах Excel. Результаты выполненных расчётов представлены на рис. 2 и 3.

На рисунках представлено изменение доли теряемого заготовкой тепла в различных роликовых секциях исследуемого участка ЗВО в зависимости от скорости вытягивания из кристаллизатора сляба одинаковой ширины и от ширины отливаемой заготовки при одинаковой скорости вытягивания. Пунктирными линиями показан диапазон изменения изучаемого параметра, а сплошной линией – средние значения.

Анализ полученных цифровых данных показывает, что доля тепла, теряемого слябом вследствие внутреннего охлаждения роликов водой, изменяется в достаточно широком диапазоне: от 11,0 до 22,5% (отн.) и в среднем составляет 15,9% (отн.). При этом теплосъём от сляба в различных роликовых секциях существенно различается.

В первой роликовой секции зоны вторичного охлаждения МНЛЗ существуют возрастающие зависимости доли теряемого слябом тепла ( $\eta$ , %) от скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора ( $v$ , м/мин) и ширины сляба ( $b$ , мм). Выявленные для первой секции роликов зависимости представлены следующими уравнениями:

$$\eta = 6,2v + 16,1; \quad (10)$$

$$\eta = 0,005b + 11,3. \quad (11)$$

При этом наиболее сильное охлаждающее воздействие оказывает увеличение ширины отливаемого сляба в рассмотренном диапазоне от 1270 до 2300 мм. Возрастание ширины заготовки на каждые 100 мм вызывает увеличение потерь тепла слябом примерно на 0,5% (отн.).

В нижерасположенных роликовых секциях (со второй по четвёртую) зависимость тепловых потерь сляба с охлаждающей водой внутри роликов от ско-

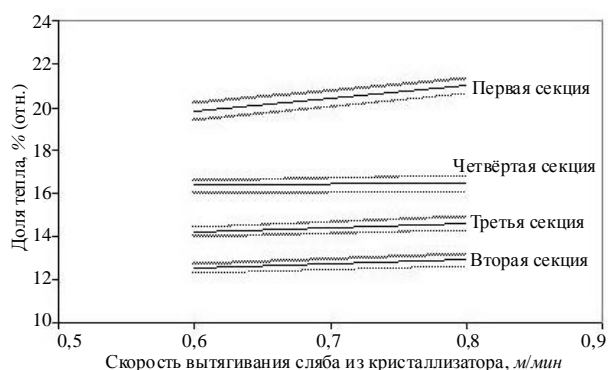


Рис. 2. Изменение доли тепла, теряемого заготовкой с водой, циркулирующей внутри роликов разных секций ЗВО, в зависимости от скорости вытягивания из кристаллизатора сляба шириной 1730 мм

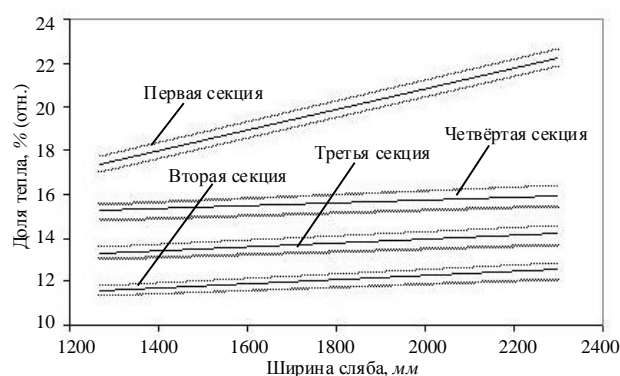


Рис. 3. Изменение доли тепла, теряемого заготовкой с водой, циркулирующей внутри роликов разных секций ЗВО, в зависимости от ширины сляба при скорости вытягивания заготовки 0,7 м/мин

рости вытягивания и ширины заготовки выражена либо очень слабо, либо практически отсутствует. При этом следует заметить, что во второй роликовой секции съём тепла от заготовки является минимальным, а в третьей и четвёртой секциях постепенно возрастает, однако, не достигая максимального уровня, характерного для первой роликовой секции.

Вышесказанное свидетельствует о том, что при использовании фактических расходов воды для внутреннего охлаждения роликов исследуемого участка ЗВО МНЛЗ, не обеспечивается стабильный отвод тепла от отливаемой слябовой заготовки по длине зоны вторичного охлаждения.

Таким образом, расчётным методом с использованием экспериментальных данных определены значения относительного количества тепла, отводимого от непрерывно-литой заготовки водой, используемой для внутреннего охлаждения роликов начального участка ЗВО криволинейной слябовой МНЛЗ с вертикальным участком. При отливке слябов толщиной 250 мм и шириной 1270, 1560, 1730, 2050 и 2300 мм со скоростью

вытягивания заготовок из кристаллизатора от 0,5 до 0,9 м/мин расчётные значения относительного количества тепла изменялись в диапазоне от 11,0 до 22,5% (отн.) и в среднем составили 15,9% (отн.).

Для верхней половины вертикального участка ЗВО машины установлены возрастающие зависимости доли теряемого слябом тепла с водой для внутреннего охлаждения роликов от скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора и от ширины сляба. Увеличение ширины заготовки на каждые 100 мм вызывает рост потерь тепла слябом с водой примерно на 0,5% (отн.). В нижерасположенной части исследуемого участка ЗВО зависимость тепловых потерь сляба с охлаждающей водой внутри роликов от скорости вытягивания и от ширины заготовки выражена очень слабо либо практически отсутствует.

Существующие расходы воды для внутреннего охлаждения роликов исследуемого участка ЗВО МНЛЗ не обеспечивают стабильный отвод тепла от отливаемой слябовой заготовки по длине зоны вторичного охлаждения машины.

УДК 621.74.045

Чернов В.П., Селиванова Е.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОГНЕУПОРНЫХ СУСПЕНЗИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Литейную форму стоит рассматривать как инструмент для обработки жидкого металла – получение отливок с заданными размерами, чистой поверхностью, структурой и свойствами.

Наиболее существенными особенностями изготовления форм и формирования свойств отливок при литье по выплавляемым моделям является то, что основой способа является неразъемная и негазотворная горячая оболочка с гладкой рабочей поверхностью [1].

Основными материалами керамических оболочковых форм (КО), как правило, являются высокоогне-

упорные окиды ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др), а также связующее вещество. В КО получают отливки практически из всех известных сплавов, используемых в промышленности. Для изготовления оболочковых форм используют огнеупорные материалы зернистых и пылевидных фракций. Рекомендуемые области применения пылевидных и зернистых фракций огнеупорных материалов при производстве КО приведены в табл. 1.

Из числа приведенных огнеупорных материалов наибольшее распространение получил карьерный кварцевый песок и получаемый из него кварц пыле-

видный (кварц кристаллический). Кроме того, для изготовления КО достаточно широко используют высокоглиноземистый шамот, белый электрокорунд и дистен-силлиманит.

Кварц кристаллический является природным минералом. Для обсыпки блоков используют кварцевые пески с содержанием глинистой составляющей не более 2% (по массе) и низкой долей мелких фракций. Для обсыпки первого слоя применяют пески со средним размером частиц 0,16–0,20 мм, для последующих слоев – более крупные пески со средним размером частиц 0,315–0,40 мм.

Наиболее существенным недостатком кварцевого песка как огнеупорного материала, используемого для изготовления оболочек, является его значительное и «скачкообразное» изменение объема при нагреве и охлаждении, вызванное наличием полиморфного превращения его структуры [2].

Для сохранения бездефектной структуры КО наиболее существенным является изменение объема кварцевого песка (увеличение на 1,4% при нагреве), происходящее при температуре 575°C. Резкое изменение объема зерен кварцевого песка в структуре керамической оболочки при 575°C приводит к образованию в теле керамической формы достаточно большого количества микротрещин. В результате этого прокаленные формы, изготовленные на основе кварцевого песка, обладают невысокой прочностью, термостойкостью и требуют определенного режима прокаливания. Кроме того, результатом полиморфного превращения кварцевого песка является относительно невысокая и недостаточно стабильная точность получаемых отливок.

Пылевидные огнеупорные материалы (ПМ) используют в качестве наполнителей огнеупорных суспензий,

а также для изготовления керамических стержней. От них во многом зависят технологические свойства огнеупорных суспензий, физико-химические свойства КО и керамических стержней и в конечном счете качество отливок. Основными показателями каждого конкретного ПМ является его дисперсность, гранулометрический состав, форма зерен и содержание примесей.

Наиболее целесообразным методом изготовления ПМ является совмещение струйного способа помола зернистого материала с их последующей кратковременной обработкой в вибромельнице. Использование вышеописанной схемы помола позволяет получать ПМ с относительно невысоким содержанием железа и формой частиц огнеупорного материала, близкой к округлой [2].

Жидкие керамические смеси получают путем смешивания в определенной пропорции гидролизованного раствора этилсиликата с огнеупорным материалом заданного гранулометрического состава при добавлении небольшого количества ускорителя твердения [5].

Жидкие керамические смеси могут иметь различные плотность и вязкость, что зависит от количества и гранулометрии огнеупора; эти же параметры влияют и на другие технологические свойства керамических смесей и керамических литейных форм.

При ручном нанесении первый, а иногда и второй слой оболочки формируют суспензией с меньшей вязкостью, чем последующие слои. В зависимости от вязкости суспензии подбирают и зернистость обсыпочного материала. При жидких суспензиях используют мелкий, а при густых крупный обсыпочный материал. При изготовлении суспензии, связующим которой является водный раствор коллоидного кремнезема, следует иметь в виду, что во время выстаивания суспензии происходит смачивание поверхности час-

**Таблица 1**

**Рекомендуемые области применения материалов для изготовления КО**

Огнеупорный материал	Сплав отливки								
	Сталь			Чугун	НК (заливка в вакууме)	НК (заливка на воздухе)	Медные сплавы	Алюминиевые сплавы	Магниеые сплавы
	УНС	М	В						
Кварц кристаллический	П-3	З	П-3	П-3		П-3	П-3	П-3	П-3
Кварц аморфный			П-3						
Дистен-силлиманит	П-3		П	П	П	П	П-3	П-3	П-3
Электрокорунд белый		П-3	П-3		П-3	З			
Окись магния		П-3							
Шамот высокоглиноземистый	П-3		З	П-3	З	П-3	П-3	П-3	П-3
Муллит			П-3		П-3				
Концентрат цирконовый		П	П		П				

*Примечание.* П – пылевидный материал (для приготовления огнеупорной суспензии), З – зернистый материал (для обсыпки блоков), УНС – стали конструкционные и нелегированные, высокоуглеродистые, низко- и среднелегированные, магнитные сплавы, М – стали марганцовистые с содержанием марганца более 1%, В – стали высоколегированные (кроме марганцовистых), НК – никелевые и кобальтовые жаропрочные сплавы.

тиц пылевидного огнеупорного материала и вязкость суспензии снижается. Снижается также вязкость во время выстаивания суспензий со спиртовыми растворами этилсиликата, но в меньшей мере. Поэтому такой эффект понижения вязкости суспензии необходимо учитывать при ее изготовлении.

Нанесение слоев суспензии на блок моделей является важнейшей операцией при формировании керамической оболочки, влияющей на качество отливок. Одним из основных требований к качеству суспензии является возможность более длительного сохранения ее постоянных свойств. Поэтому работа с суспензией должна быть максимально простой, и оболочки должны отверждаться быстро. Эти требования связаны со свойствами суспензий.

Суспензии, состоящие из огнеупорного наполнителя коллоидального раствора кремнезема и его гидратов, стареют, и их свойства изменяются по истечении определенного количества времени. Практически это проявляется в том, что через некоторое время после приготовления суспензии становится трудно получить равномерные по толщине оболочки, прочностные свойства керамики снижаются и увеличивается склонность к растрескиванию формы.

Огнеупорный материал, используемый для суспензии, не должен содержать вещества, которые приводят к нарушению стабильности золя и вызывают укрупнение коллоидных дисперсий, кремнезема и их гидратов за счет соединения мельчайших частиц – дисперсоидов в крупные агрегаты [3].

С целью изучения влияния добавок различных наполнителей на свойства суспензии определили рН гидролизованного этилсиликата без добавок мелкодисперсной основы, а также с введением таких добавок, как маршалит, доменный шлак, магнезит, зола ТЭЦ ОАО «ММК». При проведении опытов на маршалите рН суспензии составляет 2,2, следовательно, среда раствора является кислой.

При добавлении прокаленного гранулированного доменного шлака в раствор, в котором в качестве связующего использован этилсиликат, рН возрастает до 6,3. При этом происходит быстрая полимеризация и затвердевание суспензии. Химический состав доменного шлака приведен в табл. 2. Аналогичные результаты получены и при использовании в качестве материала основы оболочек магнезита, твердение при введении которого происходит при рН=6,45. Следовательно, если рН суспензии становится больше 6, то есть среда раствора переходит из кислой в нейтральную, происходит полимеризация и быстрое затвердевание суспензии.

Интересные результаты были получены при использовании в качестве материала основы золы ТЭЦ ОАО «ММК». В процессе перемешивания связующего раствора с пылевидной составляющей был измерен рН суспензии, который составил 2,7 [4].

Таким образом, проведенные исследования показали, что для этилсиликатных связующих нецелесообразно использование основных наполнителей, поскольку это приводит к быстрому твердению, а возможно применение только кислотных и нейтральных

наполнителей или наполнителей, не содержащих активных оксидов CaO и MgO, при введении которых рН среды не превышает 4,3. Тем не менее, возможно частичное введение в суспензию основных материалов для регулирования времени ее живучести.

Для того чтобы проверить адекватность полученных результатов в выстаиванный раствор гидролизованного этилсиликата была добавлена известковая пыль. При процентном соотношении 89% гидролизованного этилсиликата и 11% известковой пыли была получена творожнообразная масса, то есть суспензия начинает уже затвердевать при таком массовом соотношении. Таким образом, время живучести суспензии минимально, что не позволяет работать с такой суспензией в производственных условиях. А использование известковой пыли в качестве наполнителя суспензии невозможно. Следовательно, предположение, изложенное ранее, подтвердилось.

В литейной лаборатории кафедры ЭМ и ЛП были проведены исследования по сокращению времени сушки слоев форм путем добавления в суспензию в качестве катализатора золы ТЭЦ и доменного шлака. Составы этих отходов производства приведены в табл. 2.

При добавлении в суспензию доменного шлака как основы суспензии и ускорителя процесса происходит мгновенное затвердевание самой суспензии. Помещение заполняется неприятным запахом, сходным с запахом сероводорода.

Эксперименты показали, что использование доменного шлака как катализатора процесса нецелесообразно, так как при частичном его добавлении в суспензию, в которой в качестве основы был использован маршалит, происходит сначала расслоение суспензии, а затем ее твердение.

Чтобы избежать расслоения суспензии, измельчили зерно доменного шлака до пылевидного, твердение суспензии вследствие этого ускорилось. Таким образом, использование доменного шлака в качестве основы суспензии является нецелесообразным.

Следующим шагом было проведение экспериментов по введению золы ТЭЦ в качестве основы суспензии. Эксперименты были проведены на 100 мл этилсиликата. При добавлении 10 г золы ТЭЦ и выстаивании 35 мин твердения не происходит.

При добавлении еще 10 г и выстаивании 35 мин аналогичный эффект, но после прибавления еще 10 г и выстаивании 25 мин часть золы ТЭЦ принимает пластилинообразную массу. При введении еще 10 г пылевидный материал медленно и постепенно осажается на дно емкости, т. е. переход к пластилинооб-

Таблица 2

Оксидные составляющие отходов производства

Шлак	Содержание, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	Прочие	MnO
Зола ТЭЦ	62–66	13–17	2–5	2–5	25–35	2–4	
Доменный шлак	30–40	5–15	35–45	3–20	0,1–1,0		0,2–3,0



разной массе по большему объему суспензии.

При внесении следующих 10 г и выстаивании 30 мин осаждение постепенно ускоряется и слой увеличивается в 2,5 раза. При внесении последующих 10 г через 7 мин происходит полное затвердевание суспензии. Таким образом, при процентном соотношении 62,5% гидролизованного этилсиликата к 37,5% золы ТЭЦ происходит полное твердение суспензии. Следовательно, именно золу ТЭЦ можно применять в качестве катализатора процесса.

В дальнейшем проводили исследования по частичному введению золы ТЭЦ как ускорителя процесса. Полученные данные представлены в табл. 3.

В первом опыте в суспензию добавляли 50 г золы ТЭЦ и 25 г маршалита, т. е. 67% золы ТЭЦ и 33% маршалита, твердение суспензии – через 5 минут.

При добавлении в гидролизованный этилсиликат 40 г золы ТЭЦ (57%) и 30 г маршалита (43%) твердение суспензии при перемешивании не происходит (опыт № 2). При нанесении первого огнеупорного слоя на модель и обсыпки его золой ТЭЦ полное его затвердевание происходит через 5 мин. Такие же результаты получены и при нанесении последующих 3 слоев. Стоит отметить то, что такое быстрое твердение достигнуто при отсутствии аммиачной сушки. Но после 23 мин происходит загустение суспензии и ее постепенное затвердевание.

При проведении третьего опыта и добавлении 40 г (53%) золы ТЭЦ и 35 г (47%) маршалита было нанесено три слоя керамического покрытия, через 19 мин наступило загустение и последующее за ним твердение суспензии.

При добавлении 40 г золы ТЭЦ (50%) и 40 г маршалита (50%) было нанесено всего 2 слоя суспензии и на 16-й минуте суспензия затвердела, т. е. время ее живучести сократилось (опыт № 4).

Последующий эксперимент был произведен при 42 г золы ТЭЦ (56%) и 33 г маршалита (44%), твердение произошло после нанесения трех слоев на 18 минуте.

Полученные данные не однозначны и требуют проведения последующих и более тщательных экспериментов.

На данный момент по проведенным экспериментам, где в качестве катализатора процесса используется зола ТЭЦ, можно сделать следующие выводы:

– так как в огнеупорной суспензии со связующим,

обладающим кислыми свойствами, присутствует железо, то водородный показатель (рН) повышается, что приводит к снижению времени живучести раствора;

– примесь железа в ПМ нежелательна еще и потому, что в связующих веществах, обладающих кислыми свойствами и содержащих соляную кислоту в качестве катализатора реакции гидролиза этилсиликата, происходит взаимодействие соляной кислоты и железа с выделением водорода, что приводит к вспениванию суспензии и повышению ее вязкости.

В связи с этим, из наполнителя перед использованием в составе огнеупорной суспензии проводят удаление намолотого железа или, проводя специальные мероприятия, устраняют вредное влияние железа на качество отливки.

Из всего вышесказанного следует, что при частичном использовании основных наполнителей можно сократить время сушки КО, тем самым исключить ускоренное химическое отверждение слоев оболочки с применением аммиака.

Операцию химического отверждения производят в герметично закрывающихся сушильных установках, поскольку аммиак токсичен и имеет резкий запах. После сушки в парах аммиака блоки проветривают на воздухе до полного удаления запаха аммиака и наносят следующий слой огнеупорного покрытия [3].

Проветривание блоков – операция обязательная, поскольку степень удаления аммиака из огнеупорного покрытия влияет не только на прочность изготавливаемых КО, живучесть используемой суспензии, но и омыляемость модельных составов, имеющих высокое кислотное число.

КО, отвержденные аммиаком, имеют меньшую прочность, чем оболочки, высушенные на воздухе, примерно на 55% [3]. Также одним из наиболее существенных недостатков отверждения оболочек аммиаком для человека является токсичность его паров.

Следовательно, исключение вакуумно-аммиачной сушки, несомненно, приведет к улучшению экологической обстановки на предприятии. Исключит опасность отравления аммиаком, а следовательно, предотвратит раздражение слизистых оболочек, поражение глаз и дыхательных путей, расстройство пищеварения, ослабление слуха, а также сильное возбуждение, вплоть до буйного бреда, последствия которого могут быть весьма тяжелыми – снижение интеллекта и изменение личности.

Таким образом, частичное введение основных наполнителей ускоряет время сушки КО, увеличивая рН связующего раствора и переводя его в область рН 5–6, где и происходит быстрое твердение КО. Следовательно, дальнейшие эксперименты будут направлены на поиск такого огнеупорного наполнителя, при добавлении которого уровень рН сдвигался бы в область твердения суспензии. При этом наполнитель не должен содержать оксиды железа и не претерпевать полиморфных превращений при нагреве и прокаливании. Использование таких наполнителей позволит исключить вакуумно-аммиачную сушку.

Таблица 3

Время живучести предполагаемых суспензий

Номер опыта	Количество этилсиликата, г	Количество наполнителя, г	Наполнитель, %		Время живучести суспензии, мин
			зола ТЭЦ	маршалит	
1	100	75	67	33	5
2	100	70	57	43	23
3	100	75	53	47	19
4	100	80	50	40	16
5	100	75	56	44	18

**Список литературы**

**Bibliography**

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Литье по выплавляемым моделям / под ред. Я.И. Шкленника и В.И. Озерова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 436 с.</li><li>2. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. Днепропетровск: Лира, 2006. 1056 с.</li><li>3. Производство точных отливок / И. Дощкарж, Я. Габриель, М. Гоушль. М.: Машиностроение, 1979. 296 с.</li><li>4. Чернов В.П., Селиванова Е.А. Влияние наполнителей на время живучести суспензий на этилсиликате // Тез. докл. XII науч.-техн. конференции ЗАО «МРК». Магнитогорск, 2008. С. 94–95.</li><li>5. Кон Е. Соображения о свойствах керамических масс, используемых в точном литье // 40-й Междунар. конгресс литейщиков. Ч. 2. М.: НИИМАШ, 1975. С. 139–152.</li></ol> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Investment casting / under the editorship of Y.I.Shklennika's and V.I.Ozerov. 2nd edition, advanced. M.: Mechanical engineering, 1971. 436 p.</li><li>2. Repyah S.I. Technological basics of investment casting. Dnepropetrovsk: Lyre, 2006. 1056 p.</li><li>3. Precision castings manufacture / I.Doshkarzh, Y.Gabriel, M. Goysht M.: Mechanical engineering, 1979. 296 p.</li><li>4. Chernov V.P., Selivanov E.A. The influence of fillers on durability of ethyl silicate suspensions // Abstracts of reports of the XII scientific and technical conference of Joint-Stock Company "MRK". Magnitogorsk, 2008. P. 94–95.</li><li>5. Con E. Considerations about properties of the ceramic mixtures used in precision casting // the 40-th international congress of founders. Part 2. M. NIIMASH, 1975. P. 139–152.</li></ol> |
|---|---|
-

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.777:669.231.7

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Биронт В.С., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Столяров А.В., Усков И.В., Шубаков А.П., Бабушкин О.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОТА

Проблема применения сплава  $ZlCrMn$  – 585-50-35,1-1 для изготовления ювелирных цепей на Красноярском заводе цветных металлов состояла в качестве получения готовых изделий. При этом была выявлена неравномерность свойств по длине литого прутка, которая ограничивала деформационные режимы его обработки, а также сказывалась при цепевязании. В связи с этим предложено для изготовления нового ювелирного сплава на основе золота использовать модифицирующие добавки, которые позволили бы улучшить механические характеристики и технологические свойства металла. На состав этого сплава подана заявка на изобретение.

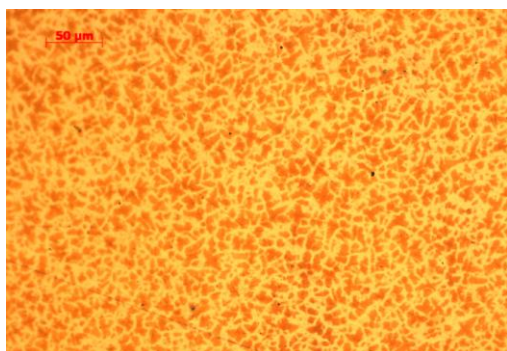
В лабораторных и опытно-промышленных условиях было изучено влияние данного модификатора на свойства сплава и его структуру (рис. 1).

Существующая технологическая схема получения

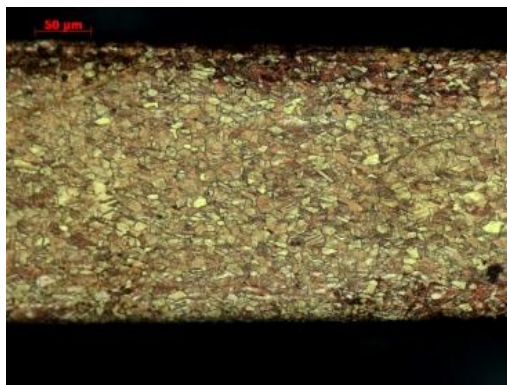
проволоки различных сечений состоит из следующих основных операций: непрерывное литье заготовки диаметром 10 мм, сортовая прокатка прутка до размера  $1,05 \times 1,05$  мм с применением промежуточных отжигов; волочение на конечный диаметр проволоки  $0,25-0,8$  мм (рис. 2). Далее полученная проволока передается на отжиг в непрерывной печи, режимы термической обработки которого выбираются в зависимости от диаметра проволоки.

Для опытно-промышленной проверки результатов лабораторных исследований был приготовлен новый экспериментальный сплав массой 2 кг. Литье сплава на основе золота осуществлялось непрерывным способом, в результате чего был получен прутком диаметром 10 мм без видимых глазу поверхностных дефектов. Для исследования механических свойств и структуры нового сплава было отобрано 6 образцов: по 2 – с начала, с середины и с конца литого прутка. Микроструктура литой заготовки показана на рис. 1, а

Согласно существующей технологии изготовления золотых цепей следующий этап промышленного эксперимента заключался в сортовой прокатке литой заготовки на станах BILER. Необходимо учесть, что на данном этапе было предусмотрено 2 отжига заготовок. Отжиг проволоки диаметров 3,65 и 1,14 мм



а



б

Рис. 1. Микроструктура литых (а) и деформированных (б) полуфабрикатов из нового сплава

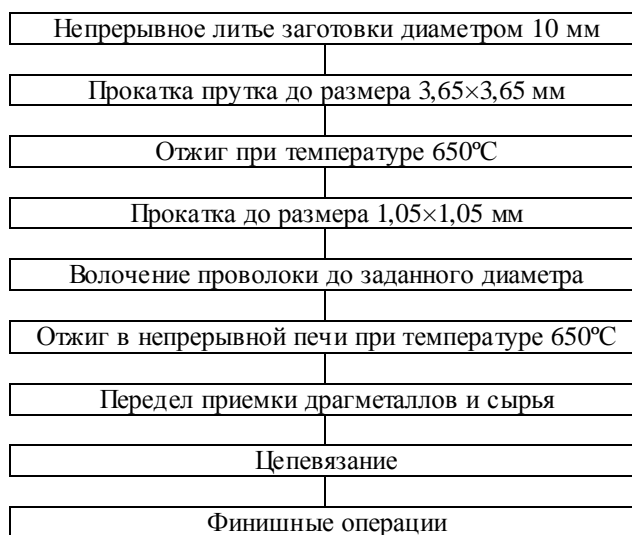


Рис. 2. Технологическая схема изготовления ювелирных изделий

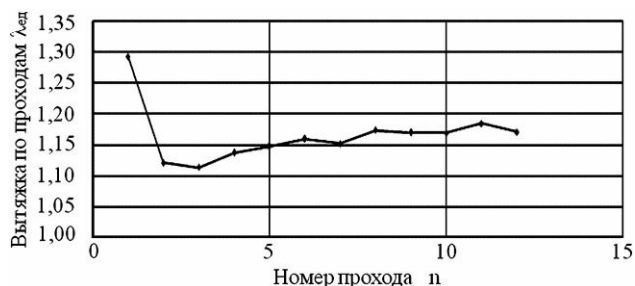


Рис. 3. Изменение коэффициента вытяжки по проходам при прокатке

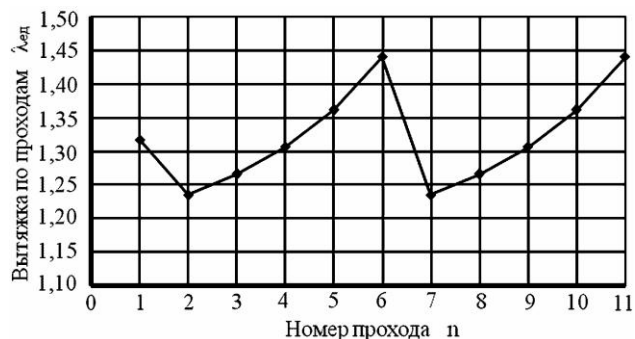


Рис. 4. Изменение коэффициента вытяжки по проходам при волочении

осуществляется в электропечи с охлаждением в воде, а именно отжиг в защитно-восстановительной среде за счет тепла, выделяемого электронагревательным элементом. Распределение вытяжки по проходам представлено на рис. 3. С целью отбора образцов для исследования механических свойств и структуры полученного нового сплава в течение всего процесса сортовой прокатки, начиная с литой заготовки и заканчивая проволокой диаметром 1,14 мм, отбирались образцы как в отожженном, так и в деформированном состоянии. Таким образом, отобрано 18 деформированных образцов (по 2 – с начала, с середины и с конца проволоки диаметром 3,65, 2,0 и 1,14 мм) и 12 отожженных образцов (по 2 – с начала, с середины и с конца проволоки диаметром 3,65 и 1,14 мм).

Конечным этапом получения проволоки нужного диаметра для цепевязания явился процесс волочения. Причем для эксперимента первая половина объема опытной партии была протянута по применяющемуся на заводе маршруту волочения на конечный диаметр проволоки 0,25 мм, а вторая – на конечный диаметр 0,35 мм. Распределение вытяжки по проходам представлено на рис. 4. После волочения на диаметр 0,7 мм были отобраны по 2 образца проволоки с начала и с середины заготовки. После окончания процесса волочения по заводской технологии изготовления цепей из сплава золота 585 пробы осуществляли отжиг проволоки диаметров 0,25 и 0,35 мм в электропечи для непрерывного отжига с четырьмя независимыми камерами в защитно-восстановительной среде.

Результаты испытаний проволоки из нового сплава

Состояние	Диаметр, мм	Начало		Середина		Конец	
		σ <sub>в</sub> , МПа	δ, %	σ <sub>в</sub> , МПа	δ, %	σ <sub>в</sub> , МПа	δ, %
До отжига	0,70	904,2	4,3	913,6	4,2	–	–
	0,35	1027,5	3,3	–	–	–	–
	0,25	–	–	1104,8	2,9	1112,9	3,4
После отжига	0,35	601,1	36,7	–	–	–	–
	0,25	–	–	614,9	34,9	617,6	34,3

Аналогичным образом были отобраны образцы для металлографических исследований и испытаний механических свойств. Структура отожженной проволоки диаметром 0,25 мм показана на рис. 1, б. Механические свойства образцов проволоки как в деформированном, так и в отожженном состоянии представлены в таблице.

Видно, что уровень механических свойств достаточно высок и, при достижении значений относительного удлинения 35% и выше, предел прочности составляет не менее 600 МПа в отожженном состоянии. Кроме того, установлено, что различия свойств по длине литых и деформированных полуфабрикатов практически не наблюдается, что говорит о минимальной неравномерности свойств по длине. Это можно объяснить тем фактом, что применение модификатора в небольших количествах дает возможность существенно улучшить литую структуру заготовки. Последующая деформация, даже при применении достаточно жестких режимов обжатий как при прокатке, так и при волочении, не приводит к разрушению и появлению дефектов, вызванных, как правило, невысокой пластичностью металла.

Следующий этап опытно-промышленного эксперимента заключался в непосредственном получении готовой продукции в виде цепей типа «Снейк». Для оценки эффективности показателей опытно-промышленного опробования новой технологии важен объем провязанной непосредственно в цепочку на автомате проволоки и выход годного. В этом плане было установлено, что весь объем изготовленных полуфабрикатов был использован для цепевязания и дефектов при этом не наблюдалось, что говорит о качестве полученной проволоки из нового сплава. Выход годного готовой продукции по диаметру 0,25 мм составил 79,65% при среднем значении 69,92%, что на 9,73% выше среднего статистического; а по диаметру 0,35 мм – 79,43% при среднем значении 77,97%, что на 1,46% выше среднего.

Таким образом, результаты лабораторных исследований и опытно-промышленного эксперимента показывают возможность применения нового сплава золота 585 пробы для изготовления проволоки повышенного качества и дают право рекомендовать его для применения в ювелирном производстве при изготовлении цепочек.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ЗОН ЗАТРУДНЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОМ ПРЯМОМ ВЫДАВЛИВАНИИ

Хорошо известно [1–3], что физико-механические свойства и служебные характеристики биметаллических изделий определяются не только свойствами составляющих эти изделия компонентов, но и их объёмным содержанием и геометрическими параметрами, которые зависят от условий обработки. Необходимо отметить, что изменение условий обработки приводит не только к непосредственному изменению геометрических параметров биметаллического изделия. При определённых условиях обработки в деформируемом изделии возникают зоны затруднённой деформации [4], которые оказывают своё специфическое влияние на изменение геометрических параметров изделия. Поэтому изучение влияния таких зон на пластическое формоизменение биметаллических композиций является актуальной научно-технической задачей.

Целью исследований являлось:

- определение значений технологических факторов деформирования, при которых в процессе холодного прямого выдавливания биметаллических композиций возникают зоны затруднённой деформации;

- исследование влияния возникающих зон затруднённой деформации на характер пластического формоизменения оболочки биметаллических прутков, полученных в процессе холодного прямого выдавливания.

В работе были рассмотрены биметаллические композиции, представляющие собой цилиндрические заготовки с поперечным расположением составляющих их слоёв, так называемые заготовки с поперечной слоистостью (рис. 1, а). Верхний слой заготовок был выполнен из технического алюминия АД1 (ГОСТ 4784-97), нижний – из меди М1 (ГОСТ 859-73). Слои были прочно соединены друг с другом посредством пайки с применением оловянно-цинкового припоя.

Пайка слоёв производилась с целью предотвращения относительного проскальзывания слоёв биметаллической заготовки при её прямом выдавливании, что давало возможность реализовать режим полной совместной пластической деформации разных металлов (СПДРМ), обеспечивающий получение качественного изделия.

В качестве основных исследуемых технологических факторов деформирования, влияющих на возникновение зон затруднённой деформации, были рассмотрены:

угол при вершине конуса матрицы, внешнее контактное трение и профиль канала матрицы.

Исследования проводились с применением системы численного моделирования Deform 2D. Математические модели материалов АД1 и М1, из которых состояла заготовка, задавались в виде кривых упрочнения  $\sigma = \sigma(\epsilon)$  [5]. Для инструмента применялась модель абсолютно жёсткого тела. Граничные условия задавались законом трения Зибеля (фактором трения  $f_z$ ) [6]. Фактор межслойного трения  $f_{MC}$  во всех случаях принимался равным 1.

### Влияние угла $2\alpha$ при вершине конуса матрицы

Исследования проводились с применением конической матрицы. Диапазон изменения фактора трения  $f_z$  составлял 0,12–0,20.

Исследование влияния угла  $2\alpha$  при вершине конуса матрицы на изменение размеров оболочки биметаллического прутка позволило установить, что при углах  $2\alpha=90\text{--}120^\circ$  линия раздела слоёв в прутке описывается параболической кривой с выходом концов этой линии на боковую поверхность прутка (рис. 2, а). Оболочка по всей длине прутка имеет переменную толщину стенки  $s_x$ , величина которой определяется кривизной параболы и расстоянием от вершины параболы.

На рис. 2, б показано соответствующее этому случаю распределение интенсивности деформаций в прутке. Из рисунка видно, что в очаге деформации возникает очень незначительная по объёму зона за-

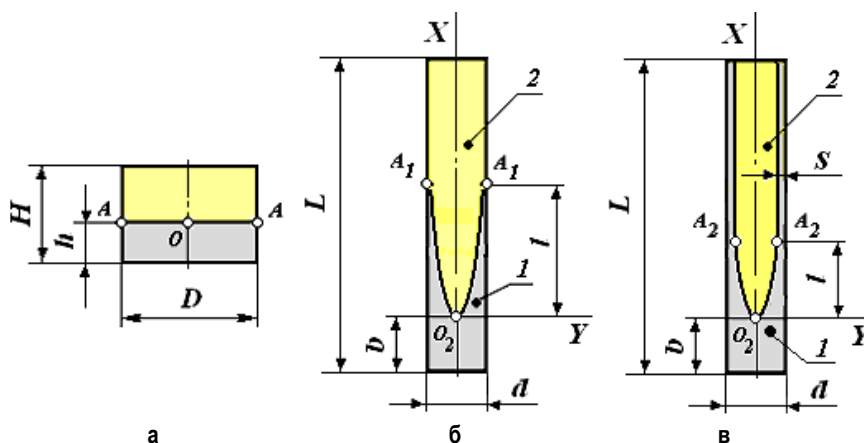


Рис. 1. Исходная биметаллическая композиция (заготовка) с поперечной слоистостью (а) и полученные из неё методом прямого выдавливания прутки: б – с неравномерной толщиной оболочки; в – с равномерной толщиной оболочки; 1 – медная оболочка; 2 – алюминиевый сердечник;  $H$  – высота заготовки;  $h$  – высота нижнего слоя заготовки;  $D$  – диаметр заготовки;  $d$  – диаметр прутка;  $L$  – длина прутка;  $l$  – длина боковой оболочки прутка с неравномерной толщиной стенки;  $b$  – толщина торцевой оболочки прутка;  $s$  – толщина боковой оболочки прутка с равномерной толщиной стенки

труднённой деформации, локализующаяся у конической поверхности матрицы.

При достижении углом  $2\alpha$  величин 130–150° характер формоизменения оболочки прутка претерпевает существенные изменения. Линия раздела слоёв в прутке перестаёт быть параболической по всей её длине. На расстоянии  $\mu h$  (где  $\mu$  – коэффициент вытяжки) от переднего торца прутка формируется боковая оболочка прутка с **равномерной** толщиной стенки  $s$  (рис. 3, а). На **рис. 3, б** показано распределение интенсивности деформаций в прутке для этого случая. Из рисунка следует, что в очаге деформации возникает значительная по объёму зона затруднённой деформации, прилегающая к конической поверхности матрицы и распространяющаяся частично на внутренний слой заготовки.

Таким образом, появление зоны затруднённой деформации при повышенных углах  $2\alpha$  при вершине конуса матрицы способствует формированию боковой

оболочки прутка с равномерной толщиной стенки. Толщина  $b$  торцевой оболочки прутка с появлением зоны затруднённой деформации уменьшается.

### Влияние внешнего контактного трения

Исследования проводились с применением конической матрицы. Угол  $2\alpha$  при вершине конуса матрицы составлял 90–120°. Проведённые исследования позволили установить, что в диапазоне небольших значений фактора трения ( $f_z=0,12-0,20$ ) линия раздела слоёв в прутке, как и в предыдущем случае, также представляет собой параболу с выходом концов ветвей этой параболы на боковую поверхность прутка (рис. 4, а). Оболочка по всей длине прутка имеет переменную толщину  $s_x$ .

Образующаяся в очаге деформации зона затруднённой деформации имеет весьма малый объём, располагается узкой полосой на конической поверхности

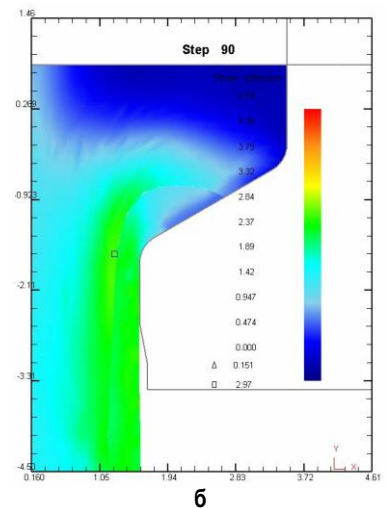
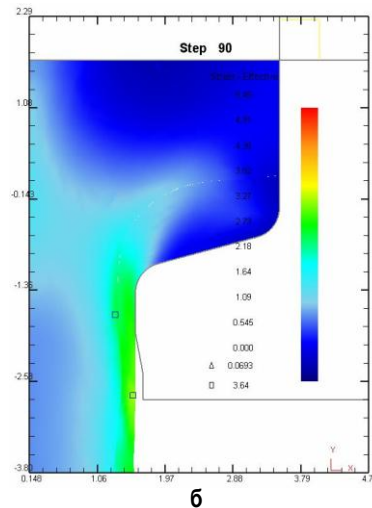
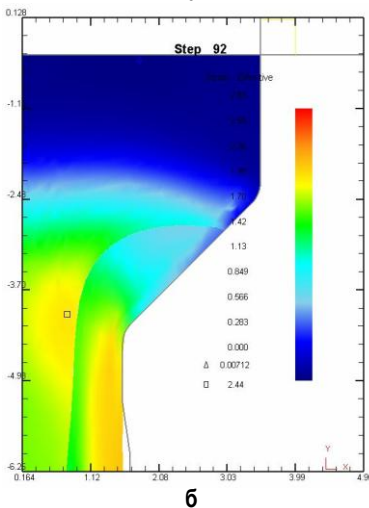
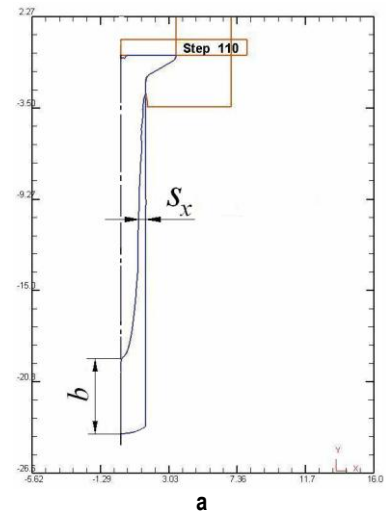
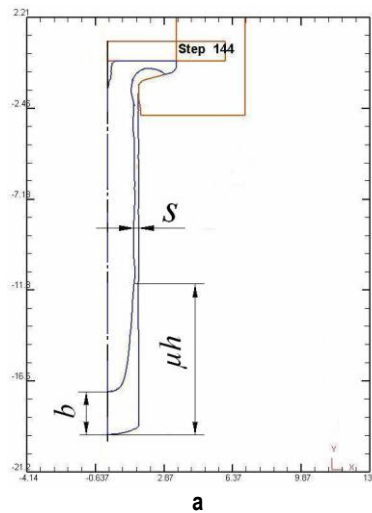
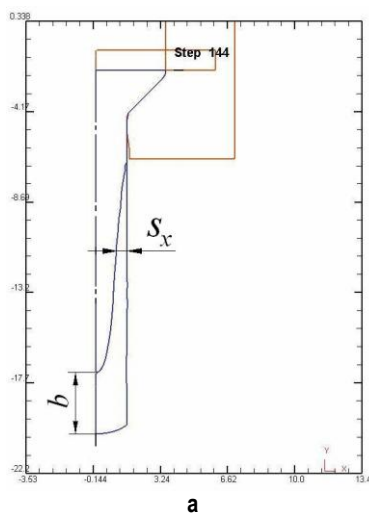


Рис. 2. Формоизменение оболочки медно-алюминиевого прутка при холодном прямом выдавливании (а) и соответствующее ему распределение интенсивности деформаций в очаге деформации (б) при  $2\alpha = 90^\circ$  ( $f_z = 0,12$ ;  $D = 7,0$  мм;  $d = 3,14$  мм;  $\mu = 4,97$ ;  $h = 1,8$  мм;  $h/D = 0,257$ ;  $b = 3,03$  мм;  $b/d = 0,96$ )

Рис. 3. Формоизменение оболочки медно-алюминиевого прутка при холодном прямом выдавливании (а) и соответствующее ему распределение интенсивности деформаций в очаге деформации (б) при  $2\alpha = 150^\circ$  ( $f_z = 0,12$ ;  $D = 7,0$  мм;  $d = 3,14$  мм;  $\mu = 4,97$ ;  $h = 1,8$  мм;  $h/D = 0,257$ ;  $b = 2,17$  мм;  $b/d = 0,69$ ;  $s = 0,20$  мм)

Рис. 4. Формоизменение оболочки медно-алюминиевого прутка при холодном прямом выдавливании (а) и соответствующее ему распределение интенсивности деформаций в очаге деформации (б) при  $f_z = 0,12$  ( $2\alpha = 120^\circ$ ;  $D = 7,0$  мм;  $d = 3,14$  мм;  $\mu = 4,97$ ;  $h = 2,6$  мм;  $h/D = 0,371$ ;  $b = 4,67$  мм;  $b/d = 1,49$ )

матрицы и распространяется в наружном и внутреннем слоях заготовки (рис. 4, б).

При увеличении внешнего контактного трения до  $f_z=0,25-0,35$  на расстоянии  $\mu h$  от переднего торца прутка формируется боковая оболочка прутка с **равномерной** толщиной стенки  $s$  (рис. 5, а). При этом в очаге деформации также возникает зона затруднённой деформации (рис. 5, б). Рисунок показывает, что эта зона имеет весьма значительный объём, располагается у конической поверхности матрицы и охватывает наружный и внутренний слой обрабатываемой заготовки, распространяясь вглубь очага деформации.

Из вышесказанного следует, что появление зоны затруднённой деформации при повышенном контактном трении способствует формированию боковой оболочки прутка с равномерной толщиной стенки. Толщина  $b$  торцевой оболочки прутка при возникновении зоны затруднённой деформации уменьшается.

### Влияние профиля канала матрицы

Для исследований применялись два вида матриц:

коническая (рис. 6, а) и плоскоконическая (рис. 6, б). Исследования проводились при углах у вершины конуса матрицы  $2\alpha=90-120^\circ$  в диапазоне изменения фактора трения  $f_z$  от 0,12 до 0,20. Ширина  $t$  плоского пояса плоскоконической матрицы составляла 0,03-0,09 от диаметра  $D_K$  конуса матрицы.

При конической матрице линия раздела слоёв в прутке, как и в рассмотренных выше случаях, представляет собой параболическую кривую с выходом концов этой линии на боковую поверхность прутка (рис. 7, а). Толщина  $s_x$  оболочки прутка по всей его длине неравномерна.

На рис. 7, б изображено соответствующее этому случаю распределение деформаций в заготовке. Анализ рисунка показывает, что в очаге деформации имеется весьма небольшая зона затруднённой деформации, прилегающая к конической поверхности матрицы и распространяющаяся по объёму обоих слоёв.

С применением плоскоконической матрицы с шириной плоского участка  $t=(0,03-0,09)D_K$  на расстоянии  $\mu h$  от переднего торца прутка формируется боковая оболочка с **равномерной** толщиной стенки  $s$  (рис. 8, а). В очаге деформации появляется зона затруднённой деформации (рис. 8, б).

Из рисунка следует, что в очаге деформации зона затруднённой

деформации имеет значительную величину и распространяется вглубь очага деформации в объёме обоих слоёв. Таким образом, как и в предыдущих двух случаях, появление зоны затруднённой деформации приводит к формированию боковой оболочки прутка с равномерной толщиной стенки. Толщина  $b$  торцевой оболочки прутка с появлением такой зоны уменьшается.

Описанные во всех трёх случаях закономерности формирования боковых оболочек с равномерной толщиной стенки при возникновении в очаге деформации зон затруднённой деформации можно объяснить следующим образом.

Возникновение зон затруднённой деформации вызывает снижение скорости течения металлов на периферийном участке очага деформации, что создаёт предпосылки для установления между взаимодействующими слоями силового равновесия (равенства радиальных напряжений в обоих слоях) на линии контакта слоёв, отвечающего условию минимума расхода полной энергии деформации. Поэтому линия раздела слоёв занимает на выходе из очага деформации

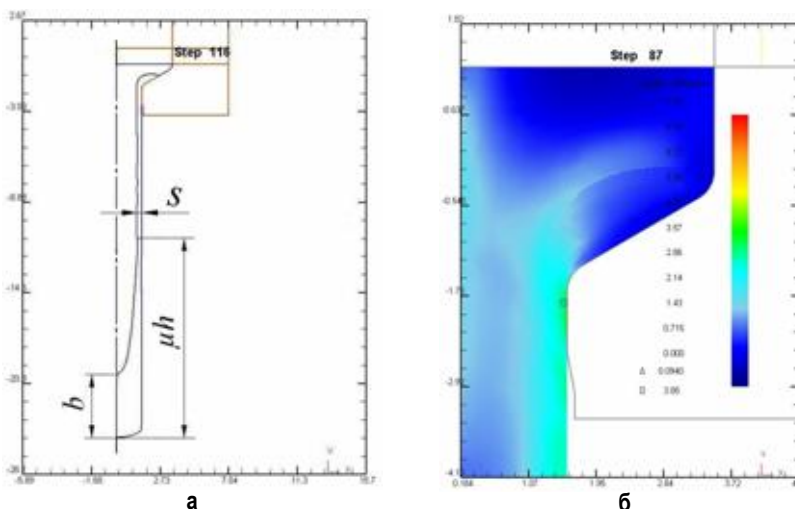


Рис. 5. Формоизменение оболочки медно-алюминиевого прутка при холодном прямом выдавливании (а) и соответствующее ему распределение интенсивности деформаций в очаге деформации (б) при  $f_z=0,30$  ( $2\alpha=120^\circ$ ;  $D=7,0$  мм;  $d=3,14$  мм;  $\mu=4,97$ ;  $h=2,6$  мм;  $h/D=0,371$ ;  $b=3,98$  мм;  $b/d=1,27$ ;  $s=0,29$  мм;  $s/d=0,092$ )

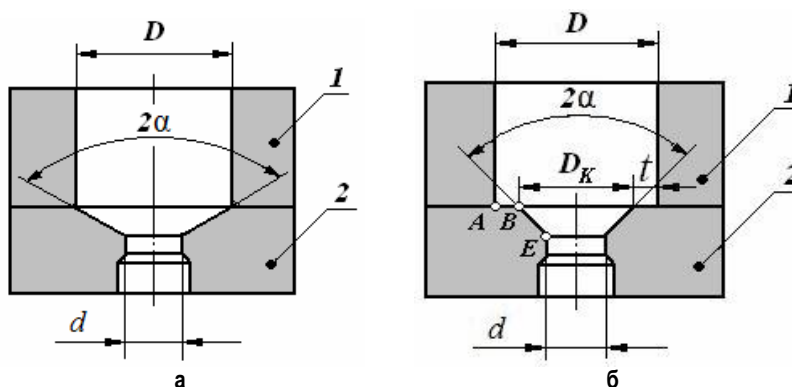


Рис. 6. Конструкция конической (а) и плоскоконической (б) матриц: 1 – контейнер; 2 – матрица;  $D$  – диаметр контейнера;  $d$  – диаметр калибрующего пояса;  $2\alpha$  – угол при вершине конуса матрицы;  $D_K$  – диаметр входного конуса матрицы;  $t$  – ширина плоского кольцевого пояса матрицы

ции фиксированное положение и тем самым обеспечивает формирование равномерной толщины стенки боковой оболочки прутка.

### Выводы

1. При холодном прямом выдавливании медно-алюминиевых композиций в очаге деформации на конической поверхности матрицы, как правило, возникают зоны затруднённой деформации, объём которых зависит от условий деформирования.

2. Если эти зоны представляет собой узкие области, располагающиеся вдоль образующей конической поверхности матрицы, и имеют незначительные размеры, то в этом случае формируется боковая оболочка прутка с неравномерной по длине толщиной стенки.

В случае, если зоны затруднённой деформации имеют значительные объёмы и распространяются вглубь очага деформации, охватывая внутренние слои, то на расстоянии  $\mu h$  от переднего торца прутка формируется боковая оболочка прутка с равномерной толщиной стенки.

3. Для исследуемых в настоящей работе медно-алюминиевых композиций определены следующие условия деформирования, при выполнении хотя бы одного из которых формируется боковая оболочка прутка с равномерной толщиной стенки:

а)  $2\alpha=130-150^\circ$  (матрица – коническая,  $\mu=4,97; f_z=0,12-0,20$ );

б)  $f_z=0,25-0,35$  (матрица – коническая,  $\mu=4,97; 2\alpha=90-120^\circ$ );

в) применение плоскоконической матрицы с шириной плоского пояса  $t=(0,03-0,09)D_K$  ( $\mu=4,97; 2\alpha=90-120^\circ; f_z=0,12-0,20$ ).

4. При возникновении в очаге деформации зон затруднённой деформации толщина торцевой оболочки прутка уменьшается.

### Список литературы

1. Астров Е.И. Плакированные многослойные металлы. М.: Металлургия, 1965. 239 с.
2. Голованенко С.А., Меандров Л.В. Производство биметаллов. М.: Металлургия, 1966. 364 с.
3. Особенности определения пластических свойств биметаллов / Воронин А.В., Жадан В.Т., Осадчий В.А. и др. // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 1993. № 7. С. 38–41.
4. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. М.: Металлургия, 1975. 448 с.
5. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: справочник. М.: Машиностроение, 1980. 157 с.
6. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1982. 312 с.

### Bibliography

1. Astrov E.I. Clad multi-layer metals. M.: Metallurgia, 1965. 239 p.
2. Golovanenko S.A., Meandrov L.V. Production of bimetals. M.: Metallurgia, 1966. 364 p.
3. Peculiarities of characterization of plastic properties of bimetals / Voronin A.V., Zhadan V.T., Osadchiy V.A., etc. // Izv. vuzov. Chernaya metallurgia. 1993. No. 7. P. 38–41.
4. Perlin I.L., Raitbarg L.Kh., Theory of metal pressing. M. Metallurgia, 1975. 448 p.
5. Krokha V.A. Hardening of metals during cold plastic deformation: Reference Book. M. Mashinostroenie, 1980. 157 p.
6. Grudev A.P., Zilberg Y.V., Tiliik V.T. Friction and lubricants for metal forming. M.: Metallurgia, 1982. 312 p.

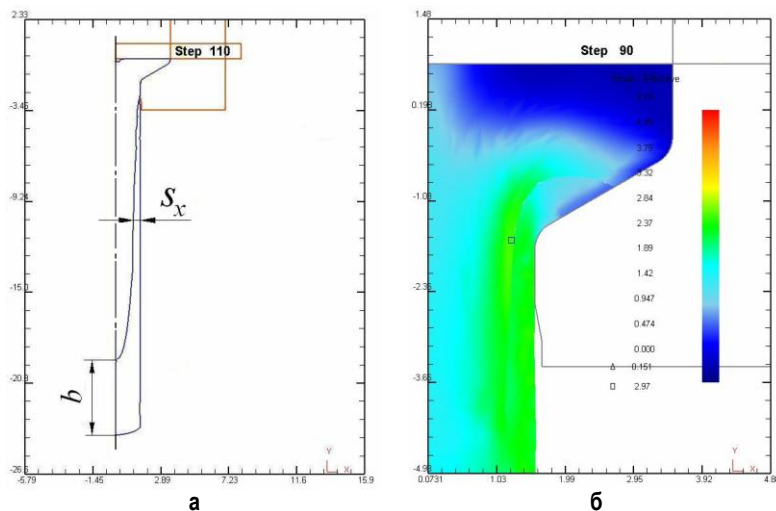


Рис. 7. Формоизменение оболочки медно-алюминиевого прутка (а) и распределение интенсивности деформаций в очаге деформации (б) при конической матрице ( $2\alpha=120^\circ; f_z=0,12; D=7,0$  мм;  $d=3,14$  мм;  $\mu=4,97; h=2,6$  мм;  $h/D=0,371; b=4,71$  мм;  $b/d=1,50$ )

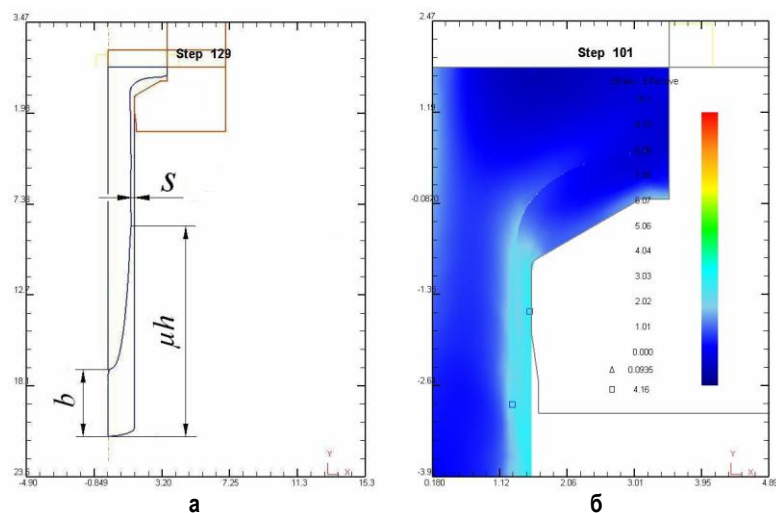


Рис. 8. Формоизменение оболочки медно-алюминиевого прутка (а) и распределение интенсивности деформаций в очаге деформации (б) при плоскоконической матрице с шириной плоского пояса  $t=0,4$  мм ( $2\alpha=120^\circ; f_z=0,12; D=7,0$  мм;  $d=3,14$  мм;  $\mu=4,97; h=2,6$  мм;  $h/D=0,371; b=3,91$  мм;  $b/d=1,25; s/d=0,073$ )



# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.745.435: 621.745.55: 544.016.5

Панов А.Г.

## ЗАВИСИМОСТЬ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ЛИТЫХ Fe-Ni-Mg МОДИФИКАТОРОВ ОТ МОРФОЛОГИИ МИКРОСТРУКТУРЫ

Литые Fe-Ni-Mg модификаторы высокопрочного чугуна с шаровидным графитом обладают непревзойдённым преимуществом – высокой плотностью ( $\rho_{\text{лит}} \geq 7 \text{ г/см}^3$ ), превышающей плотность расплава чугуна ( $\rho_{\text{чуг}} \sim 6 \text{ г/см}^3$ ) и позволяющей их применять наиболее простым и дешёвым ковшевым способом обработки расплава без дополнительных приспособлений и расходных материалов. Однако эти модификаторы до настоящего времени не нашли широкого применения в литейном производстве из-за плохой дробимости. Поэтому важной задачей материаловедения является уменьшение ударной вязкости литых Fe-Ni-Mg модификаторов.

В настоящей работе автором исследовано влияние микроструктуры литого Fe-Ni-Mg модификатора с добавками РЗМ на его ударную вязкость.

Центробежным способом изготовили 3 варианта отливок лигатуры из базового расплава, химический состав которого дан в табл. 1. Применяя различные режимы его модифицирующей обработки поверхностно-активными элементами (ПАЭ)\* и кристаллизации [1], получили следующие экспериментальные отливки лигатур:

1. Лигатура 1 – без модифицирования, толщина слитка 3 см.
2. Лигатура 2 – с модифицированием, толщина слитка 3 см.
3. Лигатура 3 – с модифицированием, толщина слитка 0,3 см.

Опытные лигатуры, полученные различным способом из одного базового расплава, имели принципиально отличные по качеству и количественным характеристикам отдельные элементы микроструктуры. Примеры изображений микроструктур, полученных при съёмке микрошлифов лигатур с помощью оптического микроскопа МТ7500 фирмы Meiji Techno (Япония), представлены на рис. 1 и 2.

Количественный анализ геометрических параметров элементов микроструктуры проводили с помощью анализатора изображения ImageExpert Pro 3. Лигатура 1 имеет в своей структуре до 2,5% компактного графита неправильной шаровидной формы с от-

дельными включениями правильной шаровидной формы размерами 0,5–55 мкм (см. рис. 1). Количество включений графита составляет порядка 100 шт./мм<sup>2</sup>. Распределение количества включений графита по размерам весьма неравномерное, большинство включений имеет малые размеры. Так, порядка 40% включений имеют размеры до 10 мкм (рис. 3, а).

В структуре лигатур 2 (рис. 3, б) и 3 практически весь углерод находится в связанном виде и только небольшая часть (в количестве менее 0,019 масс.% в лигатуре 2 и в количестве менее 0,016 вес.% в лигатуре 3) находится в виде компактного графита с размерами включений до 9 и 8 мкм соответственно в лигатуре 2 и лигатуре 3. Причём более 30% графита обеих лигатур имеет размеры менее 1 мкм. Количество включений графита в лигатурах 2 и 3 примерно одинаково и имеет порядок 80 шт./мм<sup>2</sup>. В лигатуре 3 в отличие от лигатур 1 и 2 дополнительно наблюдается равномерно распределённая усадочная пористость.

Анализируя фазовые составы лигатур с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6460 LV фирмы JEOL (Япония) (рис. 4), выявили, что матрицы лигатур состоят, в основном, из четырёх фаз. Примерные составы и оценка с помощью диаграмм состояния двойных систем [2–4] температур плавления выявленных фаз представлены в табл. 2.

Первая фаза (светло-серая на рис. 1, а-в, рис. 2, а, б и рис. 4, серая – на рис. 2, в), имеющая дендритную структуру, представляет собой аустенит с содержанием никеля порядка 40–50% и занимает порядка половины плоскости шлифа. В немодифицированной лигатуре 1 она наблюдается в виде сплошного каркаса с ярко выраженной дендритной структурой. В лигатуре 2, модифицированной ПАЭ, дендритный каркас исчезает, уступая место изолированным дендритным конгломератам со сглаженной формой поверхности. С ростом скорости охлаждения в лигатуре 3 происходит интенсивное измельчение аустенита в 5–6 раз по сравнению с

Таблица 1

Химический состав базового расплава Fe-Ni-Mg-лигатур

Содержание элемента, масс. %							
C	Si	Ni	Mg	Ce	La	P	Fe
2,51	0,29	40,4	4,93	0,54	0,32	0,450	49,8

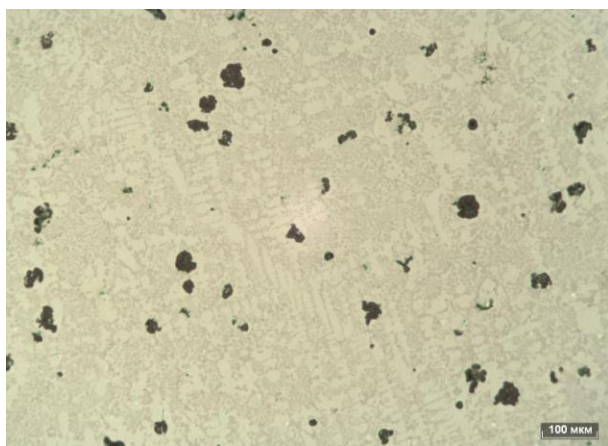
\* В настоящее время на способ обработки оформляется патент РФ на изобретение.

лигатурой 1. Количественные характеристики аустенитной фазы лигатур представлены в табл. 3.

Вторая фаза в виде коротких изолированных вытянутых прямоугольных пластинчатых включений с максимальным диаметром Фере менее 5 мкм присутствует в значительно меньших объемах. В лигатуре 1 в количестве порядка  $1,5 \cdot 10^3$  шт./мм<sup>2</sup> она занимает площадь до 1%. В лигатурах, полученных с применением модифицирования, количество включений второй фазы на порядок увеличивается. В лигатуре 2

включения в количестве порядка  $1,0 \cdot 10^4$  шт./мм<sup>2</sup> занимают площадь до 3,5%, в лигатуре 3 – в количестве порядка  $1,2 \cdot 10^4$  шт./мм<sup>2</sup> занимают площадь до 4%, т.е. ее рост увеличивается в 4 раза с одновременным повышением степени дисперсности.

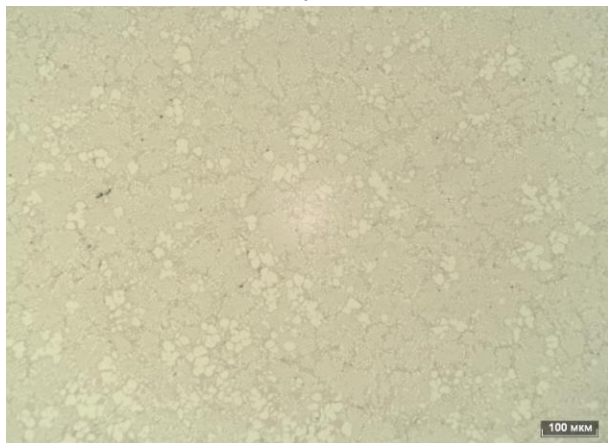
Третья и четвертая магнийсодержащие фазы, названные нами аналогично [5] «магний 1» и «магний 2», представляют собой структуру эвтектического типа. Матрицей эвтектики является фаза 3 (она занимает более 80% всей плоскости шлифа) и представляет собой



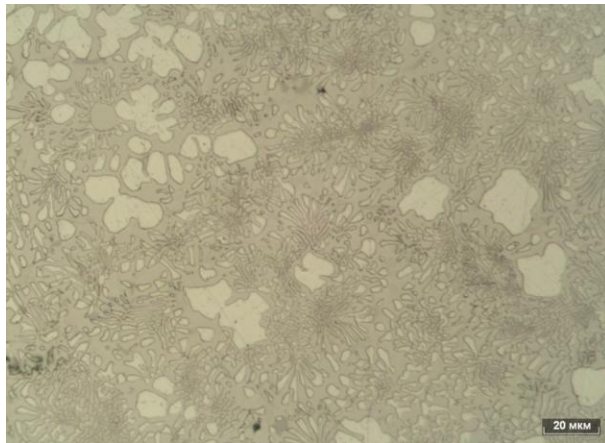
а



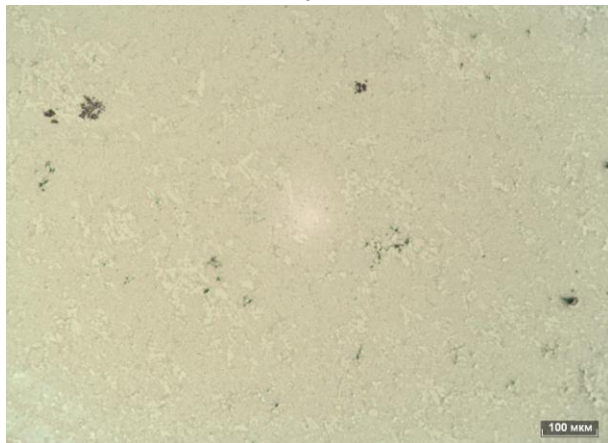
а



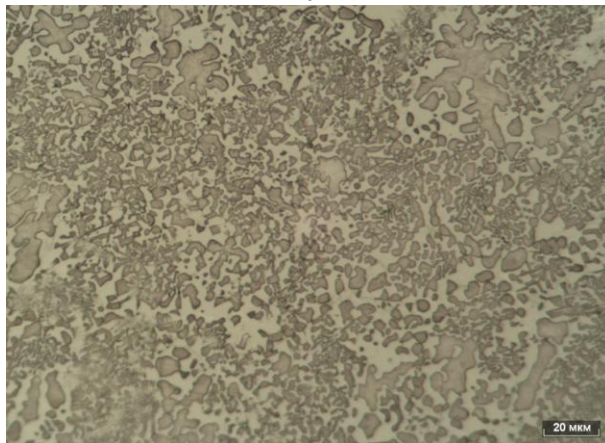
б



б



в



в

Рис. 1. Микроструктура опытных лигатур без травления,  $\times 100$ : а – лигатура 1; б – лигатура 2; в – лигатура 3

Рис. 2. Микроструктура матрицы лигатур после травления,  $\times 500$ : а – лигатура 1; б – лигатура 2; в – лигатура 3

сложное соединение, состоящее из никеля, железа, магния и углерода. Возможно также, что эта фаза представляет собой сложный карбид  $(Ni, Mg, Fe)_3C$ . Оставшуюся часть эвтектики составляет другая, ещё более сложная содержащая магний фаза 4, которая дополнительно состоит из никеля, фосфора и железа, а также содержит небольшие количества кремния, марганца и углерода. В структуре лигатуры 1 эвтектические колонии располагаются в междуветвях дендритного скелета и имеют грубую зернистую форму. При модифицировании лигатуры 2 ПАЭ эвтектические колонии имеют классическую розеточную форму с тонко организованной пластинчатой структурой. Дополнительное глубокое переохлаждение расплава в лигатуре 3 приводит к интенсивному раздроблению эвтектических колоний, однако сохраняются эвтектические области с тонко

дифференцированной перистой структурой. Следует отметить, что и модифицирование, и глубокое переохлаждение расплава изменяют тип кристаллизации эвтектики с дендритного (лигатура 1) на ячеистый (лигатура 2 и 3). Следствием этого процесса является увеличение доли эвтектических структур и уменьшение доли первичной дендритной фазы (табл. 3).

Таким образом, дисперсность всех структурных компонентов матрицы увеличивается в последовательности немодифицированная → модифицированная с обычным охлаждением → модифицированная с высоким охлаждением. Модифицирование лигатуры поверхностно-активными элементами и достижение глубокого переохлаждения способствует повышению твердости структурных компонентов лигатур как за счет их интенсивного диспергирования, так и за счет увеличения доли высокотвердой карбидной матричной эвтектической фазы.

Сравнение уровня дробимости опытных модифицированных и немодифицированных лигатур определяли по их ударной вязкости. Для исследования ударной вязкости лигатуры 1 и лигатуры 2 из отливок изготовили по 3 стандартных образца без надреза для испытаний на ударный изгиб (ГОСТ 9454-78) размером  $10 \times 10 \times 55$  мм. Результаты испытаний сведены в диаграмму, представленную на рис. 5. Лигатура 2, изготовленная с применением модифицирования расплава ПАЭ, имеет ударную вязкость в 2 раза меньше, чем лигатура, изготовленная по обычной технологии, что значительно улучшает её дробимость.

Такое поведение ударной вязкости хорошо согласуется с результатами исследования строения лигатур. А именно лигатура 1, имеющая в своей основе сплошной прочный и вязкий аустенитный каркас, обладает большей ударной вязкостью, нежели лигатура 2, имеющая эвтектическую матрицу из твердой карбидной фазы, в которой находятся изолированные дендриты аустенита. Лигатура 3, по всей видимости, должна иметь ещё меньшую ударную вязкость, чем ударная вязкость лигатуры 2, поскольку дендриты аустенита в ней полностью раздроблены и находятся в виде изоли-

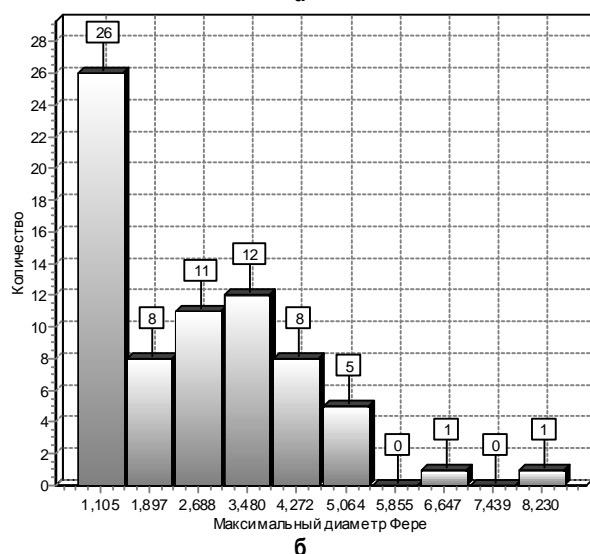
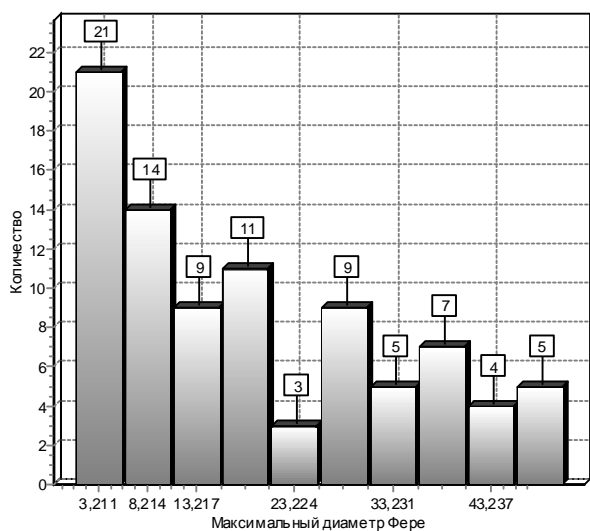


Рис. 3. Распределение графита по максимальному диаметру Фере: а – лигатура 1; б – лигатура 2

\* Линейный размер частицы как максимальная величина на проекции ее изображения.

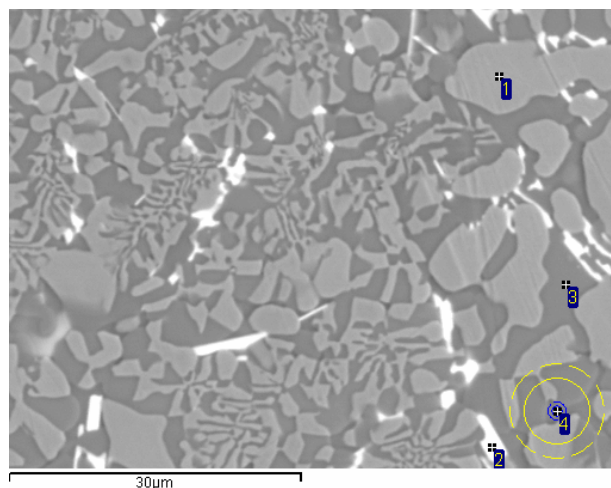


Рис. 4. Изображение микроструктуры для микроанализа. Лигатура 3, не травлено,  $\times 2000$

Результаты количественного химического анализа фазового состава лигатур и оценки их температур плавления

Микрообъект (фаза)	C	Mg	Si	P	Mn	Fe	Ni	La	Ce	Pr	Nd	T <sub>пл.</sub> , °C
1, аустенит	2,8		0,4			61,0	35,8					1300–1350
2, фосфид	3,3			11,9		3,5	24,2	13,5	34,1	3,0	6,5	>2000
3, магнит_1	7,8	9,4				31,9	50,9					1120–1160
4, магнит_2	2,9	15,7	0,8	6,6	0,4	10,7	62,8					

Таблица 2

При выплавке лигатур применение процесса модифицирования их расплава ПАЭ и глубокого переохлаждения при кристаллизации решает чрезвычайно важную производственную и научно-практическую проблему – расширение области применения литых Fe-Ni-Mg лигатур при модифицирующей ковшевой обработке малых объемов расплава и внутриформенного модифицирования за счет возможности получения более мелких фракций лигатур и снижения энергоемкости их дробления.

Таблица 3

Количественные характеристики аустенитной фазы лигатур

Порядок оси дендрита	Средний диаметр оси дендритов, мкм				Количество сечений дендритов, шт./мм <sup>2</sup>	Доля площади, занимаемая сечениями дендритов, %
	I	II	III	IV		
Лигатура 1	70	25	8	2	2·10 <sup>3</sup>	60
Лигатура 2	20	10	1,5	0,7	1,4·10 <sup>4</sup>	50
Лигатура 3	17	4	1,4	0,4	5,5·10 <sup>4</sup>	48

Ударная вязкость лигатур

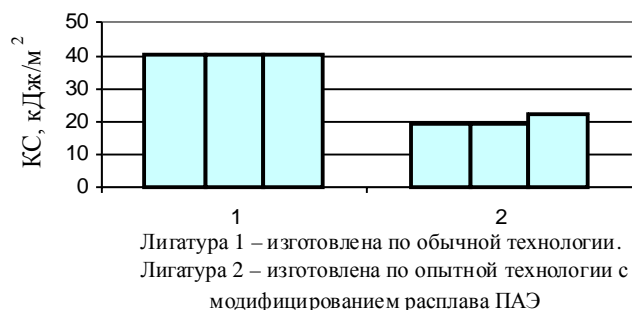


Рис. 5. Результаты испытаний образцов лигатуры на ударный изгиб

рованных глобулярных включений, не способных упрочнить сплав, а эвтектическая матрица, образующая сплошную среду сплава, имеет большую микротвёрдость и, следовательно, хрупкость.

Список литературы

1. Панов А.Г., Корниенко Ан.Э., Корниенко А.Э. Совершенствование технологии модифицирования чугунов с шаровидным графитом Mg-Ni-Fe лигатурой // Литейщик России. 2009. № 3. С. 27–30.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в 3 т. Т. 1 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996. 992 с.: ил.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в 3 т. Т. 2 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1997. 1024 с.: ил.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в 3 т. Т. 3. Кн. 1 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 2001. 872 с.: ил.
5. Самсонов Г.В., Перминов В.П. Магниты. Киев: Наук. думка. 1971. 430 с.

Bibliography

1. Panov A.G., Kornienko Andrey E., Kornienko Aina E. The improvement of the modification technology of cast iron with sphere graphite Mg-Ni-Fe alloy // Foundry man of Russia. 2009. № 3. P. 27–30.
2. The Diagrams of condition of dual metal systems: Reference book: In 3 v. V. 1 / Under the editorship of N.P. Lyukishev. M.: Machine building, 1996. 992 p.: Fig.
3. The Diagrams of condition of dual metal systems: Reference book: In 3 v. V. 2 / Under the editorship of N.P. Lyukishev. M.: Machine building, 1997. 1024 p.: Fig.
4. The Diagrams of condition of dual metal systems: Reference book: In 3 v. V. 3 / Under the editorship of N.P. Lyukishev. M.: Machine building, 2001. 872 p.: Fig.
5. Samson G.V., Perminov V.P. Magnides. Kiev: Naukova Dumka. 1971. 430 p.

УДК 539.4

Казанцев А.Г., Рымкевич А.И., Силаев А.А., Вopilкин А.Х., Кононов Д.А., Тихонов Д.С.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛА ГОДНЫХ И ЗАБРАКОВАННЫХ ПО ПРОЗВУЧИВАЕМОСТИ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

Оси колесных пар, являющиеся одними из ответственных конструктивных компонентов железнодорожного подвижного состава, после изготовления подвергаются ультразвуковому контролю на прозвучиваемость. Изделия бракуются, если затухание УЗ

сигнала превышает нормированный уровень, что является индикатором наличия крупнозернистой структуры металла и соответственно низких эксплуатационных свойств оси [1, 2].

Однако так как данная методика оценивает качест-

во оси интегрально (при прозвучивании с торца) по косвенным показателям, фактическое снижение свойства материала оси относительно установленных соответствующими стандартами является достаточно неопределенным, что часто приводит к перебраковке осей.

В настоящей работе выполнено комплексное экспериментальное исследование и сравнительный анализ характеристик механических свойств при растяжении, ударной вязкости, статической, динамической и циклической трещиностойкости металла годных и забракованных по прозвучиваемости осей.

Экспериментальная часть работы выполнялась с использованием сервогидравлической испытательной машины MTS-810 (максимальное усилие 10 т) для испытаний образцов на статическую и циклическую трещиностойкость и растяжение. Испытания на ударный изгиб проводились на инструментированном маятниковом копре PSW 300 фирмы MFL с максимальной энергией удара 300 Дж.

Для проведения механических испытаний были отобраны шесть осей, три из которых прошли УЗ контроль и три были забракованы по прозвучиваемости.

В табл. 1 приведены полученные результаты испытаний на растяжение (средние значения по трем образцам для каждой оси).

Видно, что материал всех осей за исключением оси № 1 (прошедшей УЗК) имеет близкие прочностные свойства. У оси № 1 они более высокие. Пластические свойства осей 1–3, 5–6 также оказались близкими. Для забракованной оси № 4 получены более низкие значения относительного удлинения и сужения. Химический состав исследованных материалов практически не отличался.

Испытание ударных образцов проводили на образцах Шарпи с V-образным надрезом в диапазоне температур от –40 до +100°С (было испытано порядка 15 образцов из каждой оси). По данным этих испытаний оценивалась ударная вязкость KCV, доля вязкой составляющей в изломе и в соответствии с методикой [3] критическая температура хрупкости T<sub>k0</sub>. Полученные значения T<sub>k0</sub> представлены в табл. 1.

По данным испытаний на ударный изгиб было установлено, что характеристики ударной вязкости металла осей, забракованных по прозвучиваемости, существенно ниже, чем для металла осей, прошедших УЗК, а величина T<sub>k0</sub>, выше на 35–60°С.

Для оценки склонности металла осей к динамическому разрушению были дополнительно проведены инструментированные испытания на ударный изгиб образцов типа Шарпи с предварительно выращенной усталостной трещиной. Скорость маятника в момент удара (как и при испытаниях образцов без трещины) составляла около 5 м/с. В процессе испытаний регистрировались диаграммы разрушения в координатах нагрузка – время и нагрузка-прогиб образца.

Из полученных данных было установлено, что при температуре +20°С энергия разрушения и соответственно ударная вязкость образцов с начальной трещиной, изготовленных из металла осей, забракованных по прозвучиваемости, приблизительно в два раза ниже, чем образцов, изготовленных из металла осей, прошед-

ших УЗК. Аналогичное соотношение для ударной вязкости было получено на образцах без трещины. При температуре –40°С (на нижнем шельфе температурной кривой ударной вязкости) указанные характеристики для образцов с начальной трещиной, изготовленных из металла осей, забракованных по прозвучиваемости, и прошедших УЗК, практически совпадают.

Для определения вязкости разрушения (трещиностойкости при статическом нагружении) использовались компактные образцы типа CT1 толщиной 25 мм с предварительно выращенной усталостной трещиной, которые испытывали на внецентренное растяжение [4]. Температура испытаний составляла от –40 до +20°С. По данным этих испытаний установлена температурная зависимость вязкости разрушения в форме “Мастер-кривой” [5], а также 5 и 95% границы допуска.

Уравнение “Мастер-кривой” для медианного значения (для вероятности P<sub>f</sub>= 0,5) вязкости разрушения K<sub>IC(med)</sub> образцов толщиной B = 25 мм имеет вид

$$K_{JC(med)}(T) = 30 + 70 \exp(0,019(T - T_0)), \quad (1)$$

где K<sub>IC(med)</sub> – вязкость разрушения при P<sub>f</sub>= 0,5 и толщине образца B = 25 мм; T<sub>0</sub> – температура, при которой медианное значение K<sub>IC</sub> при B=25 мм равно 100 МПа√м.

Концепция “Мастер-кривой” предусматривает возможность учета влияния толщины образца на вязкость разрушения в соответствии со следующей зависимостью:

$$\frac{K_{JC}^X - K_{min}}{K_{JC}^Y - K_{min}} = \left( \frac{B_Y}{B_X} \right)^{1/4}, \quad (2)$$

где K<sub>JC</sub><sup>X</sup>, K<sub>JC</sub><sup>Y</sup> – значение вязкости разрушения для образцов толщиной B = B<sub>X</sub> и B = B<sub>Y</sub>, соответствующие одной и той же вероятности P<sub>f</sub>, K<sub>min</sub> = 20 МПа√м.

Для определения параметров уравнения “Мастер-кривой” (величины T<sub>0</sub>) использовался многотемпературный подход [5]. Полученные значения температуры T<sub>0</sub> для металла всех осей приведены в табл. 1. Необходимо отметить, что между значениями T<sub>k0</sub> и T<sub>0</sub> не выявлено выраженной корреляции, что возможно объясняется неоднородностью свойств металла осей, а также ограниченным объемом испытаний (из каждой оси было вырезано и испытано по 5–6 компактных образцов для определения K<sub>IC</sub>).

Таблица 1

Механические свойства металла осей при растяжении

Тип оси	Номер оси	σ <sub>02</sub> , МПа	σ <sub>в</sub> , МПа	δ, %	ψ, %	T <sub>k0</sub>	T <sub>0</sub>
Прошедшие УЗК	6	287	591	25,9	47	+30	-12
	1	381	757	23,8	51	+10	35
	2	325	646	22,5	48,8	+25	46
Забракованные	5	318	649	19	33	+60	0
	3	327	627	25	45	+70	46
	4	310	618	25	44	+60	36

На рис. 1 представлены обобщенные результаты для всех испытанных осей, прошедших УЗК. Для совокупности этих данных величина  $T_0 = +2^\circ\text{C}$ . Кривая 1 соответствует вероятности разрушения  $P_f = 0,95$ , 2 –  $P_f = 0,5$ , 3 –  $P_f = 0,05$ .

Для обобщенной зависимости, включающей все полученные на забракованных осях данные,  $T_0 = +15^\circ\text{C}$  (рис. 2).

Как следует из рис. 1, 2, для забракованных осей № 3 и 4 с понижением температуры испытаний до  $-40^\circ\text{C}$  проявляется различие от данных испытаний образцов, вырезанных из осей, прошедших УЗК. Для забракованных осей величина  $K_{Jc}$  находится на уровне

не  $50\text{--}52 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$ , а для осей, прошедших УЗК, на уровне  $76\text{--}83 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$ , т.е. приблизительно в 1,5 раза выше. Более высокие результаты по  $K_{Jc}$  для забракованной оси № 1 могут быть связаны с неоднородностью материала в этой оси, а также указывают на то, что связь между размером зерна и величиной  $K_{Jc}$  не является однозначной.

Для всего массива данных (рис. 3) отличия между значениями  $K_{Jc}$  годных и забракованных по прозвучиваемости осей не носят принципиального характера, что позволяет проводить расчеты на хрупкую прочность, используя нижнюю огибающую.

Выполненный фрактографический анализ изломов образцов, изготовленных из осей, прошедших УЗК, и забракованных по прозвучиваемости, показал, что механизм их разрушения отличается, особенно при низких температурах, что согласуется с испытаниями на вязкость разрушения.

Общий вид излома образца (температура испытаний минус  $40^\circ\text{C}$ ), вырезанного из забракованной по

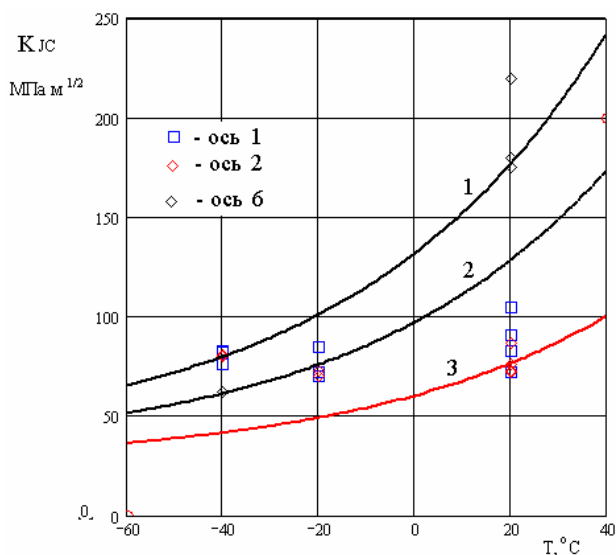


Рис. 1. Обобщенная зависимость вязкости разрушения  $K_{Jc}$  ( $K_{Jc}$ ) от температуры для всех испытанных осей, прошедших УЗК ( $T_0 = +2^\circ\text{C}$ ):  
1 –  $P_f = 0,95$ ; 2 –  $P_f = 0,5$ ; 3 –  $P_f = 0,05$

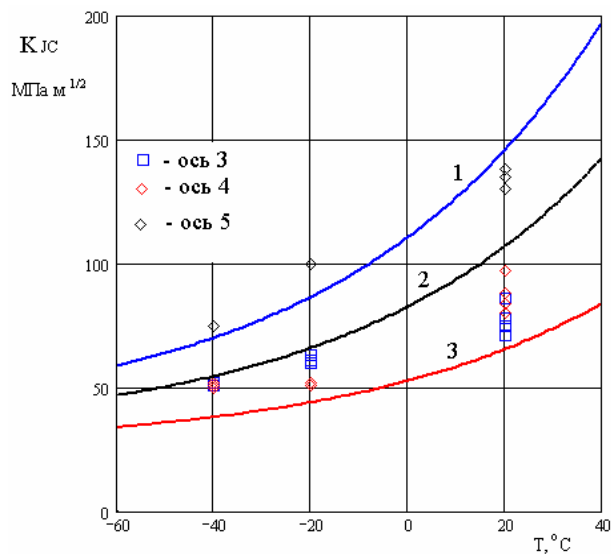


Рис. 2. Обобщенная зависимость вязкости разрушения  $K_{Jc}$  ( $K_{Jc}$ ) от температуры для всех испытанных осей, забракованных по прозвучиваемости ( $T_0 = +15^\circ\text{C}$ ):  
1 –  $P_f = 0,95$ ; 2 –  $P_f = 0,5$ ; 3 –  $P_f = 0,05$

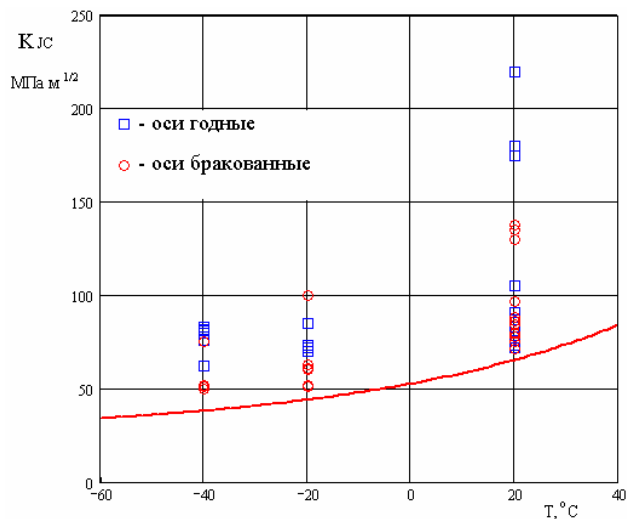


Рис. 3. Обобщенная зависимость вязкости разрушения  $K_{Jc}$  ( $K_{Jc}$ ) от температуры для осей, забракованных по прозвучиваемости, и прошедших УЗК (нижняя кривая соответствует 5% вероятности разрушения)

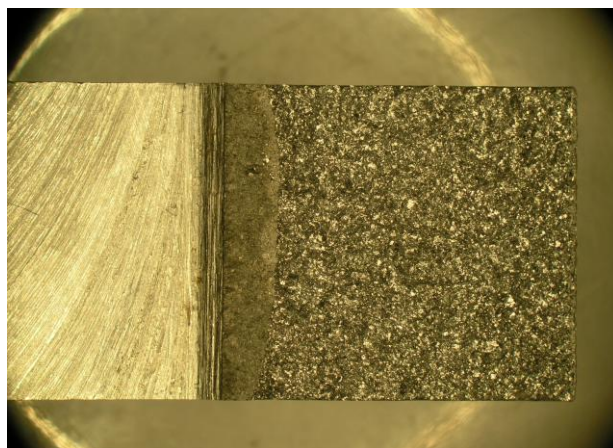


Рис. 4. Излом образца, вырезанного из забракованной по прозвучиванию оси

прозвучиваемости оси № 3, представлен на рис. 4. Образец разрушен хрупко, без утяжки. На рис. 5 показана поверхность разрушения этого образца, полученная на электронном микроскопе. Видно, что разрушение произошло, в основном, путём хрупкого внутризёрненного скола. Размер фасеток скола ~200–900 мкм, что в данном случае примерно соответствует размеру зерна. В изломе наблюдались отдельные частицы сульфидных неметаллических включений.

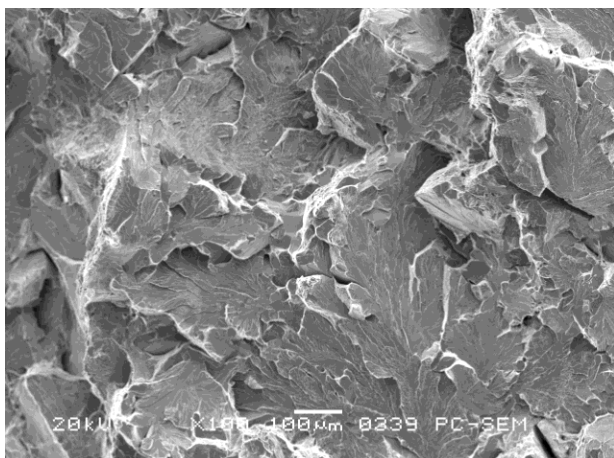
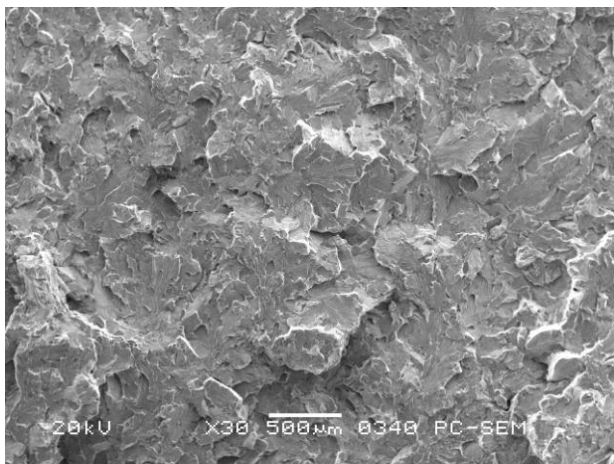


Рис. 5. Поверхность разрушения образца. Участки хрупкого транскристаллитного скола. Образец вырезан из оси, забракованной по прозвучиваемости

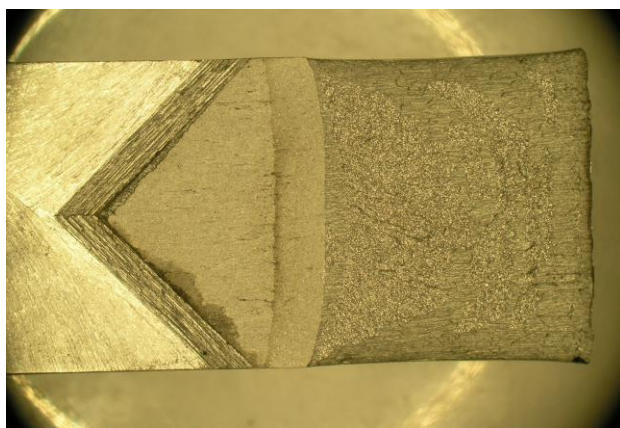


Рис. 6. Излом образца, вырезанного из прошедшей УЗК оси

Излом образца, вырезанного из прошедшей УЗК оси № 1, показан на рис. 6. Образец разрушен с небольшой утяжкой. Поверхность разрушения состоит из двух различных частей – кристаллической и полосчатой. Зёрна в кристаллической части излома данного образца значительно мельче, чем зёрна в изломе образца из забракованной оси.

На рис. 7 показана поверхность разрушения данного образца, полученная на электронном микроскопе. Кристаллическая часть излома разрушена, в основном, хрупко сколом по телу зёрен. Размер фасеток скола ~20–40 мкм. В полосчатой части излома наблюдалось очень большое количество вытянутых частиц сульфидов, так называемых «усов». В этой части поверхности, помимо расслоя по сульфидным включениям, были выявлены участки вязкого разрушения – ямки отрыва. В кристаллической части поверхности разрушения наблюдались только отдельные частицы сульфидов.

Для металла годных и забракованных по прозвучиваемости осей, используя данные испытаний на ударный изгиб образцов Шарпи с наведенной усталостной трещиной, была выполнена оценка динамической вязкости разрушения.

Так как разрушение этих образцов происходило в пределах упругой области, характеристику разрушения материала при динамическом нагружении  $K_{1d}$  определяли по формуле

$$K_{1d} = \frac{F_{\max} L}{bW^{3/2}} Y,$$

где  $Y = 2,9(l/W)^{1/2} - 4,6(l/W)^{3/2} + 21,8(l/W)^{5/2} - 37,6(l/W)^{7/2} + 38,7(l/W)^{9/2}$ .

Здесь  $l$  – длина трещины;  $b$  и  $W$  – ширина и высота образца;  $L$  – расстояние между опорами. В нашем случае  $b = W = 10$  мм,  $L = 40$  мм.  $F_{\max}$  – максимальное усилие, определяемое по диаграмме с учетом инерционной поправки  $F_{\max} = F_{\max d} - F_{и}$ . Величину инерционного усилия оценивали по зависимости [6, 7]

$$F_{и} = mV_0^2 / (4f_{\max}),$$

где  $m$  – масса образца;  $V_0$  – скорость нагружения,  $f_{\max}$  – прогиб при максимальной нагрузке.

Результаты расчета показали, что значения динамической вязкости разрушения в диапазоне температур от –40 до 20°C располагаются у нижней границы полосы разброса данных статической вязкости разрушения. При этом полученные значения оказались не ниже 50 МПа·м<sup>1/2</sup>.

Сводный график, включающий все данные по вязкости разрушения, приведен на рис. 8. Здесь кривая 1 – нижняя огибающая, соответствующая вероятности разрушения 5% для образца толщиной 25 мм. Поскольку размеры поперечного сечения оси существенно выше для консервативности с использованием приведенного выше соотношения (2), получена кривая вязкости разрушения (кривая 2 на рис. 4) для фактического диаметра оси. Кривая 3 является кривой допускаемых значений коэффициента интенсивности напряжений и соответствует введению запаса по  $K_{1c}$ , равного двум [3].

Исследование характеристик циклической трещиностойкости проводилось также на компактных образцах типа СТ-1. Испытания осуществляли при осевом растяжении при  $T = 20^{\circ}\text{C}$  и коэффициенте асим-

метрии цикла  $R = 0$  [8].

По данным этих испытаний были построены кинетические диаграммы усталостного разрушения в координатах: скорость роста трещины ( $dl/dN$ ) – размах коэффициента интенсивности напряжений ( $\Delta K$ ) (рис. 9). Скорость роста трещины определяли как отношение приращения длины трещины к соответствующему приращению числа циклов нагружения.

Кинетическая диаграмма развития дефектов в области низких скоростей их распространения имеет два характерных участка: область, в которой скорость развития дефекта описывается уравнением Пэриса

$$dl/dN = C_1 \cdot \Delta K^{C_2},$$

где  $dl/dN$  – изменение размера дефекта за один цикл нагружения;  $\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$  – размах коэффициента интенсивности напряжений;  $C_1, C_2$  – характеристики материала,

и область интенсивного замедления роста дефекта по мере снижения размаха коэффициента интенсивности напряжений ниже порогового значения  $\Delta K_{th}$ , разделяющего эти участки, для которой

$$dl/dN = C_{1th} \cdot \Delta K^{C_{2th}}.$$

В табл. 2 приведены значения констант данных уравнений для годных, забракованных по прозвучиваемости осей.

Как видно из рис. 9, весь массив полученных данных ограничен достаточно узкой полосой разброса и может быть описан одной зависимостью, параметры которой также указаны в табл. 2.

Полученные результаты показывает перспективность дальнейшего, более детального исследования возможности разбраковки осей, не прошедших УЗ контроль на прозвучиваемость. При этом, помимо исследованных в данной работе характеристик, необходимо проведение сравнительных испытаний осей, забракованных по прозвучиваемости или модельных элементов с учетом технологии изготовления осей, включая поверхностное упрочнение. Представляется также целесообразным установление корреляции механических свойств и других расчетных характеристик с уровнем затухания УЗ сигнала и размером зерна, что позволит обоснованно провести их разбраковку.

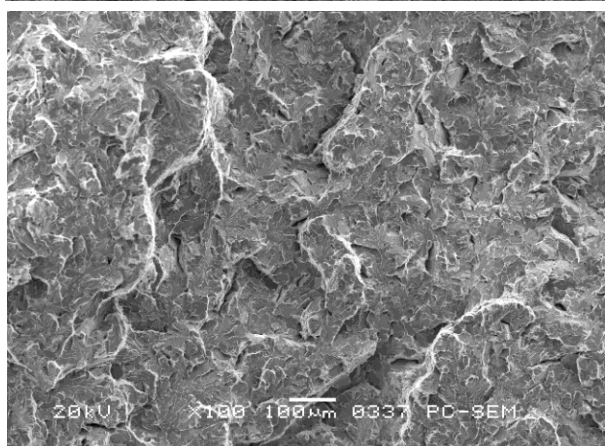
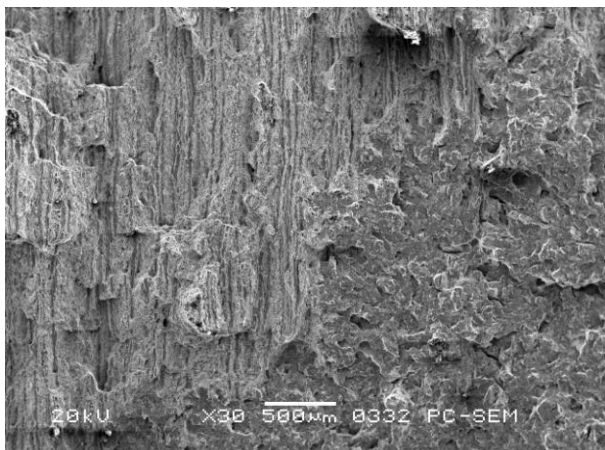


Рис. 7. Поверхность разрушения образца, вырезанного из оси, прошедшей УЗК

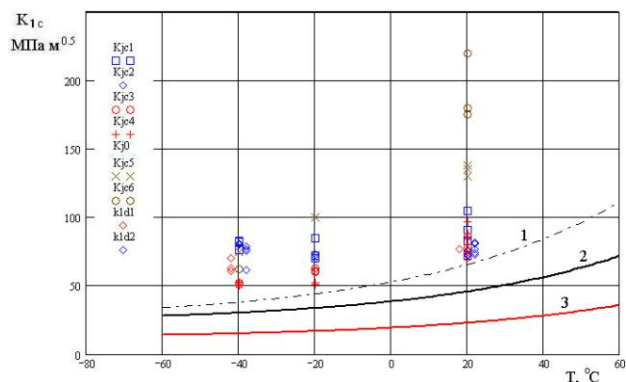


Рис. 8. Зависимость критических коэффициентов интенсивности напряжений от температуры:

$K_{1c1}, K_{2c}, K_{3c}, K_{4c}, K_{5c}, K_{6c}$  – данные испытаний на статическую вязкость разрушения осей 1–6 соответственно;

$K_{1d1}, K_{1d2}$  – данные по динамической вязкости разрушения забракованных и прошедших УЗК осей; 1 – нижняя огибающая, соответствующая вероятности разрушения 5% для образцов толщиной 25 мм; 2 – то же для оси; 3 – кривая допускаемых значений коэффициентов интенсивности напряжений (запас по  $K_{1c}$  равен 2)

Таблица 2

Параметры кинетического уравнения скорости роста трещины для металла осей

Тип оси	$C_1$	$C_2$	$\Delta K_{th}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	$C_{1th}$	$C_{2th}$
Прошедшие УЗК	$6 \cdot 10^{-9}$	2,9	22	$2 \cdot 10^{-28}$	17,5
Забракованные по прозвучиванию	$5 \cdot 10^{-11}$	4,25	28	$2 \cdot 10^{-45}$	27,9
Весь массив	$5 \cdot 10^{-11}$	4,25	22	$2 \cdot 10^{-28}$	17,5



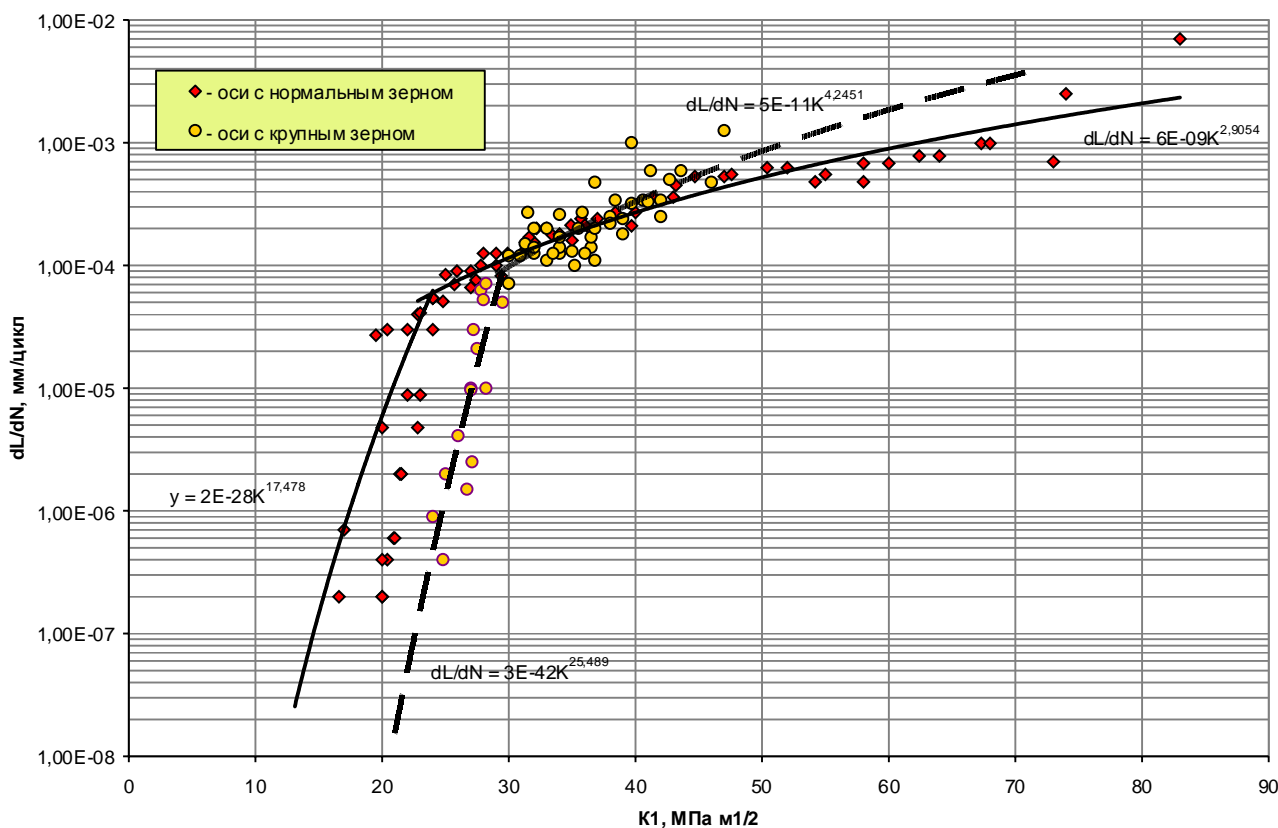


Рис. 9. Обобщенный график зависимости скорости роста трещины от коэффициента интенсивности напряжений для всех исследованных осей:  
 ----- для осей с нормальным зерном; - - - - - для осей с крупным зерном

### Заключение

1. Механические свойства металла исследованных осей, забракованных по прозвучиваемости, характеризуются большим разбросом данных по пластичности и в среднем более низкими пластическими свойствами, чем осей, прошедших УЗК.

2. На металле забракованных осей получены более низкие значения ударной вязкости и более высокие величины критической температуры хрупкости.

При пониженных температурах металл забракованных осей имеет более низкую вязкость разрушения.

3. Характеристики циклической трещиностойкости годных и забракованных осей отличаются незначительно. С точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации данный результат является наиболее существенным, т.к. хрупкое разрушение осей мало вероятно. Для этого трещина должна вырасти до значительной величины, а это исключается при использовании современных методов контроля [9, 10].

4. Поскольку значительная часть ресурса осей определяется периодом зарождения трещины, необходимо оценить усталостные характеристики годных и забракованных по прозвучиваемости осей с учетом технологии их изготовления.

### Список литературы

1. РД 07.09-97. Руководство по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов. -М.: МПС РФ, 1997. 85 с.

- СТО РЖД 1.11.001-2005. Контроль неразрушающий приемочный. Оси колесных пар подвижного состава. Методические указания по ультразвуковому контролю. Стандарт ОАО "РЖД". М., 2005. 62 с.
- ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. м.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
- ГОСТ 25.506-85. Методы механических испытаний материалов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
- ASTM E 1921-05. Standard Test Method for Determination of Reference Temperature,  $T_0$ , for Ferritic Steels in the Transition Range. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 03.01. P. 1068-10841.
- Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностойкости) при динамическом нагружении: РД 50-344-82. М.: Изд-во стандартов, 1983. 52 с.
- Ман И., Гольцман М. Методика испытания динамической вязкости разрушения / ИФМ ЧСАН. Брно. 1979. 36 с.
- РД 50-345-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении.
- К вопросу об УЗК осей колесных пар на прозвучиваемость / Вопилкин А.Х., Кононов Д.А., Тихонов Д.С. Казанцев А.Г. // В мире неразрушающего контроля. 2007. № 1. С. 62-64.
- Определение остаточного ресурса объектов повышенной опасности / Гапанович В.А., Вопилкин А.Х., Казанцев А.Г., Гурвич А.К., Кононов Д.А. // В мире неразрушающего контроля. 2006. № 4. С. 75-78.

## Bibliography

1. RD 07.09-97. Complex ultrasonic examination of wheel pairs of railway cars. Manual. M.: MPS RF, 1997. 85 p.
2. STO RZhd 1.11.001-2005. Nondestructive acceptance examination. Axis of wheel pairs of the rolling stock. Ultrasonic examination manual. Standard of OJSC "RZhd". M., 2005. 62 p.
3. PNAE G-7-002-86. Calculations of equipment durability and piping durability of nuclear power stations. M.: Energoatomizdat, 1989. 528 p.
4. GOST 25.506-85. Methods of mechanical testing of materials. Calculation of fracture strength (fracture toughness) characteristics at static loading.
5. ASTM E 1921-05. Standard Test Method for Determination of Reference Temperature,  $T_0$ , for Ferritic Steels in the Transition Range. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 03.01. P. 1068–10841.
6. Strength test and its calculation. Methods of mechanical testing of metals. Calculation of fracture toughness (fracture strength) at dynamic loading: RD 50-344-82. M.: Standards, 1983. 52 p.
7. Man I., Goltsman M. Testing technique of dynamic fracture toughness calculation / IFM ChSAN. Brno. 1979. 36 p.
8. RD 50-345-82. Study guide. Strength test and its calculation. Methods of mechanical testing of metals. Calculation of fracture toughness (fracture strength) at cyclic loading.
9. Some considerations on USK of axis of wheel pairs during sonic test / Vopilkin A.H., Kononov D.A., Tihonov D.S., Kazantsev A.G. // In the field of nondestructive examination. 2007. № 1. P. 62–64.
10. Calculation of remaining life of hazardous facilities / Gapanovich V.A., Vopilkin A.H., Kazantsev A.G., Kononov D.A. // In the field of nondestructive examination. 2006. № 4. pp. 75–78.

## НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 538.95

Каменева А.Л.

**УСТАНОВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ Ti-AL-N МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ИСПАРЕНИЯ С ПРОЦЕССАМИ, ПРОТЕКАЮЩИМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ИСПАРЯЕМЫХ КАТОДОВ****Введение**

Анизотропия скоростей формирования пленок Ti-Al-N электродуговым испарением по различным направлениям и, как следствие, увеличение неоднородностей условий формирования для различных участков пленок приводит к образованию различных структур. Проблема невоспроизводимости структуры и свойств пленок закладывается уже в процессе их формирования. Возникает проблема установления корреляционной связи процессов, участвующих в формировании пленок, в частности на поверхности испаряемых катодов и пленки. Необходима разработка новых подходов к описанию процессов образования пленок.

Целью настоящей работы являлось изучение процессов, протекающих в приповерхностных слоях материала титанового и алюминиевого катодов в условиях электродугового испарения и установление их взаимосвязи с процессом формирования пленки на основе Ti-Al-N.

**Методика проведения эксперимента**

Для выявления свойств, наследуемых в процессе осаждения пленок, установления корреляционной связи процесса формирования пленок с процессами, протекающими на поверхности испаряемых катодов, в представленной работе были проведены морфологические исследования зон эрозии титанового и алюминиевого катодов после их испарения электродуговым испарителем.

Морфологические особенности поверхности зоны эрозии титанового и алюминиевого катодов изучали на растровом электронном микроскопе CARL ZEISS Leo1430 VP с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy-300.

**Результаты эксперимента и обсуждение**

В результате исследования электронно-микроскопических снимков поверхности зон эрозии титанового и алюминиевого катодов (рис. 1) установлено, что каплевидные образования в области испарения титанового катода с диаметром менее 2 мкм испаряются, при большем радиусе – служат зародышами трубчатых (рис. 1, а) и стержневых образований (рис. 1, б, в), образование которых объясняется локальным плавлением

поверхностного слоя области распыления в условиях недостаточного теплоотвода от мишени.

В работе [3] показано, что пластинчатая структура материала пленки, характерная для определенных условий формирования, обусловлена не только особенностями упругих и неупругих полей, но и наличием своеобразной текстуры для кристаллитов, когда их разориентации существенно анизотропные (монокристалла), так что не возникает препятствий к группированию кристаллитов в одной из плоскостей [5]. В результате морфологического исследования поверхности зоны эрозии катода обнаружен участок с аналогичным проявлением (рис. 1, г). Установлено, что шероховатость поверхности плоских участков титанового катода после испарения, как и шероховатость поверхности пленки [2], развивается до фрактальной геометрии (рис. 1, д). Обнаружен участок в зоне эрозии катода с ансамблями мелкодисперсных дендритов (рис. 1, е). Несмотря на аналогию, в морфологических особенностях поверхности сформированной пленки и испаренного катода имеет место перераспределение концентрации фаз по поверхности мишени и значительное отличие состава сформированных пленок от состава мишени [1, 2].

На поверхности зоны эрозии алюминиевого катода обнаружены локальные области рекристаллизации катода, являющиеся следствием недостаточного охлаждения катода (рис. 2). Процессы рекристаллизации, как ранее было установлено рентгенофазовым анализом, протекают и в процессе осаждения пленки по причине низких температур поверхности подложки. Таким образом, прослеживается наследственность между процессами, непосредственно протекающими при формировании пленки.

Результаты комплексных исследований поверхностей пленок на основе соединений Ti-Al-N, сформированных при различных режимах термической подготовки поверхности подложки с использованием электронной (BS 300 с приставкой для микроанализа EDAX Genesis 2000), атомно-силовой (Наноскан) микроскопии; локального химического анализа (BS 300 с приставкой для микроанализа EDAX Genesis 2000) и количественного микрорентгеноспектрального анализа на установке MAP-3; рентгенофазового

анализа пленок Ti-Al-N на дифрактометре ДРОН-4 в  $\text{Cu K}\alpha$  излучении позволили установить, что непостоянство структурного состояния, степени текстурированности, толщины пленок на основе Ti-Al-N вызваны неравновесными условиями структурообразования и формирования пленок, которые в большей степени зависят не от технологических параметров и продолжительности технологического процесса, а от теплового

состояния поверхности подложки до и в процессе осаждения пленки. Структурные изменения в зоне эрозии катода также зависят от равномерности охлаждения поверхности катода и температуры охлаждающей воды. Прослеживается аналогия в структурных изменениях приповерхностных слоев материала катода и пленки в зависимости от изменения температурных условий протекания поверхностных процессов.

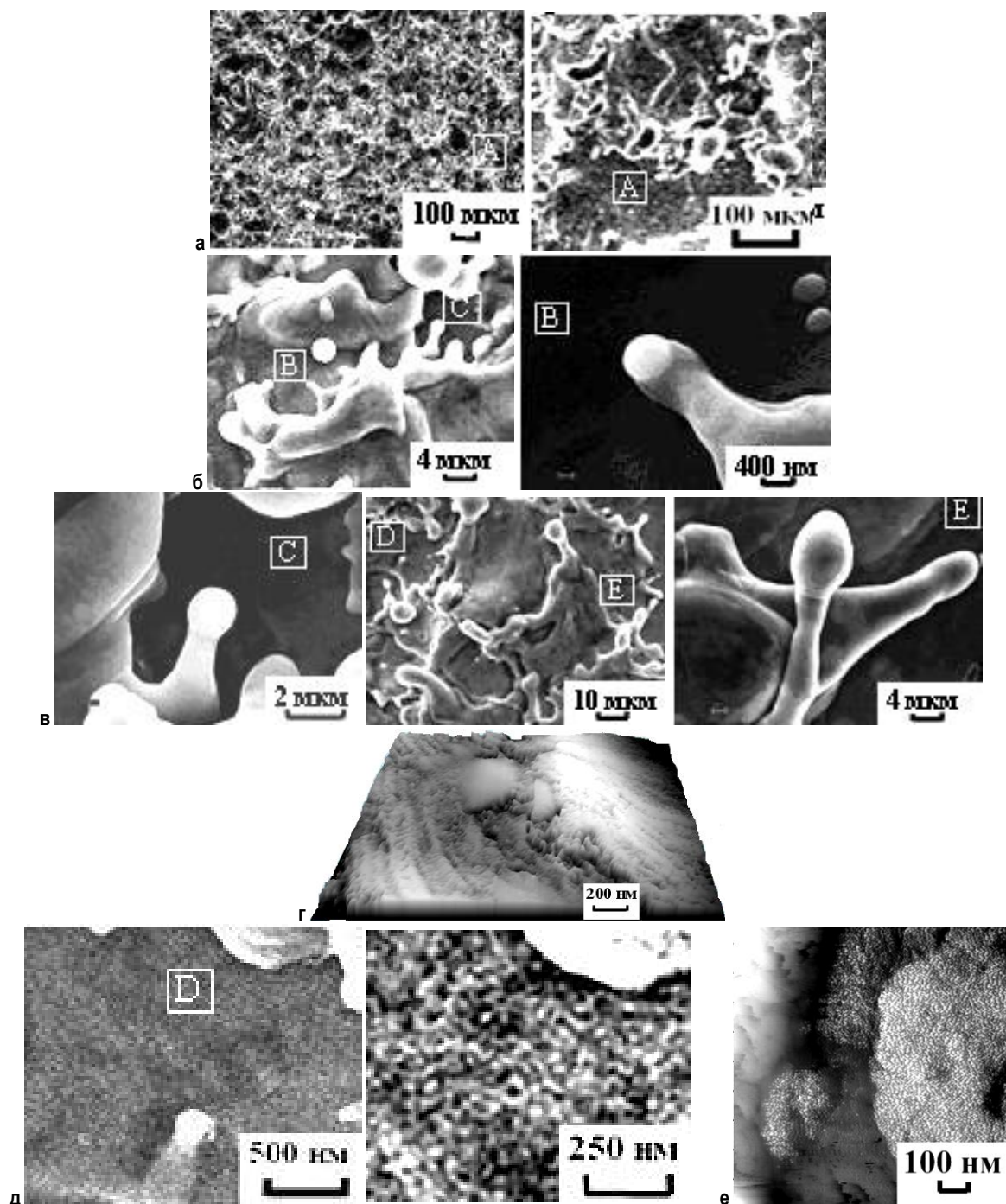


Рис. 1. Морфологические особенности поверхности зоны эрозии титанового катода: а – объединение каплевидных образований в трубчатые структуры; б, в – каплевидные и стержневые образования; г – группирование кристаллитов в одной из плоскостей; д – мелкодисперсная структура поверхности зоны эрозии катода (микроскоп Leo1430 VP)

**Заключение**

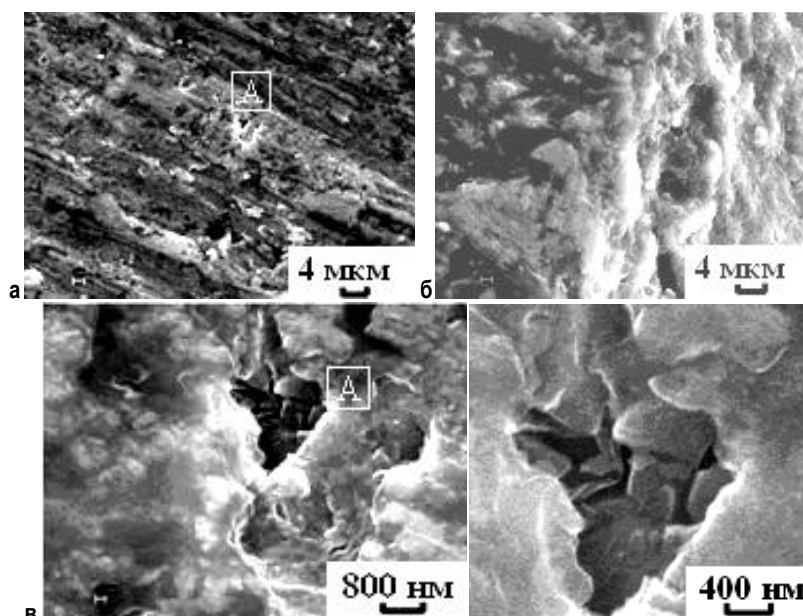
Производство пленок с требуемыми структурой и свойствами возможно в случае управления температурой формируемой пленки, поверхности испаряемого катода на всем протяжении технологического процесса. Высокоэффективные поликристаллические пленки Ti-Al-N, наиболее эффективно сопротивляющиеся износу и воздействию агрессивной среды, можно получить созданием благоприятных температурных условий формирования пленки.

Для полного подхода при проектировании технологических процессов осаждения пленки необходимо в дальнейшем установить наследственность процессов, участвующих в формировании пленок и протекающих в них в процессе эксплуатации.

Предварительные промышленные испытания инструмента с пленками на основе многокомпонентных нитридов  $Ti_3Al_2N_2$  к  $Ti_2AlN$ , полученных в благоприятных технологических и тепловых условиях, показали, что при воздействии истирающих нагрузок и агрессивной среды эксплуатационная стойкость инструмента увеличивается в 2,5–3,5 раза.

**Список литературы**

1. Белянин А.Ф., Самойлович М.И. Пленки алмаза и алмазоподобных материалов: формирование, строение и применение в электронике // Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства электронной техники): монографический сборник / ред.: Белянин А.Ф., Самойлович М.И. М.: ОАО ЦНИТИ «Техномаш», 2003. С. 19–110.
2. Белянин А.Ф., Пащенко П.В., Ковальский К.А. Получение пленок магнетронным распылением мишеней из эвтектического



**Рис. 2. Морфологические особенности поверхности алюминиевого катода в области испарения: а – первичные неравновесные структуры; б – участок катода с увеличением степени шероховатости поверхности катода; в – локальные области перекристаллизации катода (справа увеличенный фрагмент) (микроскоп Leo1430 VP)**

сплава Ag-Cu // Молекулярная биология, химия и физика неравновесных систем: материалы 6 Междунар. науч. конференции. Иваново: ИвГУ, 2002. С. 227–231.

**Bibliography**

1. Belyanin A.F., Samoylovich M.I. Thin films of diamond and diamond-like materials: forming, construction and application in electronics // Collective monograph «Nanomaterials». Moscow: OJSC Central Research Technological Centre «Technomash», 2003. P. 19–110.
2. Belyanin A.F., Pashenko P.V., Kovalsky K.A. Film production by magnetron sputtering of target from eutectic Ag-Cu alloy // Molecular biology, chemistry and physics of nonequilibrium system. Materials of the 6th International scientific conference. Ivanovo: IvGY. 2002. P. 227–231.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 539.374.2

Басин М.Е., Бояршинов М.Г., Колмогоров Г.Л.

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛИННОМЕРНОГО ИЗДЕЛИЯ В РЕЖИМЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ

Технология обработки давлением длинномерных изделий в режиме гидродинамического трения заключается в разделении инструмента и деформируемого изделия тонким смазочным слоем. Такая технология применяется при производстве биметаллических изделий из дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе порошковой меди, может быть использована при производстве сверхпроводящих кабелей.

Гидродинамический ввод жидкой смазки [9, 11] осуществляется благодаря повышенному давлению в ней за счет гидродинамического эффекта, возникающего при трении смазки о движущийся пруток (рис. 1). Смазка 6 захватывается из резервуара 5 движущимся прутком 1 и вовлекается в микрозазор 4 между трубкой-насадкой 3 и прутком. В результате давление смазки вблизи зоны деформации повышается до величины, обеспечивающей ее ввод в контактную область.

В настоящее время для описания процесса деформирования в режиме гидродинамического трения разработаны модели [6, 9, 11, 20–23], в которых проблема разделяется на две независимые задачи: упругопластическое деформирование изделия и течение смазочного слоя. Проблемы анализа упругопластического деформирования металлов обстоятельно изучаются в работах [7–13, 17, 19]. Методы решения уравнений Навье–Стокса, описывающих течение вязкой жидкости, рассматриваются в [1, 14, 18 и др.]. Задачи устойчивости течения тонкого смазочного слоя при обработке металлов давлением исследуются в [11, 13, 19 и др.].

В настоящей работе для построения математической модели предполагается, что деформирование прутка является нестационарным, неизотермическим, осесимметричным; пруток состоит из отличающихся по своим свойствам изотропных материалов с первоначально известной границей раздела. Для описания поведения материалов прутка при деформации ис-

пользуется теория пластического течения с линейным анизотропным упрочнением [4]. Смазка считается вязкой и несжимаемой жидкостью.

В произвольный момент времени  $t \in [0, t_1]$  длинномерное изделие и смазка занимают ограниченную область  $\Omega = \Omega_{ep}^1 \cup \Omega_{ep}^2 \cup \Omega_l$  с внешней границей  $\Gamma$  и границами раздела материалов  $\Gamma_c^1$  между слоями  $\Omega_{ep}^1$  и  $\Omega_{ep}^2$  изделия и  $\Gamma_c^2$  между  $\Omega_{ep}^1$  и смазочным слоем  $\Omega_l$ . Замыкания областей  $\Omega_{ep} = \Omega_{ep}^1 \cup \Omega_{ep}^2$  с границей  $\Gamma_{ep}$  и  $\Omega_l$  с границей  $\Gamma_l$  определяются как  $\bar{\Omega}_{ep} = \Omega_{ep} \cup \Gamma_{ep}$  и  $\bar{\Omega}_l = \Omega_l \cup \Gamma_l$  соответственно.

Напряженно-деформированное состояние многослойного изделия и течение смазки описываются общей системой уравнений:

– движения

$$\rho \dot{\mathbf{v}} = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \rho \mathbf{F}, \quad \mathbf{x}, t \in \Omega \times [0, t_1]; \quad (1)$$

– теплопроводности

$$(\rho c T) = \nabla \cdot (\chi \nabla T) + W, \quad \mathbf{x}, t \in \Omega \times [0, t_1]; \quad (2)$$

$$W = \begin{cases} \boldsymbol{\sigma} \cdot \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^p, & \mathbf{x}, t \in \Omega_{ep} \times [0, t_1], \\ \eta \left[ \nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T \right] \cdot \nabla \mathbf{v}, & \mathbf{x}, t \in \Omega_l \times [0, t_1]; \end{cases}$$

– неразрывности

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{x}, t \in \Omega_l \times [0, t_1]; \quad (3)$$

– геометрическими

$$d\boldsymbol{\varepsilon} = \left[ \nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T \right] dt / 2, \quad \mathbf{x}, t \in \Omega_{ep} \times [0, t_1], \quad (4)$$

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \left[ \nabla \dot{\mathbf{v}} + (\nabla \dot{\mathbf{v}})^T \right] / 2, \quad \mathbf{x}, t \in \Omega_l \times [0, t_1]; \quad (5)$$

– кинематическими

$$\mathbf{v} = \dot{\mathbf{u}}, \quad \mathbf{x}, t \in \Omega_{ep} \times [0, t_1]; \quad (6)$$

– состояния

$$d\boldsymbol{\sigma} = f_{ep}(d\boldsymbol{\varepsilon}, dT), \quad \mathbf{x}, t \in \Omega_{ep} \times [0, t_1], \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = f_l(\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}), \quad \mathbf{x}, t \in \Omega_l \times [0, t_1]; \quad (8)$$

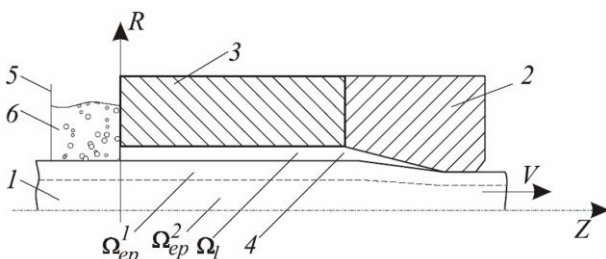


Рис. 1. Схема упругопластического деформирования прутка с гидродинамическим вводом смазки

– начальными условиями ( $t = 0$ )

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0, \quad T = T_0, \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}; \quad P = P_0, \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}_l; \quad (9)$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_0, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}_0, \quad \boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}_0, \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}_{ep};$$

– граничными силовыми

$$\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{n} = \mathbf{F}_\Gamma, \quad \mathbf{x}, t \in \Gamma_F \times [0, t_1], \quad (10)$$

кинематическими

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_\Gamma, \quad \mathbf{x}, t \in \Gamma_v \times [0, t_1], \quad (11)$$

температурными условиями,

$$T = T_\Gamma, \quad \mathbf{x}, t \in \Gamma_T \times [0, t_1],$$

$$\chi \nabla T \cdot \mathbf{n} = -\alpha (T - T_\Gamma) + 0, 5W_\tau,$$

$$\mathbf{x}, t \in \Gamma_\alpha \times [0, t_1], \quad (12)$$

$$W_\tau = \begin{cases} |\mathbf{F}_\tau \cdot \mathbf{v}|, & \mathbf{x}, t \in \Gamma_\tau \times [0, t_1], \\ 0, & \mathbf{x}, t \notin \Gamma_\tau \times [0, t_1]; \end{cases}$$

– условиями на границах раздела материалов

$$\mathbf{v}^1 - \mathbf{v}^2 = \mathbf{0}, \quad \mathbf{F}^1 + \mathbf{F}^2 = \mathbf{0}, \quad T^1 - T^2 = 0, \quad (13)$$

$$\chi^1 \nabla T^1 \cdot \mathbf{n}^1 + \chi^2 \nabla T^2 \cdot \mathbf{n}^2 = 0, \quad \mathbf{x}, t \in \Gamma_c \times [0, t_1].$$

Требуется определить функции  $T(\mathbf{x}, t)$ ,  $P(\mathbf{x}, t)$ ,  $\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$ ,  $\mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$ ,  $\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}, t)$ ,  $\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{x}, t)$ ,  $\mathbf{x}, t \in \Omega \times [0, t_1]$ , удовлетворяющие системе дифференциальных уравнений (1)–(8) с краевыми условиями (9)–(13), определить положения контактных и свободных границ, границ раздела материалов.

Согласно [4, 17] связь между приращениями тензоров напряжения и деформации для упругопластического материала принимается в виде

$$d\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D} \cdot d\boldsymbol{\varepsilon} + \mathbf{R} dT. \quad (14)$$

Для жидкой смазки зависимость тензора напряжений от вектора скорости имеет вид [3, 14, 18]

$$\boldsymbol{\sigma} = -PE + \eta \left[ \nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T \right]. \quad (15)$$

Для построения разрешающих соотношений используется метод Галеркина с конечно-элементной аппроксимацией решения. На основе полной и замкнутой системы скалярных функций  $\phi_j$ ,  $j = 1, 2, \dots$  строится последовательность пробных векторных функций [1], образующих полную и замкнутую систему:

$$\Phi_1 = \{\phi_1, 0, 0\}, \quad \Phi_2 = \{0, \phi_1, 0\}, \quad \Phi_3 = \{0, 0, \phi_1\},$$

$$\Phi_4 = \{\phi_2, 0, 0\}, \quad \Phi_1 = \{0, \phi_2, 0\}, \dots$$

Для упругопластического материала уравнение движения (1) с учетом геометрических соотношений (4) и уравнения состояния (7) для конечного элемента с номером  $k$  записываются в виде системы разрешающих соотношений

$$\sum_{i=1}^m \int_{\Omega_{ep}} \left( [B_k] [D^{ep}] [B_i]^T + \rho [\phi_k] \phi_i \nabla \mathbf{v}^{n-1} \right) d\Omega \{v_i^n\} -$$

$$- \int_{\Omega_{ep}} \left( [B_k] [R] dT \right) d\Omega + \quad (16)$$

$$+ \sum_{i=1}^m \int_{\Omega_{ep}} \rho [\phi_k] \phi_i d\Omega \{v_i^n\} - \int_{\Gamma_{ep}} [\phi_k] [F] d\Gamma = 0,$$

$$\sum_{i=1}^m \int_{\Omega_i} \left( [B_k] [D^i] [B_i]^T + \rho [\phi_k] \phi_i \nabla \mathbf{v}^{n-1} \right) d\Omega \{v_i^n\} +$$

$$+ \int_{\Omega_i} \left( [B_k] [R] dT \right) d\Omega + \quad (17)$$

$$+ \sum_{i=1}^m \int_{\Omega_i} \rho [\phi_k] \phi_i d\Omega \{v_i^n\} - \int_{\Gamma_i} [\phi_k] [F] d\Gamma = 0,$$

$$\sum_{i=1}^m \int_{\Omega} \rho c \phi_k \phi_i d\Omega \dot{T}_i +$$

$$+ \sum_{i=1}^m \int_{\Omega} \left( \rho c \phi_k \mathbf{v}^n \cdot \nabla \phi_i + \chi \nabla \phi_i \cdot \nabla \phi_k \right) d\Omega T_i + \quad (18)$$

$$+ \sum_{i=1}^m \int_{\Gamma} \alpha \phi_i \phi_k d\Gamma T_i -$$

$$- \int_{\Gamma} (\alpha T_\Gamma + 0, 5W_\tau) \phi_k d\Gamma - \int_{\Gamma} W \phi_k d\Gamma = 0,$$

где  $\mathbf{v}^{n-1}$ ,  $\tilde{\mathbf{v}}^n$  – векторы скорости на шагах по времени  $t^{n-1}$  и  $t^n$  соответственно;  $\tilde{\mathbf{v}}$  – промежуточное между  $\mathbf{v}^{n-1}$  и  $\mathbf{v}^n$  значение, подлежащее уточнению. Вид матриц  $[B]$ ,  $[D^{ep}]$ ,  $[D^i]$  и прочих приведен в [2].

Для уточнения поля скорости и определения давления в жидкой смазке используется подход О.М. Белоцерковского [3], согласно которому вводится дополнительное давление  $\delta P$ , определяемое как решение дифференциального уравнения

$$\Delta \delta P - \rho \nabla \cdot \tilde{\mathbf{v}} / \tau = 0, \quad \mathbf{x} \in \Omega_l,$$

и позволяющее уточнить распределение давления и поле скорости, удовлетворяющее в этом случае уравнению неразрывности:

$$P^n = P^{n-1} + \delta P, \quad \mathbf{v}^n = \tilde{\mathbf{v}} - \tau \nabla \delta P / \rho, \quad \mathbf{x} \in \Omega_l. \quad (19)$$

Разрешающее соотношение для нахождения поправки к давлению для конечного элемента с номером  $k$  имеет вид

$$\sum_{i=1}^m \int_{\Omega_i} \nabla \phi_i \cdot \nabla \phi_k d\Omega \delta P_i + \frac{\rho}{\tau} \int_{\Omega_i} \nabla \cdot \tilde{\mathbf{v}} \phi_k d\Omega -$$

$$- \sum_{i=1}^m \int_{\Gamma_i} \nabla \phi_i \cdot \mathbf{n} \phi_k d\Gamma \delta P_i = 0. \quad (20)$$

Для решения поставленной задачи используется следующий алгоритм. Предполагается, что для произвольного момента времени  $t^{n-1}$  известно напряженно-деформированное состояние материала. Тогда для следующего момента времени  $t^n = t^{n-1} + \tau$  совместным решением системы уравнений (16) и (17) определяются компоненты вектора скорости для всей исследуемой области. По известному полю скорости из (4), (6), (7) определяются приращения компонент вектора перемещений, тензоров деформации и напряжения в металле; для жидкости решением уравнения (20) находится приращение давления  $\delta P$  и корректируются компоненты полей скорости и давления; вычисляется мощность внутренних источников тепла. Из соотношения (18) с учетом поверхностных и внутренних источников тепла рассчитывается поле температуры.

Далее для металла определяется расположение зон упругого и пластического деформирования. Это, в свою очередь, позволяет определить компоненты тензоров **D** и **R** физических свойств металла для выполнения очередного шага расчетов. По найденному приращению вектора перемещений определяется положение внешней границы изделия, границы раздела материалов, а также уточняется наличие свободных и контактных поверхностей. Затем осуществляется переход к следующему шагу вычислений. Расчеты выполняются в указанной последовательности до достижения требуемого момента времени. Изложенный алгоритм позволяет проследить эволюционное развитие напряженного и деформированного состояния изделия, полей скорости, температуры и давления как в деформируемом материале, так и в смазочном слое.

Верификация математической модели выполнена на следующих задачах: определение напряженно-деформированного состояния длинного цилиндра при упругом, термоупругом и пластическом деформировании (максимальная погрешность между численным и точным [5, 15] решениями при упругом деформировании составила 1,88%; при термоупругом – 0,21%; при пластическом – 6,28%); определение полей скорости и давления при течении жидкости в цилиндрическом канале (максимальная погрешность между численным и точным [18] решениями составила 1,84%).

Для проверки применимости теории пластического течения определялись траектории деформирования материальных частиц в пространстве А. А. Ильюшина и проверялось выполнение критериального условия

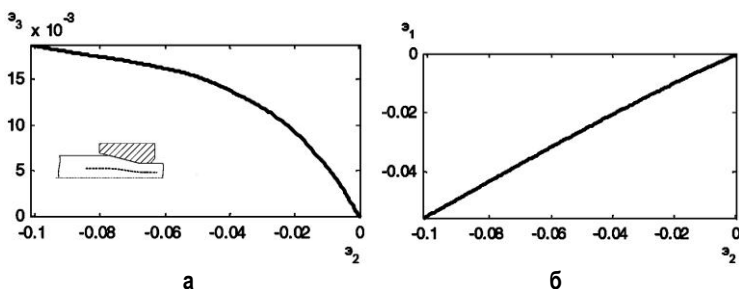


Рис. 2. Проекция траекторий деформации на плоскости  $e_1$ – $e_2$  (а) и  $e_2$ – $e_3$  (б) пространства А.А. Ильюшина

$\zeta < h^{-1}$ , где  $\zeta$  – радиус кривизны траектории деформации,  $h$  – след запаздывания. Для всех конечных элементов, аппроксимирующих исследуемую область, траектории деформирования удовлетворяют соотношениям малой кривизны (рис. 2).

Разработанная математическая модель позволила исследовать задачи течения смазочного слоя и деформирования изделия в режиме гидродинамического трения (рис. 3).

Для волочения однородного изделия (рис. 3, а) выполнено сравнение полей температуры, скорости и напряжения при деформировании с различными значениями коэффициента трения. Рассматриваются коэффициенты трения, равные  $f_t=0,1$ ,  $f_t=0,05$  и  $f_t=0,01$ , условно соответствующие режимам граничного, смешанного и гидродинамического трения. Скорость волочения принимается равной 0,1 м/с; полуугол образующей конуса волокна  $\theta=6^\circ$ , начальный радиус заготовки 2,94 мм, коэффициент вытяжки 1,2.

Наибольшие различия отмечаются в распределении температурных полей (рис. 4). Распределение температуры в режиме с коэффициентом трения  $f_t=0,01$  показывает, что основное влияние на разогрев в режиме гидродинамического трения оказывает энергия пластического деформирования. Поэтому пруток разогревается достаточно равномерно вдоль радиального сечения. Снижение коэффициента трения также способствует снижению значений компонент тензора напряжения.

Значительный интерес представляют процессы упругопластического деформирования биметаллических изделий (рис. 3, б): заготовок электродов для контактной сварки (медная оболочка и сердечник из ДУКМ) и биметаллических заготовок для сверхпроводящих материалов (медная оболочка и ниобиевый или титановый сердечник). Принимается, что ско-

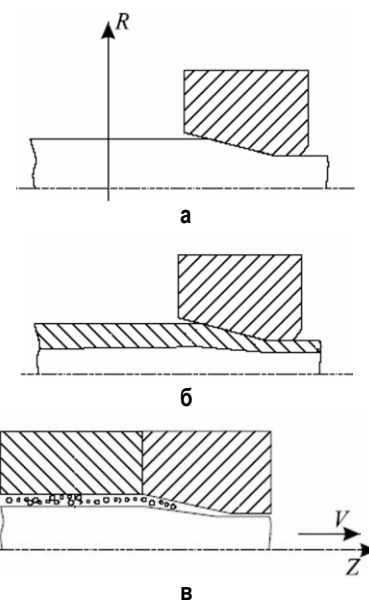


Рис. 3. Схемы деформирования изделий: а – металлическое изделие; б – биметаллическое изделие; в – режим гидродинамического трения



рость волочения равна 1 м/с, полуугол волоки  $\theta=6^\circ$ , коэффициент трения  $f_T=0,1$ . Радиус сердечника заготовки электрода составляет 6 мм, начальный радиус

оболочки – 9 мм, коэффициент вытяжки 1,1; начальный радиус сердечника сверхпроводящей заготовки – 2 мм, начальный радиус оболочки – 4 мм, коэффици-

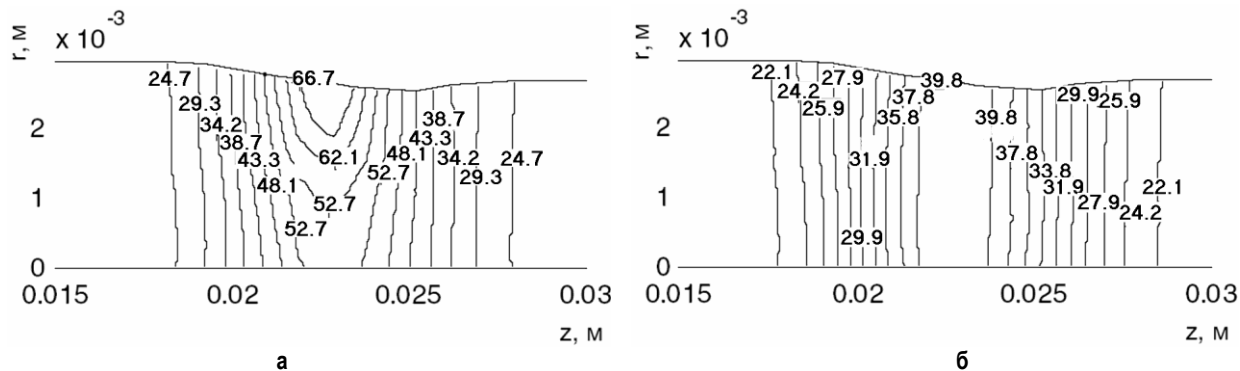


Рис. 4. Распределение температуры при различных видах трения:  $f_T=0,1$  (а),  $f_T=0,01$  (б)

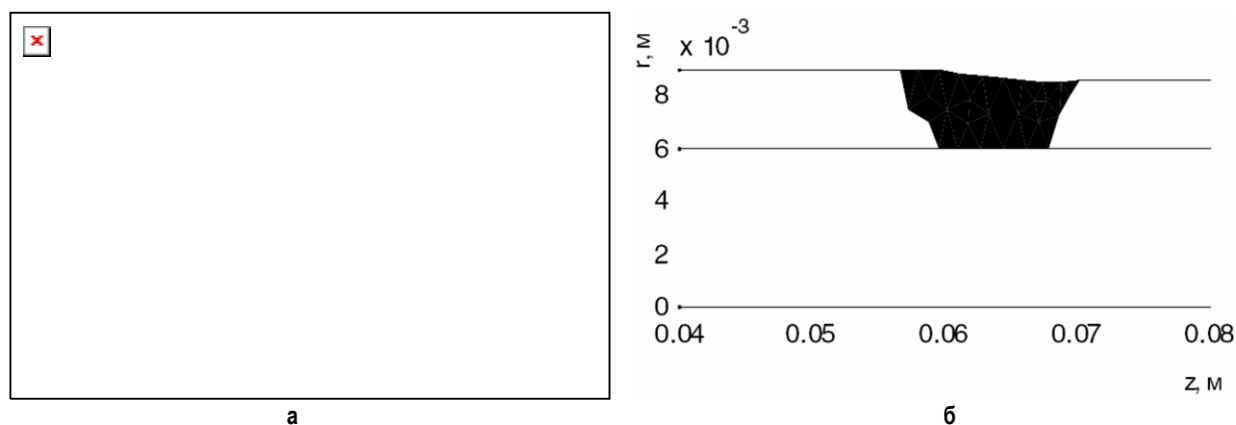


Рис. 5. Особенности напряженно-деформированного состояния ДУКМ–медного биметаллического прутка: распределение температуры (а), зоны упругости и пластичности (б, зона пластических деформаций выделена черным цветом)

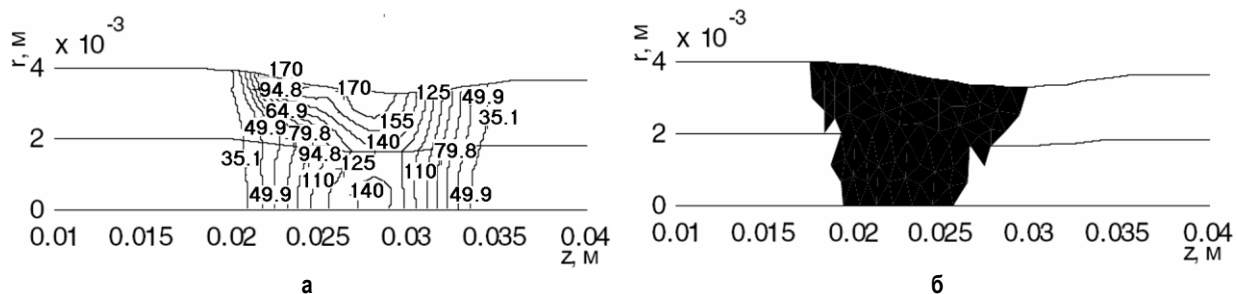


Рис. 6. Особенности напряженно-деформированного состояния ниобий-медного прутка: распределение температуры (а), зоны упругости и пластичности (б, зона пластических деформаций выделена черным цветом)

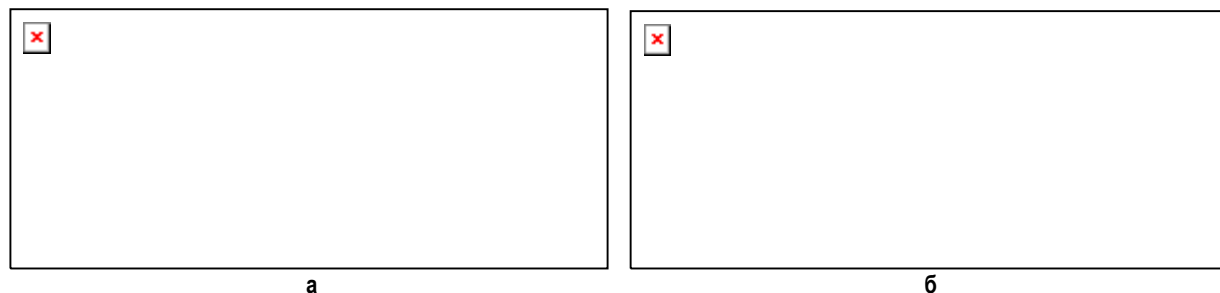


Рис. 7. Особенности напряженно-деформированного состояния титан-медного прутка: распределение температуры (а), зоны упругости и пластичности (б, зона пластических деформаций выделена черным цветом)

ент вытяжки 1,2.

Существенный поверхностный разогрев оболочки происходит в местах контакта металла с инструментом (рис. 5, а) в результате интенсивного контактного трения. Внутренняя часть оболочки разогревается за счет теплопроводности и энергии пластического деформирования. Из расчетов следует, что температура сердечника остается практически неизменной. Расчеты показывают, что практически деформируется лишь медная оболочка (рис. 5, б).

Напряженно-деформированные состояния ниобий-медного и титан-медного прутков (рис. 6 и 7) качественно совпадают. Характер распределения и распределение количественных значений температуры близки между собой. При этом в титановом сердечнике компоненты тензора напряжений достигают более высоких значений, чем в сердечнике из ниобия.

Решена задача деформирования прутка в режиме гидродинамического трения (рис. 4, в). Для проведения расчетов принимается, что скорость волочения составляет 5 м/с, полуугол волоки  $\theta=6^\circ$ , коэффициент вытяжки 1,2. Начальный радиус прутка равен 2,94 мм, длина трубки-насадки 30 мм. В качестве смазки используется минеральное масло МС-20. Выбранные параметры трубки-насадки обеспечивают высокое давление в смазке перед входом в зону деформации (рис. 8).

На рис. 9 приведены результаты определения напряженно-деформированного состояния прутка при обработке в режиме гидродинамического трения. Разогрев в смазочном слое (рис. 9, а) происходит за счет сил вязкого трения. Благодаря контактному теплообмену и энергии пластического деформирования про-

исходит разогрев поверхности прутка. Из экспериментов известно [9], что разогрев поверхности изделия может достигать  $180^\circ\text{C}$ . Результаты расчетов показывают, что нагрев контактного слоя достигает от  $160$  до  $176^\circ\text{C}$ , то есть отклонение от экспериментального значения находится в пределах от 3 до 11%.

Определяющую роль в формоизменении металла играет давление, развиваемое в слое смазки. В то же время физико-механические свойства изделия определяют характер деформирования и, тем самым, влияют на поведение смазочного слоя. Это говорит о необходимости совместного решения задачи формоизменения изделия и течения смазочного слоя для уточнения основных характеристик процесса деформирования металла в режиме гидродинамического

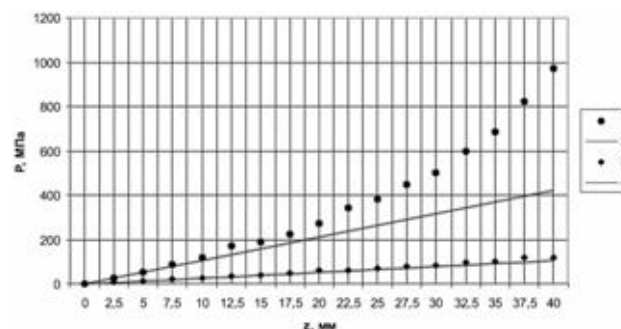


Рис. 8: Распределение давления в смазочном слое в зависимости от длины трубки-насадки и толщины слоя смазки: 1, 3 – численные решения; 2, 4 – аналитические решения; решения 1, 2 получены для  $h = 0,05$  мм; решения 3, 4 – для  $h = 0,1$  мм

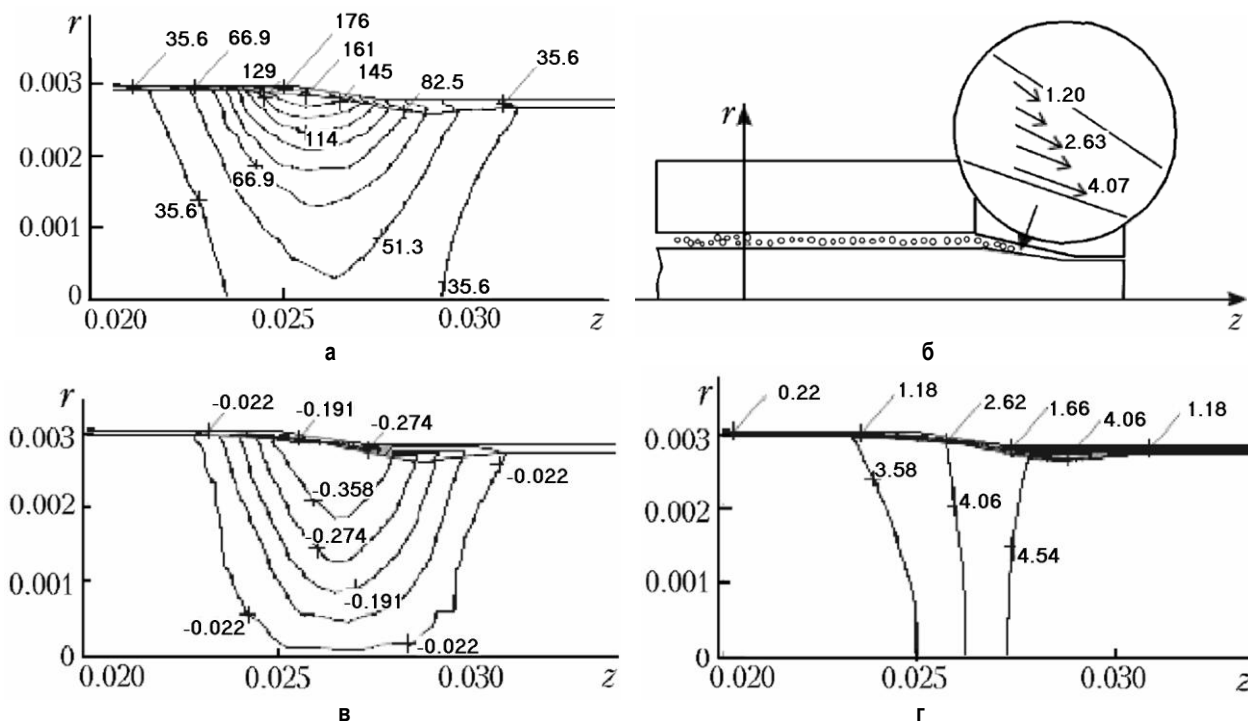


Рис. 9. Напряженно-деформированное состояние прутка при обработке в режиме гидродинамического трения: распределение температуры (а), распределение скорости смазочном слое (б), радиальная (в) и осевая (г) компоненты вектора скорости в деформируемом прутке

трения. Результаты вычислительного моделирования свидетельствуют о возможности решения совместной задачи упругопластического деформирования металлического изделия и течения смазочного слоя, применения построенной математической модели к исследованию влияния скорости волочения, геометрии инструмента, типов материалов и смазок и других факторов на рассматриваемый процесс.

**Выводы.** Выполнена математическая постановка совместной нестационарной, неизотермической, осесимметричной краевой задачи течения смазочного слоя и деформирования многослойного изделия. С использованием метода Галеркина построены разрешающие соотношения для дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих деформирование многослойного изделия и течение смазочного слоя. Выполнена верификация математической модели на задачах механики деформируемого твердого тела и механики жидкости. Получены решения прикладных задач: определено напряженно-деформированное состояние однородного прутка при деформировании в режимах с различными видами трения, биметаллической ДУКМ–медной заготовки, биметаллических заготовок для сверхпроводящих модулей, биметаллического прутка в режиме гидродинамического трения.

**Список литературы**

1. Басин М.Е., Бояршинов М.Г. Математическая модель процессов течения смазочного слоя и упругопластического деформирования изделия // Инженерно-физический журнал. 2008. Т. 81. № 3. С. 538–547.
2. Басин М.Е. Математическое моделирование процесса течения смазочного слоя и деформирования многослойного изделия: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 2006. 16 с.
3. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. М.: Наука, 1991. 300 с.
4. Биргер И.А., Шорр Б.Ф. Термопрочность деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 455 с.
5. Джонсон У., Меллор П.Б. Теория пластичности для инженеров. М.: Машиностроение, 1979. 567 с.
6. Голенков В.А., Кондрашев В.И., Зыкова З.П. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1994. 272 с.
7. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1983. 352 с.
8. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1990. 310 с.
9. Колмогоров В.Л., Орлов С.И., Колмогоров Г.Л. Гидродинамическая подача смазки. М.: Металлургия, 1975. 256 с.
10. Колмогоров В.Л., Орлов С.И., Селищев К.П. Волочение в режиме жидкостного трения. М.: Металлургия, 1967. 155 с.
11. Колмогоров Г.Л. Гидродинамическая подача смазки при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1986. 168 с.
12. Колмогоров Г.Л. Температурный режим проволоки при волочении // Прикладные вопросы теории упругости и пластичности. 1971. № 98. С. 59–64.
13. Колмогоров Г.Л., Верхоланцева Р.М. Течение вязкой жидкости в плоской насадке // Прочностные и гидравлические характеристики машин и конструкций. 1972. № 112. С. 15–20.
14. Коннор Дж., Бреббия К. Метод конечных элементов в механи-

- ке жидкости. Л.: Судостроение, 1979. 264 с.
15. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.
16. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. 608 с.
17. Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусов П.В. Остаточные напряжения: теория и приложения. М.: Наука, 1982. 112 с.
18. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. 616 с.
19. Славнов Е.В. Нестационарная задача течения смазки в насадке // Прочностные и гидравлические характеристики машин и конструкций. 1972. № 112. С. 117–121.
20. Ульянов А.Г., Крукович А.Р. Неизотермическое течение смазки постоянной плотности между наклонными плоскостями (изменение вязкости с температурой) // Тр. Дальневост. гос. техн. ун-та. 2001. Т. 130. С. 85–88.
21. Al-Samieh M., Rahnejat H. Ultra-thin lubricating films under transient conditions // J. Phys. D. 2001. Vol. 34. N. 17. P. 2610–2621.
22. Fanyhui S., Salant Richard F. The mixed soft elastohydrodynamic lubrication model with interoperate cavitations and surface shear deformation // J. Tribology. 2000. Vol. 122. No 1. Pp. 308–316.
23. Lo S.-W., Wilson William R.D. The theoretical model of micro-pool lubrication in metal forming // J. Tribology. 1999. Vol. 121. N. 4. P. 731–738.

**Bibliography**

1. Basin M.E., Boyarshinov M.G. Mathematical model of the processes of flow of a lubricating layer and elastoplastic deformation of a product // Journal of engineering physics and thermo-physics. 2008. Vol. 81. N 3. P. 565–575.
2. Basin M.E. Mathematical simulation of lubricating layer flow and poly-layer body deformation: Abstract of diss. ... doc. of phis. and math. sci. (PhD) Perm: Perm state technical university, 2006. 16 p.
3. Belotserkovsky O.M. Numerical simulation in continuum mechanics. Moscow: Science, 1991. 300 p.
4. Birger I.A., Shorr B.F. Thermal strength of machine components. Moscow: Machine-building, 1975. 455 p.
5. Jonson W., Mellor P.B. Engineering plasticity. Moscow: Machine-building, 1979. 567 p.
6. Golenkov V.A., Kondrashev V.I., Zikova Z.P. Mathematical simulation of processes of pressure treatment of metals. Moscow: Machine-building, 1994. 272 p.
7. Gun G.Ya. Mathematical simulation of processes of pressure treatment of metals. Moscow: Metallurgy, 1983. 352 p.
8. Ilyushin A.A. Continuum mechanics. Moscow: MGU Publisher, 1990. 310 p.
9. Kolmogorov V.L., Orlov S.I., Kolmogorov G.L. Hydrodynamic lubrication supply. Moscow: Metallurgy, 1975. 256 p.
10. Kolmogorov V.L., Orlov S.I., Selischev K.P. Drawing in liquid friction regime. Moscow: Metallurgy, 1967. 155 p.
11. Kolmogorov G.L. Hydrodynamic lubrication supply in pressure treatment of metals. Moscow: Metallurgy, 1986. 168 p.
12. Kolmogorov G.L. Temperature regimes of wire during drawing // Applied questions of elasticity and plasticity theory. 1971. N 98. P. 59–64.
13. Kolmogorov G.L., Verholantseva R.M. Viscous fluid flowing in plane nozzle // Strength and hydraulic parameters of machines and constructions. 1972. N 112. P. 15–20.
14. Connor J., Brebbia C. Finite element techniques for fluid flow. Leningrad: Ship-building, 1979. 264 p.
15. Malinin N.N. Applied plasticity and creeping theory. Moscow: Machine-building, 1975. 400 p.
16. Marchuk G.I. Methods of computational mathematics. Moscow: Science, 1989. 608 p.
17. Pozdееv A.A., Nyashin Yu.I., Trusov P.V. Residual stresses: theory and its practical application. Moscow: Science, 1982. 112 p.

18. Roache P. Computational fluid dynamics. Moscow: Mir, 1980. 616 p.
19. Slavnov E.V. Problem of non steady-state lubrication flow in nozzle // Strength and hydraulic parameters of machines and constructions. 1972. N 112. P. 117–121.
20. Ulyanov A.G., Krukovich A.R. Non isothermal flow of lubrication with constant density between inclined planes (viscous temperature dependence) // Works of Far-East. state tech. university. 2001. Vol. 130. P. 85–88.
21. Al-Samieh M., Rahnejat H. Ultra-thin lubricating films under transient conditions // J. Phys. D. 2001. Vol. 34. N. 17. P. 2610–2621.
22. Fanyhui S., Salant Richard F. The mixed soft elastohydrodynamic lubrication model with interoperate cavitations and surface shear deformation // J. Tribology. 2000. Vol. 122. No. 1. P. 308–316.
23. Lo S.-W., Wilson William R.D. The theoretical model of micro-pool lubrication in metal forming // J. Tribology. 1999. Vol. 121. N. 4. P. 731–738.

УДК 517.55

Беланков А.Б., Гитман М.Б., Столбов В.Ю.

## ТРЕХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕТОЧНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Теоретические исследования в области материаловедения, посвященные проблемам кристаллизации металлических расплавов, продиктованы необходимостью предсказания свойств конструкционных материалов без использования дорогостоящих экспериментов. Поэтому проблема моделирования процесса кристаллизации и, в частности, моделирование получаемой микроструктуры и мезоструктуры металла является актуальной.

Несмотря на то, что модель меньшего масштабного уровня может описать все эффекты, наблюдаемые на более крупных масштабах, такой подход сталкивается с ограничением на вычислительные ресурсы. Для того чтобы обойти данное ограничение, модель процесса кристаллизации может быть представлена как совокупность взаимодействующих моделей на различных масштабных уровнях. Другими словами, весь процесс кристаллизации можно условно разбить на три взаимодействующих процесса: диффузию примесей и тепловые потоки на макроуровне, формирование кристаллической структуры на мезоуровне и зарождения зерен на микроуровне (рис. 1).

Считается, что в исходном состоянии температура отливки выше температуры кристаллизации, т.е. весь объем вещества находится в жидкой фазе. На границах объема, ограничивающего рассматриваемую область, задаются тепловые потоки. Таким образом, в расплаве протекают теплофизические процессы, свя-

занные с превращением жидкой фазы вещества в твердую. Понижение температуры до критической в некотором объеме расплава приводит к образованию двухфазной области. Критическая температура зависит от свойств вещества и определяется с помощью фазовой диаграммы по процентному содержанию в веществе примеси.

Двухфазная область характеризуется наличием в ней как жидкой фазы, так и взвешенной твердой фазы (зародышей). Переохлаждение объема отливки способствует росту зародышей, при этом выделяется скрытая энергия кристаллизации, что оказывает влияние на тепловой баланс. Рост твердой фазы приводит к выпеснению части примеси в жидкую фазу отливки, что, в свою очередь, ведет к образованию неоднородности ее концентрации в объеме и обуславливает диффузию примеси в жидкой и двухфазной областях.

Рассмотрим возможные подходы к моделированию процессов кристаллизации на каждом структурном уровне.

Задача на макроуровне может быть решена известными численными методами механики сплошных сред [1]. Поэтому основной интерес в данном случае представляют модели формирования кристаллической структуры в процессе кристаллизации на микро- и мезоуровнях. Модель микроуровня должна описывать процесс зарождения и роста отдельного дендрита, а модель мезоуровня – процессы взаимодействия растущих дендритов и образования границ зерен.

При решении задачи микроуровня возможно несколько подходов – от феноменологического (например, KGT модель [2]) до использования методов молекулярной динамики [3]. Однако эти подходы требуют значительное количество натуральных или вычислитель-

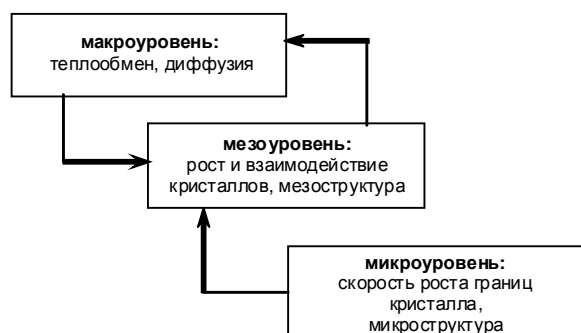


Рис. 1. Структурная схема многоуровневой модели кристаллизации

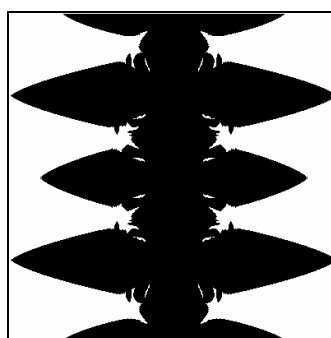


Рис. 2. Дендритная структура, получаемая при моделировании

ных экспериментов.

В последние годы для моделирования сложных систем и процессов в различных областях естествознания применяются клеточные автоматы [4]. Особенно хорошо они зарекомендовали себя для описания «тонких» эффектов некоторых технологических процессов, например для описания формирования микроструктуры материала при кристаллизации. В работе [5] дается достаточно полный обзор существующих моделей процесса кристаллизации и рассматриваются перспективы их использования и развития. В обзоре большое место уделяется стохастическим методам моделирования, в том числе имитационным подходам, использующим технику клеточных автоматов.

Рассмотрим простую модель получения микроструктуры, основанную на работе классического клеточного автомата, и решение уравнения теплопроводности вида:

$$T_i = a\Delta T + f, \quad (1)$$

где  $T$  обозначает температурное поле, а  $f$  – источник, учитывающий выделение скрытой теплоты кристаллизации пропорционально скорости изменения доли твердой фазы. Перепишем уравнение (1) в виде конечно-разностной схемы [6]:

$$\begin{aligned} T_{ij}^{k+1} &= (1-4\nu)T_{ij}^k + \nu[T_{ij+1}^k + T_{ij-1}^k + \\ &+ T_{i+1j}^k + T_{i-1j}^k] + \Delta g_{ij}^k; \\ g_{ij}^{k+1} &= g_{ij}^k + \Delta g_{ij}^k; \\ \Delta g_{ij}^k &= \gamma W_{ij}^k (\Theta - T_{ij}^k), \end{aligned}$$

где  $g$  – доля твердой фазы в ячейке;  $\gamma$  и  $\nu$  – коэффициенты, определяющие шаг по времени и пространству, в которые также заключена теплоемкость и теплопроводность материала;  $W$  – принимает значения из множества  $\{0, 1\}$  и определяет склонность ячейки к затвердеванию;  $\Theta$  – температура кристаллизации.

Для клеточного автомата будем использовать окрестность фон Неймана (каждая клетка имеет четыре соседа, с которыми происходит взаимодействие).

Несмотря на простые правила, в результате моделирования получается дендритная структура (рис. 2) с ветвями различных порядков, а ключевыми физическими механизмами ее возникновения в данном случае являются учет скрытой теплоты плавления (кристаллизации) и анизотропия дендрита, задаваемая свойствами классического клеточного автомата.

Следует отметить, что рассмотренная модель микроуровня хорошо описывает процесс формирования одиночного дендрита, направление осей кристаллографической решетки которого параллельно осям координат (ограничение на ориентацию связано с анизотропией правил клеточного автомата). Однако описание с ее помощью роста дендрита при его произвольной ориентации в пространстве, а тем более взаимодействия случайно расположенных относи-

тельно друг друга дендритов вызывает большие вычислительные трудности и требует огромных затрат машинного времени [6].

Поэтому предлагается на мезоуровне использовать другую модель. При этом отметим, что для получения информации с микроуровня (передаваемой на мезоуровень, см. рис.1) может использоваться вышеописанная модель, основанная на технике классических клеточных автоматов, или KGT-модель (с уточнением ее параметров на основе результатов вычислительных экспериментов).

Многочисленными экспериментами установлено [2, 7], что процесс затвердевания металла на мезоуровне представляет собой рост и взаимодействие металлических кристаллов-дендритов в объеме. Если кристалл представить в виде некоторой геометрической фигуры, то процесс его роста можно смоделировать путем наращивания исходной фигуры с заданной скоростью изменения ее границы по всем направлениям в зависимости от ориентации кристалла в пространстве и температуры переохлаждения расплава. При этом можно учесть взаимодействие кристаллов путем прекращения их дальнейшего роста в точках соприкосновения. Для моделирования мезоструктуры, которую образуют взаимодействующие дендриты, применим клеточный автомат с сеточной структурой [8], в котором простым и эффективным способом реализуется условие изотропии его локальных свойств в отличие от классического клеточного автомата.

Как известно [4], одним из важных параметров, влияющих на работу клеточного автомата, является выбор окрестности элемента как за счет изменения формы клетки, так и включением в окрестность других клеток, не граничащих с центральной клеткой. При этом определяется анизотропия правил взаимодействия клеток, т.к. количество элементов в окрестности конечно и они образуют некоторое множество направлений относительно центральной точки, которые называются привилегированными.

Обозначим произвольное привилегированное направление, определяемое выбором окрестности клетки автомата, вектором  $\mathbf{a}$ . Очевидное решение задачи повышения количества элементов множества значенний векторов  $\mathbf{a}$  заключается в увеличении окрестности клетки автомата. Тогда множество будет состоять из всех нормированных векторов, идущих от центральной клетки к каждой клетки ее окрестности. При этом размер множества в общем случае будет меньше количества клеток в окрестности, потому что для некоторых клеток нормированные векторы совпадают.

На двумерном поле классического клеточного автомата с окрестностью, включающей несколько слоев клеток вокруг центральной, количество реализуемых привилегированных направлений примерно равно числу клеток в окрестности.

Для предлагаемого автомата с сеточной структурой количество привилегированных направлений квадратично зависит от числа клеток в окрестности, что существенно повышает эффективность вычислений.

Поэтому была предложена модификация клеточного автомата, особенностью которого является размещение элементов в строках и столбцах, образующих поле клеточного автомата в виде сетки (рис. 3).

Назовем *макроклеткой* совокупность клеток, образующих замкнутую цепочку, не содержащую другие клетки автомата (см. рис. 3). Очевидно, что одна клетка (элемент клеточного автомата) может принадлежать нескольким макроклеткам. Считается, что в окрестность некоторой клетки входят все клетки, принадлежащие макроклеткам с данной клеткой (выделенная область на рис. 3).

Расстояния между столбцами и строками клеток  $s$  влияет на точность автомата. Количество реализуемых направлений  $\mathbf{a}$  такое же, как и у ранее рассмотренного автомата с аналогичным размером окрестности. Отличие заключается в том, что в вышеописанной модификации не все направления реализуются равновероятно.

Использование вычислительных ресурсов у автомата с сеточной структурой более эффективное, чем у автомата с непрерывно заполненной окрестностью. При повышении количества элементов множества направлений  $\mathbf{a}$  используемая память в первом случае растет линейно, а во втором – квадратично (для случая двумерного поля). Каждая клетка в первом случае имеет окрестность, состоящую из меньшего количества элементов, а значит, при взаимодействии клеток необходимо выполнить меньшее количество операций.

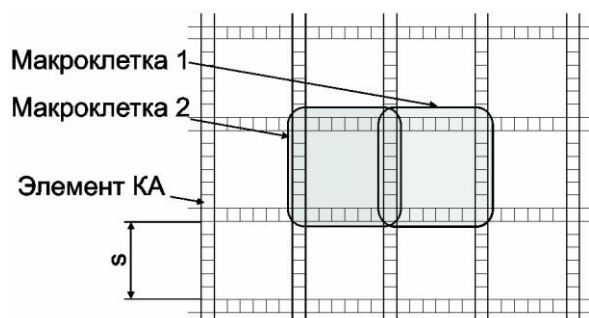


Рис. 3. Поле клеточного автомата сетчатой структуры

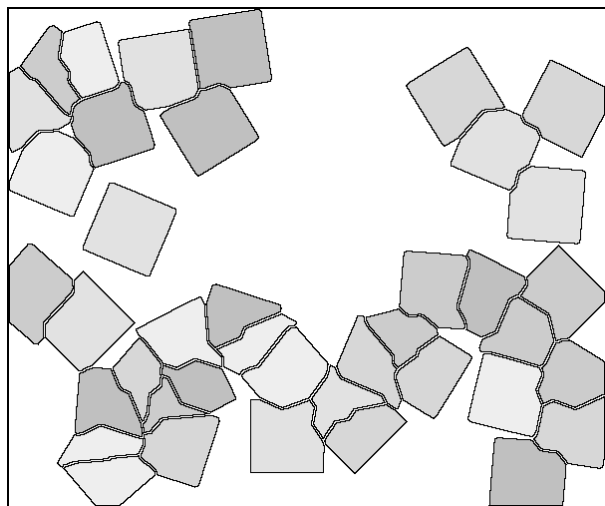


Рис. 4. Моделирование процесса формирования структуры на мезоуровне

Специально построенный клеточный автомат с сеточной структурой был применен для моделирования процесса формирования мезоструктуры при кристаллизации металлического расплава.

Для проверки адекватности модели был проведен ряд вычислительных экспериментов, демонстрирующих возможности предложенного алгоритма при моделировании процесса кристаллизации расплава. Объектом моделирования являлся процесс затвердевания двухкомпонентного расплава, находящегося в отливке прямоугольной формы. Считалось, что в начальный момент времени весь металл находится в жидком состоянии. На границах отливки задаются охлаждающие тепловые потоки. Для определения температурного поля и распределения примеси внутри исследуемой области решаются связанные краевые задачи теплопроводности и диффузии на макроуровне. Одновременно решается задача о росте одиночного дендрита с помощью модели микроуровня и определяется функция скорости роста границы дендрита при аппроксимации его контура квадратом в зависимости от направления роста [2, 8]:

$$V(\mathbf{a}) = \min \left[ \left[ (a_x \cos \alpha - a_y \sin \alpha)^{-1} \right], \right. \\ \left. \left[ (a_x \sin \alpha - a_y \cos \alpha)^{-1} \right] \right],$$

где  $\alpha$  – угол ориентации, который жестко связан с ориентацией кристаллической решетки кристалла в пространстве. При этом кристаллы имеют начальную случайную ориентацию относительно друг друга. Значения функции скорости в каждом направлении  $\mathbf{a}$  определяются в зависимости от свойств материала и температуры переохлаждения расплава.

Полученные данные передаются модели мезоуровня, с помощью которой описывается процесс роста и взаимодействия кристаллов с образованием конечной структуры материала. При этом за счет обратных связей (см. рис. 1) происходит уточнение решений задач на макроуровне в процессе охлаждения отливки.

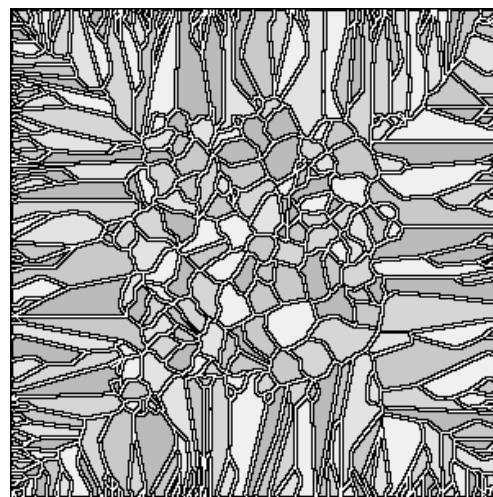


Рис. 5. Конечная мезоструктура материала Al-Si 7%

На рис. 4 показано взаимодействие отдельных дендритов в процессе затвердевания металлического с образованием границ зерен, полученное с помощью разработанной модели. Видно, что даже небольшое число фигур простой формы образуют сложную границу при взаимодействии.

На рис. 5 приведена мезоструктура, полученная с помощью данного алгоритма, которая хорошо согласуется с экспериментальными данными, приведенными в работе [2].

Приведенные результаты показывают, что разработанный алгоритм позволяет моделировать различные особенности процесса зарождения, роста и взаимодействия кристаллов и может быть использован для качественного исследования особенностей формирования структуры при кристаллизации материала.

#### Список литературы

1. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: учеб. пособие. М.: Наука, 1989. 432 с.
2. Rappaz M., Gandin Ch.-A. Probabilistic modelling of microstructure formation in solidification process // *Acta materialia*. 1993. V. 31. N. 2. P. 345–360.
3. Norman G.E., Stegailov V.V. Stochastic and Dynamic Properties of Molecular Dynamics Systems: Simple Liquids, Plasma and Electrolytes, Polymers // *Computer Physics Communications* 147, 678–683 (2002).
4. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов: пер. с англ. М.: Мир, 1991.
5. Boettinger W., Coriell S., Rappaz M. Solidification microstructures:

resent developments, future directions // *Acta materialia*. 2000. V. 48. N 1. P. 43–70.

6. Уманцев А.Р., Виноградов В.В., Борисов В.Т. Математическое моделирование роста дендритов в переохлажденном расплаве // *Кристаллография*. 1985. Т. 30. № 3. С. 455–466.
7. Самойлович Ю.А. Формирование слитка. М.: Металлургия, 1977.
8. Беланков А.Б., Столбов В.Ю. Применение клеточных автоматов для моделирования микроструктуры материала при кристаллизации // *Сибирский журнал индустриальной математики*. 2005. № 2(22). С. 12–19.

#### List of literature

1. Samarsky A.A., Gulin A.V. Chislennye metodi. M.: Nauka, 1989.
2. Rappaz M., Gandin Ch.-A., Probabilistic modelling of microstructure formation in solidification process // *Acta materialia*. 1993. V. 31. N. 2. P. 345–360.
3. Norman G.E., Stegailov V.V. Stochastic and Dynamic Properties of Molecular Dynamics Systems: Simple Liquids, Plasma and Electrolytes, Polymers // *Computer Physics Communications* 147, 678–683 (2002).
4. Toffoli T., Margolus N. Mashiny kletochnyh avtomatov. M.: Mir, 1991.
5. Boettinger W., Coriell S., Rappaz M. Solidification microstructures: resent developments, future directions // *Acta materialia*. 2000. V. 48. N 1. P. 43–70.
6. Umancev A.R., Vinogradov V.V., Borisov V.T. Matematicheskoe modelirovanie rosta dendritov v pereohlachdenom rasplave // *Kristallografiya*. 1985. V. 30. № 3. P. 455–466.
7. Samoilovich Yu.A. Formirovanie slitka. M.: Metallurgiya, 1977.
8. Belankov A.B., Stolbov V.Yu. Primenenie kletochnyh avtomatov dlia modelirovaniya mikrostrukturi materiala pri kristalizacii // *Sybirsky chumal industrialnoi matematiki*. 2005. № 2(22). P. 12–19.

УДК 531.43/46

Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.), Слободянский М.Г., Губин А.С., Русанов В.А., Чекалин И.Ю., Анцупов В.П.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ

В данной работе предложен вариант аналитической методики оценки показателей безотказности трибосопряжений по критерию износостойкости на стадии их проектирования.

Вероятностная оценка работоспособности (надежности) трибосистемы [1, 2] проводится в связи с тем, что контролируемый параметр состояния трибосистемы  $X_t$ , изменяющийся при изнашивании линейный размер одной из деталей или их сочетания (например, зазор) на исследуемый момент времени  $T = t$ , является случайной величиной.

Это объясняется тем, что уже на стадии проектирования сопряжений (т.е. на начальный момент времени  $T = t_0$ ) закладывается случайность появления тех или иных значений линейных размеров элементов трибосопряжений в пределах, назначенных конструктором полей допусков. Таким образом, события, заключающиеся в появлении того или иного значения размера одной из деталей или значения их сочетания  $X_t = X_0$ , являются случайными и характеризуются вероятностью

их появления. Сами же геометрические характеристики являются непрерывными случайными величинами уже на начальном этапе (на стадии проектирования).

В процессе эксплуатации при стохастическом изнашивании элементов сопряжения поле начального рассеяния размеров будет возрастать случайным образом, так как их линейный износ  $Y_t$  является также случайной величиной, зависящей, в свою очередь, от целого ряда неконтролируемых эксплуатационных параметров.

Во времени параметр состояния  $X_t$  (линейный размер одного из элементов или их сочетания) считают изменяющимся в соответствии с линейной моделью изнашивания

$$X_t = X_0 + Y_t = X_0 + \Gamma_y \cdot T, \quad (1)$$

а при оценке надежности трибосопряжения в каждый момент времени  $T = t$  случайный параметр состояния  $X_t$  полагают [1, 2] распределенным по нормальному закону.

Это объясняется тем, что распределение и начального размера элемента (элементов)  $X_0$  сопряжения, и скорости их изнашивания  $\Gamma_y$ , как случайных величин, зависит от большого числа независимых факторов как при их изготовлении (формировании  $X_0$ ), так и при их изнашивании (формировании  $Y_t$ ). Поэтому согласно центральной предельной теореме теории вероятностей их распределения близки к нормальному распределению [1–3], обеспечивая нормальное распределение случайной величины  $X_t$ .

Параметр состояния  $X_t$  проектируемого трибо-сопряжения позволяет оценить его работоспособность в произвольный момент  $T=t$  времени, если задано его предельное (нормативное) значение –  $x_{np}$ .

Условие работоспособности в этом случае для фиксированного момента времени  $T=t$  можно записать в виде неравенства (критерия износостойкости)

$$X_t < x_{np}. \quad (2)$$

Количественно уровень работоспособности (надежности) в любой фиксированный момент времени  $T=t$  определяется вероятностью выполнения этого условия

$$P(X_t < x_{np}) = F_t(x_{np}), \quad (3)$$

где  $F_t(x_{np})$  – функция распределения случайной величины  $X_t$  в любой фиксированный момент времени  $T=t$ .

С учетом условия (1) выражение (3) можно представить в виде

$$P(X_t = X_0 + \Gamma_y \cdot t < x_{np}). \quad (4)$$

Вероятность  $P$  в условии (3), (4) имеет следующие равнозначные смысловые определения:

– во-первых, это вероятность того, что на рассматриваемый момент времени  $T=t$  значение регламентируемого параметра  $X_t$  не превысит предельного (нормативного) значения  $x_{np}$ ;

– во-вторых, это вероятность того, что параметрический отказ трибосопряжения по критерию износостойкости в данный момент времени не возникнет;

– в-третьих, это вероятность безотказной работы трибосопряжения по параметру состояния  $X_t$  – критерию износостойкости или, что одно и то же, по параметру  $T$  [1, 2]:

$$P(X_t < x_{np}) = P(T > t) = P(t). \quad (5)$$

Численное значение вероятности безотказной работы  $P(X_t < x_{np})$  сопряжения в любой фиксированный момент времени  $T=t$  можно определить значением табулированной функции нормального нормированного распределения  $F(u_{np(t)}) = F_t(x_{np})$  или зна-

чением общей функции Лапласа [1–3]

$$P(t) = P(X_t < x_{np}) = F(u_{np(t)}) = \Phi\left(\frac{x_{np} - (\bar{x}_0 + \bar{\gamma}_y \cdot t)}{\sqrt{(\sigma_0^x)^2 + \sigma_y^2 \cdot t^2}}\right), \quad (6)$$

В условии (6) квантиль нормального нормированного распределения

$$u_{np(t)} = \frac{x_{np} - \bar{x}_t}{\sigma_t^x} = \frac{x_{np} - (\bar{x}_0 + \bar{\gamma}_y \cdot t)}{\sqrt{(\sigma_0^x)^2 + \sigma_y^2 \cdot t^2}} \quad (7)$$

параметра состояния  $X_t$  для момента времени  $T=t$  определяется:

– числовыми характеристиками распределения случайной величины  $X_t = X_0$  в начальный момент  $T=t_0$  времени (математическим ожиданием  $\bar{x}_0 = (x_{0max} + x_{0min})/2$ , средним квадратическим отклонением  $\sigma_0^x = (x_{0max} - x_{0min})/6$ . Здесь  $x_{0max}, x_{0min}$  – максимальное и минимальное начальные значения проектного размера  $X_t = X_0$  элементов (или их сочетания) трибосопряжения, определяемые по рабочим чертежам);

– числовыми характеристиками распределения скорости линейного изнашивания сопряжения  $\Gamma_y$ , как случайной величины (математическим ожиданием  $\bar{\gamma}_y$ , средним квадратическим отклонением  $\sigma_y$ ), которые определяются по предложенной ниже методике;

– предельным (нормированным) значением параметра состояния  $x_{np}$ ;

– длительностью работы  $t$ .

Общая схема изменения (деградации) во времени параметра состояния  $X_t$  трибосопряжения как случайной величины представлена на рисунке. Схема демонстрирует область возможных работоспособных состояний проектируемого в заданном поле допусков трибосопряжения по критерию износостойкости (2), которые могут возникнуть в течение всего периода его будущей эксплуатации.

Модель процесса формирования износосовых отказов трибосопряжения (4)–(7) и ее графическая интерпретация на рисунке позволяют предсказать значения всех основных показателей надежности трибосопряжения еще на стадии его проектирования.

Во-первых, возможно оценить вероятность безотказной работы трибосопряжения в любой фиксированный момент времени  $t$  по условию (6) как вероятность того, что возможное значение случайного параметра  $X_t$  не превысит предельного значения  $x_{np}$  или, что одно и то же, как вероятность того, что возможное значение случайной величины  $T$  превысит это фиксированное значение  $t$ .

Геометрически значение вероятности определяет, с одной стороны, площадь под кривой  $f(x_t)$ , отсекае-



мую границей  $x_{np}$  и лежащую ниже этого значения (в области работоспособности, см. рисунок). На рисунке это демонстрируют площади  $F_0(x_{np})$ ,  $F_1(x_{np})$  и  $F_t(x_{np})$  под соответствующими кривыми распределениями  $f(x_0)$ ,  $f(x_1)$  и  $f(x_t)$ , лежащие ниже линии – границы  $x_{np}$  и определенные для трех моментов времени  $T = t_0$ ,  $T = t_1$  и  $T = t$  соответственно.

С другой стороны, те же значения вероятности определяют площади под кривой  $f(t)$ , отсекаемые соответствующими временными границами  $T = t_0$ ,  $T = t_1$ ,  $T = t$  и лежащие справа от этих границ. На рисунке показана площадь  $P(t) = P(T > t)$  только для момента времени  $T = t$ .

Во-вторых, модель (4)–(7) позволяет прогнозировать [2] временные показатели надежности пары трения в функции числовых характеристик случайных величин, входящих в уравнение (1). С этой целью, принимая значение параметра состояния трибосопряжения  $X_t = x_{np}$ , необходимо решить это уравнение относительно переменной случайной величины  $T$ :

$$T = \frac{x_{np} - X_0}{\Gamma_y} \quad (8)$$

Математическое ожидание наработки (прогнозируемая средняя наработка до отказа) может быть определена из уравнения (8) при подстановке в него средних значений (математических ожиданий) случайных величин  $X_0$  и  $\Gamma_y$ :

$$\bar{t} = \frac{x_{np} - \bar{x}_0}{\bar{\gamma}_y} \quad (9)$$

Значение  $T = \bar{t}$  является медианой закона распределения случайной величины  $T$ , см. рисунок.

При выделении максимально возможных значений начального параметра  $X_0$  трибосопряжения и скорости  $\Gamma_y$  его изнашивания

$$x_{0max} = \bar{x}_0 + 3 \cdot \sigma_0^x \text{ и } \gamma_{ymax} = \bar{\gamma}_y + 3 \cdot \sigma_\gamma, \quad (10)$$

можно определить предельно возможный на данный момент времени  $T = t$  запас надежности (см. рисунок)

$$n_t^x = \frac{x_{np}}{x_{tmax}} = \frac{x_{np}}{x_{0max} + \gamma_{ymax} \cdot t}, \quad (11)$$

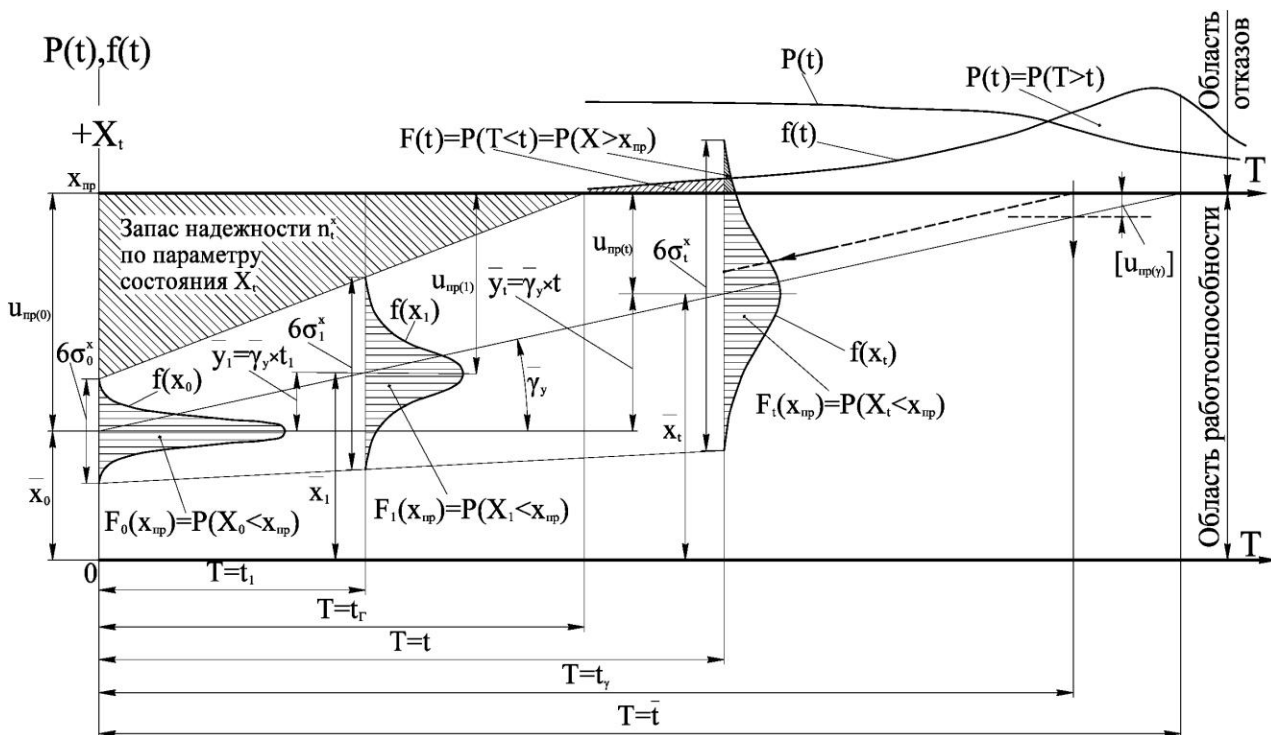
а также гарантированный период безотказной работы (гарантированную наработку или ресурс) из условия (11), принимая  $n_t^x = 1$ :

$$t_\Gamma = \frac{x_{np} - x_{0max}}{\gamma_{ymax}} \quad (12)$$

Условный запас надежности [1] трибосопряжения на данный момент времени  $T = t$

$$\bar{n}_t^x = x_{np} / \bar{x}_t \quad (13)$$

Гамма-процентную наработку (ресурс)  $T = t_\gamma$  можно определить из уравнения (6). Для этого необходимо



Изменение показателей надежности трибосопряжения при изнашивании его элементов по линейному закону

задать заранее предельно допустимое значение вероятности безотказной работы  $\gamma = [P(t)]$ . Затем по этому значению найти соответствующее табличное значение квантили  $[u_{np(\gamma)}^{em}]$ , которое в этом случае в уравнении (6) будет являться значением аргумента функции Лапласа. Подставляя в выражение квантили (7) найденное табличное значение  $[u_{np(\gamma)}^{em}]$ , получим:

$$[u_{np(\gamma)}] = \frac{x_{np} - \bar{x}_0 - \bar{\gamma}_y \cdot t}{\sqrt{(\sigma_0^x)^2 + \sigma_\gamma^2 \cdot t^2}} \quad (14)$$

Значение гамма-процентной наработки (ресурса) определяется одним из корней при решении полученного квадратного уравнения:

$$t_{1,2} = \left[ -\bar{y}_{np} \cdot \bar{\gamma}_y \pm \sqrt{(\bar{y}_{np} \cdot \bar{\gamma}_y)^2 - \frac{-( [u_{np(\gamma)} ]^2 \cdot \sigma_\gamma^2 - \bar{\gamma}_y^2 ) \cdot ( [u_{np(\gamma)} ]^2 \cdot \sigma_0^2 - \bar{y}_{np}^2 )}{[u_{np(\gamma)} ]^2 \cdot \sigma_\gamma^2 - \bar{\gamma}_y^2}} \right] \times \frac{1}{[u_{np(\gamma)} ]^2 \cdot \sigma_\gamma^2 - \bar{\gamma}_y^2}, \quad (15)$$

где  $\bar{y}_{np} = x_{np} - \bar{x}_0$  – математическое ожидание предельной величины износа  $Y_{np}$ .

На рисунке гамма-процентная наработка (ресурс) графически определяется абсциссой точки пересечения линии-границы  $[u_{np(\gamma)}]$  с линией изменения среднего износа  $\bar{y}_t = \bar{\gamma}_y \cdot t$ .

Таким образом, значения числовых характеристик случайных величин, входящих в общее условие работоспособности (1), (2), позволяют еще на стадии проектирования трибосопряжений прогнозировать уровень показателей их безотказности.

Однако для реализации вероятностной модели формирования износосовых отказов трибосопряжений необходимо определить числовые характеристики скорости линейного изнашивания сопряжения  $\Gamma_\gamma$  как случайной величины: ее математическое ожидание  $\bar{\gamma}_y$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_\gamma$ , входящие в уравнения (6)–(15) для оценки показателей надежности.

Обычно их определяют с использованием экспериментальных данных, моделируя процесс изнашивания исследуемого трибосопряжения в лабораторных условиях или обработкой статистических данных промышленных испытаний на износ подобных объектов. Известна [4] методика расчетной оценки скорости изнашивания с использованием показателя линейной интенсивности изнашивания. Однако, по мнению самого автора и ряда исследователей [5], рассеивание результатов расчетов столь велико, что методика мало пригодна для инженерных расчетов и позволяет лишь качественно оценить влияние различных параметров на интенсивность изнашивания материалов.

В данной работе на основе молекулярно-механической теории [6, 7] и термодинамического анализа

процесса трения [8, 9] представлена аналитическая методика для оценки числовых характеристик скорости изнашивания элементов фрикционных сопряжений в заданных условиях эксплуатации.

Методика построена на основе сопоставления двух подходов к описанию процесса внешнего трения.

С одной (силовой) стороны [6, 7], трение определяется как явление возникновения силы сопротивления относительно перемещению соприкасающихся поверхностей элементов сопряжения, с другой (энергетической) – это процесс диссипации (превращения) энергии внешнего механического движения в изменение внутренней энергии материалов контактных объемов элементов пары трения и внешней среды [8, 9].

Классическая механика работу сил трения определяет произведением силы  $F_t$  и пути трения  $L$ :

$$A_{mp} = F_t \cdot L = f \cdot F_n \cdot L. \quad (16)$$

С позиций теории трения И.В. Крагельского [6, 7] сила трения имеет двойственную, молекулярно-механическую природу и количественно определяется суммой составляющих:

$$F_t = F_{t, мех} + F_{t, мол} = f_{мех} \cdot F_n + f_{мол} \cdot F_n. \quad (17)$$

В этом случае работа силы трения по условию (16) на контакте может быть выражена суммой работ механической  $F_{мех}$  и молекулярной  $F_{мол}$  составляющих полной силы  $F_t$  трения:

$$A_{mp} = F_{t, мех} \cdot L + F_{t, мол} \cdot L = f_{мех} \cdot F_n \cdot L + f_{мол} \cdot F_n \cdot L. \quad (18)$$

Из уравнений (16) и (18) следует, что полный коэффициент трения является суммой механической и молекулярной составляющих:

$$f = f_{мех} + f_{мол}. \quad (19)$$

С энергетической точки зрения [8–10] трибосопряжение рассматривается как термодинамическая система. При этом формой превращения энергии  $A_{mp}$  внешнего движения в изменение внутренней энергии  $\Delta U_{1,2}$  материалов деформируемых контактных объемов обоих элементов сопряжения является работа силы трения как работа упругопластической деформации контактных объемов [9]:

$$A_{mp} = A_{mp1,2}^y + A_{mp1,2}^{n,n}. \quad (20)$$

Для установившегося процесса трения работой упругого деформирования материалов поверхностных слоев можно пренебречь [9] в силу ее малости ( $A_{mp\Sigma}^y \approx 0$ ), а закон сохранения энергии в трибосистеме можно записать в форме уравнения энергетического баланса:

$$A_{mp} = A_{mp1,2}^{n,n} = \Delta U_{1,2} = \Delta U_1 + \Delta U_2. \quad (21)$$

Выразим долю внешней энергии  $A_{mp}$ , которая преобразуется в изменение полной внутренней энергии ( $\Delta U_1$  и  $\Delta U_2$ ) контактных объемов каждого элемента сопряжения соответствующим коэффициентом поглощения:

$$v_1 = \Delta U_1 / A_{mp} \text{ и } v_2 = \Delta U_2 / A_{mp}. \quad (22)$$

Значения  $v_1$  и  $v_2$  можно определить с помощью коэффициента распределения энергии между элементами трибосопряжения  $\varepsilon = \Delta U_1 / \Delta U_2$ , предложенного в работе [10]:

$$v_1 = \varepsilon / (1 + \varepsilon) \text{ и } v_2 = 1 / (1 + \varepsilon), \quad (23)$$

где  $\varepsilon = \frac{((1 - \mu_1^2) / E_1)^{2/3} \cdot R_{a1}^{1/3}}{(1 - \mu_2^2) / E_2)^{2/3} \cdot R_{a2}^{1/3}}$ ;  $\mu_1, \mu_2, E_1, E_2$  – коэффициенты Пуассона и модули упругости материалов поверхностных слоев первого и второго элементов сопряжения;  $R_{a1}, R_{a2}$  – средняя арифметическая высота микронеровностей профиля обеих поверхностей.

Решая уравнения (22) относительно  $\Delta U_1$  и  $\Delta U_2$ , получим уравнения энергетического баланса для каждого элемента трибосистемы:

$$\Delta U_1 = v_1 \cdot A_{TP} \text{ и } \Delta U_2 = v_2 \cdot A_{TP}. \quad (24)$$

В свою очередь, согласно эргодинамической теории пластической деформации и разрушения твердых тел В.В. Федорова [8] изменение полной внутренней энергии  $\Delta U$  может быть представлено суммой двух составляющих:

$$\Delta U = \Delta U_e + Q, \quad (25)$$

где  $\Delta U_e$  – изменение скрытой (потенциальной) энергии кристаллической структуры материалов контактных объемов элементов пары трения;  $Q$  – тепловой эффект трения.

Раскрывая в уравнениях (24) величины  $\Delta U_1$  и  $\Delta U_2$  согласно (25), получим уравнения энергобаланса для каждого элемента трибосопряжения в форме первого начала термодинамики:

$$\begin{aligned} v_1 \cdot A_{TP} &= v_1 \cdot F_n \cdot f \cdot L = \Delta U_{e1} + Q_1; \\ v_2 \cdot A_{TP} &= v_2 \cdot F_n \cdot f \cdot L = \Delta U_{e2} + Q_2. \end{aligned} \quad (26)$$

Решая эти уравнения относительно коэффициента трения, получим:

$$\begin{aligned} f &= \frac{\Delta U_{e1}}{v_1 \cdot F_n \cdot L} + \frac{Q_1}{v_1 \cdot F_n \cdot L}; \\ f &= \frac{\Delta U_{e2}}{v_2 \cdot F_n \cdot L} + \frac{Q_2}{v_2 \cdot F_n \cdot L}. \end{aligned} \quad (27)$$

Из сопоставления выражений (19) и (27), определяющих коэффициент трения с молекулярно-механической и энергетической позиций соответственно, можно оценить составляющие коэффициента трения в виде:

– механическая составляющая

$$f_{\text{мех}} = \frac{\Delta U_{e1}}{v_1 \cdot F_n \cdot L}; f_{\text{мех}} = \frac{\Delta U_{e2}}{v_2 \cdot F_n \cdot L}; \quad (28)$$

– молекулярная составляющая

$$f_{\text{мол}} = \frac{Q_1}{v_1 \cdot F_n \cdot L}; f_{\text{мол}} = \frac{Q_2}{v_2 \cdot F_n \cdot L}. \quad (29)$$

В связи с тем, что необратимые искажения, повреждаемость и разрушение структуры поверхностных слоев элементов трибосистемы определяются величиной накопленной потенциальной энергии  $\Delta U_{e1}$  и  $\Delta U_{e2}$  [8, 9], для расчета характеристик их износа следует использовать уравнения (28), содержащие эти составляющие.

С этой целью представим уравнения (28) в виде:

$$\begin{aligned} \Delta U_{e1} &= v_1 \cdot f_{\text{мех}} \cdot F_n \cdot L; \\ \Delta U_{e2} &= v_2 \cdot f_{\text{мех}} \cdot F_n \cdot L. \end{aligned} \quad (30)$$

Выражая в каждом уравнении полную потенциальную энергию ( $\Delta U_{e1}$  и  $\Delta U_{e2}$ ), накопленную на пути трения  $L = V_{\text{ск}} \cdot t$  (за время работы  $t$ ) материалами поверхностных слоев каждого тела в виде произведения соответствующей плотности энергии ( $\Delta u_{e1}$  и  $\Delta u_{e2}$ ) на деформируемый объем ( $V_{\text{cl1}}$  и  $V_{\text{cl2}}$ ), получим:

$$\begin{aligned} \Delta u_{e1} \cdot V_{\text{cl1}} &= v_1 \cdot f_{\text{мех}} \cdot F_n \cdot L; \\ \Delta u_{e2} \cdot V_{\text{cl2}} &= v_2 \cdot f_{\text{мех}} \cdot F_n \cdot L. \end{aligned} \quad (31)$$

Для определения объемного износа элементов трибосопряжения используем гипотезу об эквивалентности теплового и механического разрушения материалов В.С. Ивановой [8, 9], смысл которой заключается в следующем. Материал деформируемых объемов поверхностных слоев элементов трибосистемы будет разрушен, если плотность внутренней потенциальной энергии ( $\Delta u_{e1}$  и  $\Delta u_{e2}$ ) достигнет предельного значения, равного для каждого материала энтальпии его плавления  $\Delta H_{s1}$  и  $\Delta H_{s2}$ .

В этом случае объемный износ каждого элемента сопряжения на пути трения  $L$  или за время работы  $t$  составит:

$$\begin{aligned} \Delta V_1(t) &= \frac{v_1 \cdot F_n \cdot f_{\text{мех}} \cdot V_{\text{ск}} \cdot t}{\Delta H_{s1}}; \\ \Delta V_2(t) &= \frac{v_2 \cdot F_n \cdot f_{\text{мех}} \cdot V_{\text{ск}} \cdot t}{\Delta H_{s2}}, \end{aligned} \quad (32)$$

Сравнение экспериментальных и расчетных значений числовых характеристик скорости изнашивания образцов

Материал колодки	Результаты				Ошибка	
	обработки экспериментальных данных		теоретических расчетов			
	$\bar{\gamma}^3, \text{м/с}$	$S_{\gamma}^3$	$\bar{\gamma}^T, \text{м/с}$	$\sigma_{\gamma}^T$	$\delta_{\bar{\gamma}}, \%$	$\delta_{\sigma_{\gamma}}, \%$
Чугун	$1,46 \cdot 10^{-9} - 0,8 \cdot 10^{-9}$	$2,907 \cdot 10^{-10} - 2,337 \cdot 10^{-10}$	$1,17 \cdot 10^{-9} - 1,12 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-10} - 1,9 \cdot 10^{-10}$	20–30	28–19
Латунь	$7,47 \cdot 10^{-8} - 9,35 \cdot 10^{-8}$	$2,32 \cdot 10^{-8} - 0,87 \cdot 10^{-8}$	$7,2 \cdot 10^{-8} - 17,84 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-8} - 0,778 \cdot 10^{-8}$	4–48	50–11
Ecoflon-2	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$2,89 \cdot 10^{-7}$	$3,78 \cdot 10^{-7}$	$1,51 \cdot 10^{-7}$	16	47
Н-Есорпур	$5,7 \cdot 10^{-7}$	$5,14 \cdot 10^{-9}$	$6,58 \cdot 10^{-7}$	$7,41 \cdot 10^{-9}$	13	30
Ecorabber 2 FPM, FKM	$5,08 \cdot 10^{-7}$	$4,29 \cdot 10^{-9}$	$6,62 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{-9}$	23	32

а скорости линейного изнашивания элементов трибо-сопряжения можно определить выражениями:

$$\gamma_1 = \frac{\Delta V_1(t)}{A_{T1} \cdot t}; \gamma_2 = \frac{\Delta V_2(t)}{A_{T2} \cdot t}. \quad (33)$$

Здесь  $A_{T1}, A_{T2}$  - площади трения первого и второго элементов сопряжения соответственно.

Скорости линейного изнашивания  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  использованы для прогнозирования показателей надежности в выражениях (6)–(15). При этом числовые характеристики скоростей изнашивания: математическое ожидание  $\bar{\gamma}_{1,2}$  и среднее квадратическое отклонение  $(\sigma_{\gamma})_{1,2}$  материалов элементов сопряжения определяются по условиям (33) в функции числовых характеристик механической составляющей коэффициента трения  $\bar{f}_{мех}, \sigma_f$ . Они, в свою очередь, определяются по методике Н.М. Михина [7] в функции числовых характеристик комплексного показателя шероховатости поверхности контрэлемента  $\bar{\Delta}, \sigma_{\Delta}$ :

$$\begin{aligned} \bar{f}_{мех} &= a \cdot \alpha_z \cdot \bar{\Delta} \cdot (p_a \cdot \theta)^b; \\ \sigma_f &= a \cdot \alpha_z \cdot \sigma_{\Delta} \cdot (p_a \cdot \theta)^b, \end{aligned} \quad (34)$$

где  $\alpha_z, \theta, p_a$  - коэффициент гистерезисных потерь, упругая постоянная изнашиваемого материала, номинальное давление на контакте соответственно;  $a, b$  - постоянные, определяющие вид контакта [7];  $\bar{\Delta}, \sigma_{\Delta}$  - числовые характеристики комплексного параметра шероховатости, определяемые по диапазону справочных данных для приработанных поверхностей.

Адекватность предложенной методики проверяли сравнением расчетных  $\bar{\gamma}^T, \sigma_{\gamma}^T$  и экспериментальных  $\bar{\gamma}^3, S_{\gamma}^3$  значений числовых характеристик скорости изнашивания образцов из различных материалов, изнашиваемых на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик-колодка» в различных условиях фрикционного взаимодействия при интенсивном охлаждении контакта проточной водой.

Испытания состояли из 12 серий опытов, с 4–6-кратным их повторением в каждой серии. В отдельном опыте о ролик из стали 40Х с НВ 220 истирали колодки

из чугуна (СЧ-30), латуни (Л63) и полимерных материалов (Ecoflon-2, Н-Есорпур и Ecorabber 2 FPM, FKM) при различных нагрузках и скоростях скольжения, моделирующих условия работы отдельных промышленных узлов трения металлургического оборудования.

Экспериментальные числовые характеристики  $\bar{\gamma}^3, S_{\gamma}^3$  скорости изнашивания образцов определяли по потере их массы взвешиванием на электронных эталонных весах ME 215S 1-го разряда до и после испытаний статистической обработкой измеренных данных в одной серии опытов по правилу «трёх сигма». В испытаниях фиксировали температуру контакта инфракрасным термометром CONDTRON IR – T4, шероховатость поверхности образцов до и после эксперимента измеряли прибором Perthometer S2 МАНР.

Расчетные значения числовых характеристик  $\bar{\gamma}^T, \sigma_{\gamma}^T$  оценивали по предложенной методике.

Результаты сравнения в сериях опытов для различных материалов колодок представлены в **таблице**.

Сравнительный анализ показал, что ошибка предсказания значений скорости изнашивания не превышает по среднему значению и среднему квадратическому отклонению соответственно: колодок из чугуна – 30 и 28%; из латуни – 48 и 50%; из полимерных материалов – 23 и 47%. Среднее значение коэффициента вариации в опытах не превышало 0,25.

Представленные результаты позволяют рекомендовать предложенную методику для прогнозирования безотказности и долговечности промышленных узлов трения с достаточно высокой точностью.

**Список литературы**

1. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1988. 235 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 576 с.
4. Крагельский И.В. Методика расчетной оценки износостойкости поверхностей трения деталей машин. М.: Изд-во стандартов, 1979. 100 с.
5. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлингер, Э.Д. Браун и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
6. Расчет трения, износа и долговечности с позиций молекулярно-механической, усталостной и энергетической теорий / Крагельский И.В., Фляйшер Г., Комбалов В.С., Тум Х. // Проблемы

- автоматизации и машиностроения. М.: Будапешт, 1986. № 12. С. 13–24.
7. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. М.: Наука, 1977. 219 с.
  8. Фёдоров В.В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твердых тел. Ташкент: ФАН, 1979. 168 с.
  9. Федоров С.В. Основы трибоэргодинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости. Калининград: КГТУ, 2003. 409 с.
  10. Протасов Б.В. Энергетические соотношения в трибоопределении и прогнозирование его долговечности. Саратов: Саратов. унт, 1979. 152 с.

**Bibliography**

1. Reshetov D.N., Ivanov A.S., Fadeev V.Z. Machine reliability: School-book. M.: High School, 1988. 235 p.
2. Pronikov, A.S. Machine parametric reliability. M.: N.E. Bauman MGТУ Publishers, 2002. 560 p.
3. Ventsel E.S. Probability theory: textbook for universities. M.: "Akademiya" publishing centre, 2003. 576 p.

4. Kragelskiy I.V. Estimation method of wear resistance of friction surfaces machine elements/Under the editorship of I.V. Kragelskiy. M.: Standard publishers, 1979. 100 p.
5. Friction, wearing and lubrication (tribology and tribo-engineering) / A.V. Chichinadze, E.M.Berlinger, E.D. Braun, etc.; under the general editorship of A. V. Chichinadze. M.: Machine-building, 2003. 576 p.
6. Kragelskiy I.V., Fliaysher G., Kombalov V.S. & Tum, H. Estimating friction, wearing and durability from the attitudes of molecular-mechanical, fatigue and energy theories.// Issues of automation and machine-building. Moscow-Budapest, 1986. № 12. P. 13–24.
7. Mihin N.M. External friction of solids. M.: Science, 1977. 219 p.
8. Fedorov V.V. Thermodynamic aspects of solids strength and breakup. Tashkent: FAN, 1979. 168 p.
9. Fedorov S.V. Basics of triboenergodynamics and physicochemical preconditions of the compatibility theory. Kaliningrad: KGTU, 2003. 409 p.
10. Protasov B.V. Energy relations in tribological conjunction and forecasting its durability. Saratov.: The University of Saratov, 1979. 152 p.

УДК 622. 673.8

Чернецкая И.Е., Исаев Е.А.

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ УВЕЛИЧЕНИЯ МАССЫ ГРАНУЛ**

Сыпучий материал, предназначенный для окомкования, характеризуется определенным диапазоном размеров частиц, имеющих к тому же некоторую статистическую совокупность.

В процессе гранулообразования каждому моменту времени присуще определенное соотношение между гранулами и исходными частицами. Причем с увеличением времени это соотношение непрерывно изменяется в сторону уменьшения как числа зародышей, так и исходных частиц.

При этом наблюдается несколько фаз элементарных процессов, способствующих формированию окомкования. Эти фазы включают объединение частиц и разламывание или растрескивание сформированных гранул.

Наиболее интересные данные по кинетике окомкования приведены в работах В.И. Коротича [1], В.М. Вилюгина [2], Фюретенау и Састры [3].

Авторы вышеперечисленных работ при рассмотрении вопросов кинетики гранулообразования и роста гранул исходили из предположения, что грануляция сыпучего материала представляет собой процесс последовательного налипания мелких классов материала на поверхность катящихся кусочков или зародышей гранул. В [4] теоретически доказано, что наслаивание легко осуществляется при влажности, близкой к НКВ, и что минимальный размер самостоятельно двигающегося зародыша составляет 1,2–1,4 мм. Несколько другого мнения придерживается Г. Тарьян [5], считающий, что гранулообразование осуществляется объединением мелких зерен в более крупные агрегаты под действием столкновений частиц (или гранул) в процессе окомкования. По-видимому, в этом процессе наблюдаются оба вида взаимодействий. Мы исходим из того, что как на-

слаивание частиц, так и объединение агрегатов в процессе гранулообразования подчиняются вероятностным законам и представляют стохастическую последовательность свершения элементарных актов. И наслаивание комкуемых частиц на комкующие, и объединение комкуемых частиц осуществляется в результате движений и столкновений в массе сыпучего материала. Однако не всякое столкновение приводит к изменению массы (т.е. либо к укрупнению, либо к разрушению комкующей гранулы). Не акцентируя внимания на способе укрупнения частиц (т.е. методе наслаивания или объединения), выделим одну комкующую частицу (агрегат) из общей массы комкуемого материала и считаем, что за один элементарный акт взаимодействия эта частица либо изменит свою массу, либо не изменит.

Причем свершению этого способствует или внедрение комкуемой частицы в комкующую (агрегат) за счет заполнения пустот и механического зацепления (событие 1), или присоединение ее к агрегату за счет капиллярных сил взаимодействия (событие 2). Таким образом, увеличение массы комкующей частицы происходит и после свершения события 1, и после события 2.

В дополнение отметим, что благодаря вращению образованного агрегата в процессе гранулообразования событие 1 и 2 дополняют друг друга, т.е. первоначально присоединенная частица может быть внедрена в гранулу (агрегат) или внедренная частица остается присоединенной за счет капиллярных сил. При отсутствии обоих событий масса гранулы не изменится. С учетом изложенного полная вероятность увеличения массы гранулы (комкующей частицы) определится

$$P = P_1 \cdot P_2, \tag{1}$$

где  $P_1$  – вероятность увеличения массы за счет механического внедрения частицы в агрегат (окапыш);  $P_2$  – вероятность увеличения массы за счет присоединения (прилипания) частицы к поверхности агрегата.

Отметим, что в процессе гранулообразования материала вероятности  $P_1$  и  $P_2$  непрерывно изменяются.

Рассмотрим более подробно смысл вероятности  $P_{11}$ . Вероятность сохранения массы комкующей гранулы определяется соотношением размеров комкующей и комкующей частиц и интенсивностью движения материала, т.е.

$$P_{11}a = F(a), \tag{2}$$

где  $F(a)$  – некоторая функция.

Вероятность внедрения частицы в гранулу при соотношении размеров  $(a+\Delta a)$  составит

$$P_{11}(a + \Delta a) = F(a + \Delta a). \tag{3}$$

Рассматривая вероятность изменения массы как сложное событие двух: вовлечение частицы при соотношении размеров  $a$  и  $a+\Delta a$  можно записать

$$P_{11}(a + \Delta a) = P_{11}a \cdot P_{11}\Delta a \tag{4}$$

или

$$F(a + \Delta a) = F(a) \cdot F(\Delta a).$$

Дифференцирование выражения (4) дает

$$dF(a + \Delta a) = F'(a)da - F'(da)a. \tag{5}$$

Пренебрегая ввиду малости вторым членом правой части выражения (5) и разделив его на (2) с учетом (3) и (4), получим

$$\frac{F'(a + \Delta a)}{F(a + \Delta a)} = \frac{dP_{11}(a + \Delta a)}{P_{11}(a + \Delta a)da}. \tag{6}$$

Значение левой части (6) представляет относительную скорость изменения массы совокупности разных по размеру частиц и характеризуется условием столкновения этих частиц, т.е. типом окомковательного оборудования и режимом его работы. Естественно, чем интенсивнее происходит движение материала, тем интенсивнее сталкивания частиц, тем большая плотность поверхностного слоя, но тем меньше вероятность их взаимного внедрения путем вдавливания в единицу времени. Учитывая, что  $F(a+\Delta a)$  есть функция убывающая, запишем для данных условий окомкования:

$$\frac{F'(a + \Delta a)}{F(a + \Delta a)} = -K, \tag{7}$$

где  $K$  – количество частиц, столкнувшихся в единицу времени с гранулой, которые могут быть внедрены в нее за счет действия сил движения.

С учетом (7) выражение (6) имеет вид

$$\frac{dP_{11}}{P_{11}} = -Kda. \tag{8}$$

Очевидно, для распределения вероятности вовлечения одной частицы должно быть  $K=1$ . Рассмотрим с физических позиций значение величины  $da$ . Вдавливание частицы  $R_1$  в гранулу  $R_2$  осуществляется в свободный промежуток пограничного монослоя гранулы, в так называемую ее "вакансию". Если объемы "вакансии" и вдавливаемой частицы равны, осуществляется акт наименее надежного варианта увеличения массы гранулы за счет механического внедрения исходной частицы в ее поверхностный слой, и частица может быть присоединена преимущественно за счет капиллярных, а не механических сил. При этом, поскольку сохранность капиллярного соединения в период движения гранулы ненадежна, увеличение массы гранулы маловероятно. Если объем "вакансии" больше объема гранулы, то внедрение частицы и закрепление ее за счет совместного влияния механических и капиллярных сил возрастает. И, наоборот, если объем внедряемой частицы больше объема "вакансии", вероятность внедрения частицы за счет механических сил без структурного изменения поверхностного слоя невозможно. Исходя из изложенного механизма внедрения частиц в гранулу, величина  $da$  характеризует вероятность увеличения массы комкующей частицы (гранулы) в результате соударения ее с комкуемой частицей. Можно записать

$$da = \frac{V_u}{V_g}, \tag{9}$$

где  $V_g, V_u$  – объемы "вакансии" и частицы соответственно.

Объем "вакансии" определяется по выражению

$$V_g = \frac{4}{3} \pi \frac{[(R_2 + R_1)^3 - NR_1^3 - R_2^3]}{N}, \tag{10}$$

где  $N$  – общее число частиц, составляющих монослой на поверхности гранулы;  $R_2, R_1$  – радиусы гранулы и частицы соответственно.

Общее число частиц, составляющих монослой на поверхности гранулы:

$$N = 2 \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{\arcsin \frac{R_1}{(R_2 + R_1) \cos \left[ (2i - 1) \arcsin \frac{R_1}{R_2 + R_1} \right]}}; \tag{11}$$

$$n = \frac{\pi}{4 \arcsin \frac{R_1}{R_2 + R_1}}; \quad da = \frac{NR_1^3}{(R_2 + R_1)^3 - R_2^3 - NR_1^3}.$$

Подставив (11) в (8), окончательно получим

$$P_1 = \exp \left[ -\frac{NR_1^2}{3R_2(R_1 + R_2) - (N - 1)R_1^2} \right], \quad R_2 > R_1. \tag{12}$$

Здесь  $P_1$  – вероятность увеличения массы катящейся гранулы за счет механического зацепления после сталкивания ее с комкуемой частицей.

Выражение (11) представляет вероятность увеличения массы (объема) гранулы за счет внедрения в нее комкуемой частицы.

Определим вероятность  $P_2$ .

В процессе производства окатышей важное влияние на рост массы последних оказывают и присоединение частиц к комкующей грануле. Причем присоединение частиц включает два этапа: захват гранулой частицы за счет капиллярных сил взаимодействия в точке контакта и удерживание этой частицы на поверхности двигающейся гранулы.

Вероятность удержания частицы  $P_2$  определим по выражению

$$P_2 = 1 - P_2', \quad (13)$$

где  $P_2'$  – вероятность отрыва частицы от гранулы.

Поскольку в данном случае частица и гранула связаны исключительно с помощью капиллярных сил, то вероятность отрыва

$$P_2' = \frac{R_{cp}}{R_{теор}}. \quad (14)$$

Здесь  $R_{cp}$  – радиус частицы, взаимодействующей с гранулой;  $R_{теор}$  – радиус минимального размера частицы, которая бы оторвалась от гранулы наверняка.

Поскольку частица, отрывающаяся от гранулы, преодолевает лишь силу капиллярного притяжения, то

$$R_{теор} = \sqrt[3]{\frac{3F_{сц}}{4\pi\gamma}}. \quad (15)$$

Значение  $F_{сц}$  определяется с использованием соответствующего выражения из [4]. С учетом изложенного общая вероятность увеличения массы катящейся гранулы без учета разрушения формирований определится

$$P = \left[ \exp\left(-\frac{NR_1^2}{3R_2(R_1 + R_2) - (N-1)R_1^2}\right) \right] \cdot \left( 1 - \frac{R_1}{\sqrt[3]{\frac{3F_{сц}}{4\pi\gamma}}} \right). \quad (16)$$

Другими словами, величина  $P$  характеризует способность материала к окомкованию, т.е. способность частиц "слипаться" между собой под действием капиллярных и механических сил, проявляющихся при перемещении сыпучего материала в окомкователе. С этих позиций величина  $P$  может быть названа динамической комкуемостью, поскольку известное понятие комкуемости, определяемое методом капиллярной пропитки, характеризует статическое состояние исследуемого материала.

На рис. 1 представлена зависимость динамической комкуемости частиц в функции их размеров. Расчеты на ЭВМ проведены с использованием выражений (16), (11). Согласно рис. 1 при взаимодействии зародыша гранулы ( $R_2=0,075$  см), способной к самостоятельному движению, с исходными частицами наблю-

дается высокая вероятность их объединения вплоть до частиц размером 400–500 мкм.

Прилипание исходных частиц к грануле под воздействием капиллярных сил прекращается при их размерах 300–400 мкм и при использовании в качестве смачивающей жидкости воды. Повышение вязкости и упругопластических свойств поровой воды, несомненно, будет способствовать сдвигу этого порога в сторону увеличения размеров частиц.

В заключение отметим, что результаты расчетов по определению динамической комкуемости материала для частиц, различных по гранулометрическому составу, выраженных через эквивалентный диаметр, показывает, что имеются несколько пониженные значения (на 5–10%) по сравнению с показателем комкуемости этих материалов, определяемым методом капиллярной пропитки, поскольку последняя определяется в статическом режиме, сохраняя, однако, при

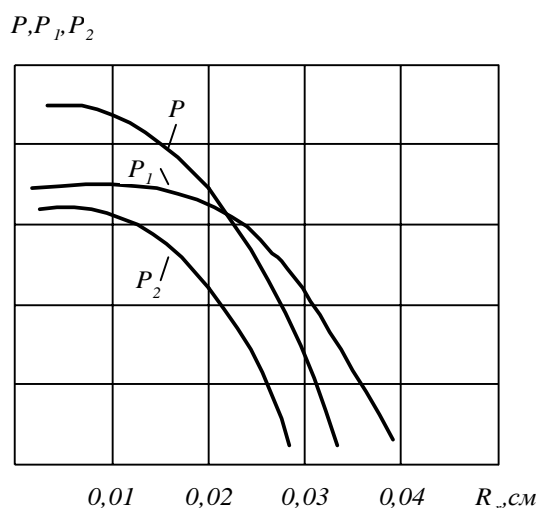


Рис. 1. Зависимости показателя роста массы  $P$  (динамической комкуемости) от размеров частиц при использовании воды в качестве жидкой фазы ( $R_{зр}=0,075$  см;  $\gamma_{уд}=4,5$  г/см<sup>3</sup>):  $P_1$  – при механическом воздействии;  $P_2$  – при капиллярном взаимодействии

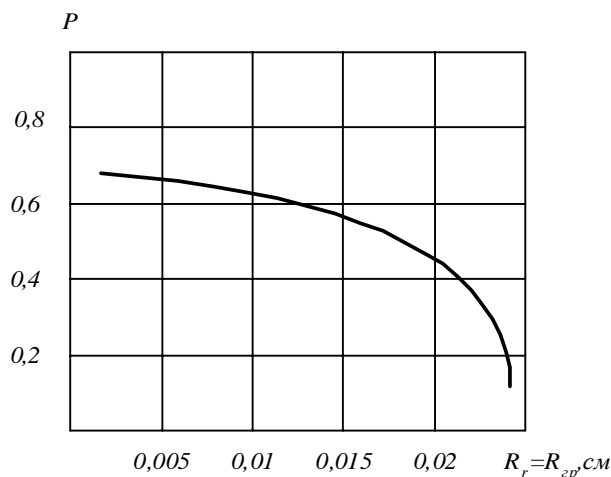


Рис. 2. Зависимость динамической комкуемости  $P$  при одинаковых размерах гранулы и частицы

этом общую закономерность.

Различие учитывает то, что выражение для определения слипания частиц (их объединение) базируется на физике процесса окомкования, учитывающей не только капиллярное, но и механическое взаимодействие в материале (рис. 2).

Другими словами, подтверждение общих закономерностей комкуемости с лабораторными данными и незначительными отклонениями величин свидетельствуют в пользу рассмотренной теории слипания частиц в процессе гранулообразования и роста массы гранул.

Полученная модель динамической комкуемости тонкоизмельченных материалов, учитывающая условия гранулообразования и хорошо подтверждаемая практикой, предназначена для использования при математическом описании процесса производства гранул в практической деятельности фабрик окомкования.

#### Список литературы

1. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. М.: Металлургия, 1966. 210 с.
2. Балес А.А., Витюгин В.М. О кинетике уплотнения влажных

гранул // Изв. вузов. Черная металлургия. 1981. № 10. С. 21–24.

3. Sastry K.V.S., Fuerstenau D.W. Kinetic of green pellet grown by the layering mechanism. Trans. Soc. Mining Eng. AIME. 1977. 262. № 1. P. 41–46.
4. Исаев Е.А. Увеличение размеров гранул при окомковании сыпучих материалов // Изв. вузов. Горный журнал. 1980. № 1. С. 125–128.
5. Тарьян Г. Влияние сил движения на процесс грануляции // Aufbereitungstechnik. 1966. № 1. С. 12–18.

#### Bibliography

1. Korotich V.I. Theoretical basis of pelletizing iron ore materials. M.: Metallurgy, 1966. 210 p.
2. Bales A.A., Vityugin V.M. Kinetics of wet granules compaction. M.: Proceedings of universities. Ferrous metallurgy. 1981. № 10. P. 21–24.
3. Sastry K.V.S., Fuerstenau D.W. Kinetic of green pellet grown by the layering mechanism. Trans. Soc. Mining Eng. AIME. 1977. 262. № 1. P. 41–46.
4. Isaev E.A. Increasing the size of granules in pellet bulk materials // IVUZ, Mining Journal. 1980. № 1. P. 125–128.
5. Tarjan G. Effect of motion forces on the process of granulation // Aufbereitungstechnik. 1966. № 1. P. 12–18.



## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ. ПРАВО

УДК 330.3

Абилова М.Г.

### АКТИВИЗАЦИЯ РЕПРОДУКТИВНОГО ТРУДА В РОССИИ: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

В России на протяжении двух последних десятилетий развивается ситуация суженного воспроизводства населения, характеризующаяся незамещением количества смертей количеством рождений. Эта ситуация сопровождается и снижением качества населения: ухудшением здоровья, падением культурного уровня, деинтеллектуализацией, что повлечет за собой в будущем снижение качества совокупного человеческого капитала страны.

Сегодня уже признано представителями самых разных наук (в частности, психологами, социологами, экономистами), что человеческий капитал личности первоначально формируется в рамках семьи в процессе репродуктивного труда, осуществляемого родителями будущего носителя этого капитала. Выделены и особенности семейной стадии формирования человеческого капитала, к которым, в частности, относятся [1]:

- 1) разнообразие форм и разноразноуровневость получаемых эффектов репродуктивного труда;
- 2) востребованность качеств, формируемых в семье, в дальнейшей трудовой деятельности;
- 3) определяющее влияние и зависимость всех последующих результатов от результатов процесса развития человеческого капитала на данной стадии.

Столь значимое влияние семейного уровня формирования человеческого капитала на его будущее качество и количество влечет за собой необходимость его пристального изучения, на основе которого станет возможной разработка механизмов активизации труда в этой сфере на уровне как регионов, так и страны в целом.

Изучение процесса репродуктивного труда требует, в свою очередь, применения специальных аналитических процедур.

На наш взгляд, в этой оценке целесообразно и возможно применение следующих двух подходов:

1. Одностадийно-факторная оценка процесса репродуктивного труда.

В ходе реализации такого подхода изучается каждая стадия репродуктивного труда (как в сфере домашней, так и социальной репродукции; специалисты выделяют здесь несколько стадий: перинатальная, младенческая, дошкольная и т.д.), выявляются взаимозависимости между происходящими на этих стадиях процессами и связанными с ними явлениями социально-экономической жизни.

Данный подход к анализу процесса репродуктивного труда требует целого комплекса статистических

методов и процедур. В частности, последовательное применение факторного и кластерного анализа для проведения оценки уровня активности репродуктивного труда в России в 2006 г. позволило А.П. Багировой выявить региональную дифференциацию типов и факторов активности в этой сфере. В данном исследовании подробно изучались первые стадии репродуктивного труда, результатом которых выступает количество рождений. В процессе анализа были выделены следующие четыре кластера российских регионов [2]:

1) первый кластер, немногочисленный по числу входящих в него регионов страны, характеризуется минимальной рождаемостью при имеющихся условиях репродуктивного труда на всех уровнях и особенно выделяющемся уровне личностных условий;

2) регионы второго кластера были охарактеризованы низкой рождаемостью при наличии в них условий репродуктивного труда на трех уровнях (макро-, мезо- и мини-) и при отсутствии таковых на уровне семьи;

3) третий кластер регионов РФ при рождаемости, заметно превышающей среднюю по стране величину, на всех четырех уровнях обнаружил относительно низкий уровень имеющихся условий репродуктивного труда;

4) четвертый кластер регионов охарактеризован максимальным для страны уровнем рождаемости и отсутствием условий репродуктивного труда на макро- и мини-уровнях, в то время как ситуация на мезо- (регион) и микро- (семья) уровнях была оценена как достаточно стабильная.

Одним из важнейших выводов этого исследования стал вывод о существовании в третьем кластере регионов (который составляют 31 субъект РФ и где сконцентрировано 34,3% российского населения) наиболее сбалансированных по разным уровням условий реализации репродуктивного труда и возможностей получения необходимых стране его количественных и качественных результатов.

Реализация одностадийной оценки в процессе анализа этой же стадии репродуктивного труда с помощью процедур описательной статистики показывает, что начиная с 1989 г. значение суммарного коэффициента рождаемости не поднималось выше границы простого воспроизводства, а средний темп его ежегодного снижения за период с 1989 по 2007 гг. составил 2,0%. Самым критическим оказался 1999 г., когда значение этого коэффициента равнялось 1,16, что ниже границы простого воспроизводства населения на 42,1%. Начиная

с этого периода ситуация несколько улучшается, хотя говорить о ее стабилизации не представляется возможным – например, за последний 5-летний период, по которому сегодня имеется статистическая информация (2002–2007 гг.), среднее значение суммарного коэффициента рождаемости составляет 1,33, что ниже уровня простого воспроизводства на 36,7%.

Анализ репродуктивного труда на его первых стадиях в разрезе российских регионов показал, что в числе явных аутсайдеров (за период 2006–2007 гг.) – Ленинградская область и г. Санкт-Петербург, Республика Мордовия и Тульская область. Наиболее высокие значения суммарного коэффициента рождаемости (более 2,00) зафиксированы в Республиках Тыва и Алтай, Чеченской республике, Чукотском автономном округе. Чаще всего уровень коэффициента находится в интервале 1,20–1,40 (около половины общего числа субъектов РФ) с его медианным значением 1,30. В то же время вариация значений суммарного коэффициента рождаемости по регионам достаточно высока и составляет 19,2% в 2006 г. и 21,4% в 2007 г.

2. Многостадийно-динамическая оценка процесса репродуктивного труда.

При реализации этого подхода необходимо учитывать тот факт, что репродуктивный труд осуществляется на нескольких стадиях. Следовательно, многостадийная оценка процесса позволяет охарактеризовать степень сбалансированности труда на его разных стадиях. При применении такого рода оценки необходимо использовать целый ряд эмпирических индикаторов – как количественных, так и качественных; следовать принципу единства методик оценки при изучении состояния в репродуктивной сфере на каждой стадии деятельности в динамике. В зависимости от стадии репродуктивной деятельности возможны вариации по числу индикаторов, измеряющих степень активности на той или иной стадии, по соотношению числа используемых для оценки количественных и качественных показателей.

Методика анализа процессов активизации репродуктивного труда на основе многостадийно-динамической оценки включает в себя следующие этапы:

- определение аналитических показателей для каждой стадии реализации репродуктивного труда;
- определение периода оценки;
- определение тенденции к активизации репродуктивного труда (или противоположной) на каждой стадии его реализации;
- определение преобладающей (доминирующей) тенденции в процессе реализации репродуктивного труда в целом.

В процессе реализации первого этапа разработанной методики нами предложены следующие аналитические показатели:

*для перинатальной стадии репродуктивного труда:*

а) коэффициент зачатий на 1000 женщин в возрасте 15–49 лет (он может быть рассчитан на основе традиционных демографических показателей числа родов на 1000 женщин в возрасте 15–49 лет и числа аборт на 1000 женщин в возрасте 15–49 лет);

б) коэффициент рождений, определяемый как

число родов, деленное на число аборт (основой для его определения служит традиционный показатель числа аборт на 100 родов);

в) число родов на 100 человек населения (аналог традиционного показателя общего коэффициента смертности);

г) коэффициент перинатальной жизнечности (определяется на основе коэффициента перинатальной жизнечности);

*для младенческой стадии репродуктивного труда:*

а) коэффициент младенческой жизнечности (определяется на основе коэффициента младенческой смертности);

*для дошкольной стадии репродуктивного труда:*

а) коэффициент жизнечности в первые пять лет жизни (определяется на основе вероятности смерти с момента рождения до 5 лет);

*для школьной стадии репродуктивного труда:*

а) доля несовершеннолетних с успешной социализацией (определяется на основе традиционного статистического показателя числа преступлений, совершенных несовершеннолетними и при их соучастии);

б) доля медалистов среди выпускников школ (в традиционной статистике образования такой показатель существует).

Период оценки был определен нами как период с 2002 по 2007 гг. В качестве исходных данных выступала официальная статистическая информация в разрезе субъектов Российской Федерации, а именно демографические данные (рождаемость и смертность) [3; 4], иные статистические данные по российским регионам [5; 6] и имеющиеся количественные и качественные показатели статистики российского образования.

В рамках реализации третьего и четвертого этапов методики были выделены регионы, в которых на большинстве стадий репродуктивного труда за исследуемый период наблюдалась тенденция к его активизации, и регионы с противоположной тенденцией (с нарастанием пассивности в этой сфере).

В первый тип регионов попали следующие субъекты РФ: Владимирская область, Красноярский край, Пермский край. В этих регионах на всех стадиях репродуктивной деятельности, попавших в наш анализ, зафиксировано за исследуемый период преобладание ситуации репродуктивной активности. Кроме того, в ряде регионов (Амурская, Архангельская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Кировская, Нижегородская, Орловская, Самарская, Ярославская области, Приморский край, Республики Калмыкия, Саха (Якутия) и Удмуртская Республика) зафиксировано преобладание числа стадий с активностью репродуктивной деятельности над количеством стадий с ее пассивностью.

Второй тип регионов составили те субъекты РФ, в которых на большинстве стадий была идентифицирована ситуация репродуктивной пассивности: Волгоградская, Иркутская, Калужская, Омская, Саратовская, Сахалинская, Тамбовская, Томская, Челябинская, Читинская области, Чувашская и Кабардино-Балкарская республики, Республики Адыгея, Дагестан и Хакасия. Кроме того, нами выделены регионы, где на всех стадиях

была зафиксирована тенденция «пассивизации» репродуктивного труда: Карачаево-Черкесская Республика, Республика Ингушетия, Республика Северная Осетия – Алания, Рязанская и Ульяновская области.

Отметим, что в целом ряде регионов тенденцию в изменении репродуктивной ситуации оценить однозначно не удалось – на различных стадиях репродуктивной деятельности в них преобладают разнонаправленные тенденции, причем число стадий с репродуктивно-активной ориентацией совпадает с аналогичным числом репродуктивно-пассивной ориентацией.

Для регионов этого типа нами предпринята попытка выявления тенденции не через показатели по отдельным стадиям репродуктивного труда, а напрямую. С этой целью все описанные выше показатели были дифференцированы на показатели с положительной или отрицательной динамикой, затем по каждой группе рассчитывалась средняя геометрическая, на основе чего и определялась та или иная преобладающая тенденция (к активизации репродуктивного труда за анализируемый период или противоположная).

Применение такой методики к регионам, ситуацию по которым однозначно оценить было невозможно, дало следующие результаты:

1) ситуацию в 21 субъекте РФ можно считать в целом направленной к состоянию репродуктивной активности (среди них, в частности, г. Москва, Свердловская и Курганская области);

2) ситуацию в 21 субъекте РФ следует идентифицировать как направленную к состоянию репродуктивной пассивности (среди них, например, г. Санкт-Петербург, Ленинградская и Московская области и др.).

Полученные в ходе нашего анализа результаты свидетельствуют о необходимости разработки и реализации комплексной репродуктивной политики в нашей стране, направленной на повышение количественно-качественных характеристик результатов репродуктивного труда на всех стадиях репродуктивной деятельности. Ее основными задачами должны стать активизация процессов репродуктивного труда в нашей стране, рост количества населения и качества будущего человеческого капитала. Эти процессы в современной ситуации должны стать объектами управления, поскольку эволюция семьи на протяжении истории сопровождалась изменением ее форм, выполняемых ею функций и целым рядом параметров, потенциально влияющих на репродуктивную активность населения в целом. Одним из основных следствий происходящих с семьей изменений становится существенная трансформация ее *потребностей*. Это выражается в том, что происходит обособление и осознание прокреационных потребностей; прокреационные потребности индивидуализируются; осознается взаимосвязь между этапами репродукционного процесса, содержанием репродуктивного труда на разных стадиях человеческой репродукции.

При наличии соответствующих условий прокреационные потребности, усиливаясь, участвуют в формировании *мотивов репродуктивно-трудового поведения*. Отметим, что современная российская семья, имеющая

свободу выбора вариантов репродуктивного поведения, в лучшем случае удовлетворяет собственные потребности в числе детей. Массовое распространение малодетности свидетельствует о конфликте между репродуктивным выбором семьи и интересами общества. Следовательно, необходимы меры, направленные на интериоризацию общественных потребностей и перевод их во внутреннюю сферу личности. Общественные потребности должны быть осознаны человеком, восприняты как его собственные – в этом случае формируется мотивация репродуктивно-трудового поведения. Успешное протекание данного процесса невозможно без действия стимулов, определение оптимального набора которых составляет одну из задач концепции репродуктивной политики.

Совокупность мер репродуктивной политики должна влиять как на формирование соответствующих потребностей, так и на создание условий для реализации качественного труда в репродуктивной сфере. В современной российской семье дети становятся самостоятельной ценностью, а забота о них, воспитание, развитие превращаются в высокочастотный (в разных смыслах) процесс. Решение вопросов эффективности репродуктивного труда, постановка и разрешение проблем окупаемости затраченных на него ресурсов создадут условия для активизации этого вида труда в нашей стране, достижения адекватных потребностям будущей инновационной экономики его количественных и качественных результатов.

#### Список литературы

1. Багирова А.П. Теоретико-методологические проблемы управления репродуктивной активностью: монография. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 165.
2. Багирова А.П., Илешева А.М. Факторы репродуктивного поведения населения: анализ межстрановых и межрегиональных различий // СОЦИС. 2009. № 2. С. 37–46.
3. Демографический ежегодник России. 2005: стат. сб. М.: Росстат, 2005. 595 с.
4. Демографический ежегодник России. 2008: стат. сб. М.: Росстат, 2008. 557 с.
5. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2003: стат. сб. М.: Госкомстат России, 2003. 895 с.
6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2008: стат. сб. М.: Росстат, 2008. 999 с.

#### Bibliography

1. Bagirova A.P. Theoretical and methodological problems of reproductive activity direction: monograph. Yekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 165 p.
2. Bagirova A.P., Ilisheva A.M. Factors of population reproductive behaviour: analysis of inter-country and inter-regional distinctions // SOTSIS. 2009. № 2. P. 37–46.
3. Demographic annual in Russia. 2005: collected articles. M.: Rosstat, 2005. 595 p.
4. Demographic annual in Russia. 2008: collected articles. M.: Rosstat, 2008. 557 p.
5. Russian regions. Socio-economic indicators. 2003: collected articles. M.: Goscomstat of Russia, 2003. 895 p.
6. Russian regions. Socio-economic indicators. 2008: collected articles. M.: Rosstat, 2008. 999 p.

Немцев В.Н., Дерябин А.В., Дерябина А.В.

## НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ТЕКУЩИХ ДОХОДОВ КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В последние годы государство значительное внимание уделяет проблемам развития государственных унитарных предприятий (ГУП), что обусловлено их неудовлетворительным финансовым состоянием, недостаточной эффективностью работы и предопределяет необходимость изменения приоритетов в регулировании государственного сектора экономики и управлении государственным имуществом. Основными целями управления государственным имуществом служат повышение доходов бюджета на основе эффективного управления собственностью, оптимизация ее структуры для обеспечения предпосылок экономического роста, использование государственных активов для привлечения инвестиций в реальный сектор экономики. Экономический механизм деятельности ГУП должен включать совокупность форм и методов функционирования и развития их производственного потенциала в целях достижения стабилизации, наращивания темпов развития и повышения эффективности производства продукции, оказания услуг.

Однако эффективность функционирования современных российских ГУП по-прежнему невысока, крайне низки поступления части их прибыли в бюджеты всех уровней, недостаточен контроль над финансовыми потоками, структура их активов не ориентирована на экономический рост. В связи с этим актуальной представляется проблема совершенствования управления развитием современного ГУП. В целом проблемы развития предприятий, основанных на государственной собственности, носят многоуровневый характер. В ряде работ [1, 2 и др.] предлагается подход к управлению их развитием на основе показателей деловой активности предприятия. При этом под деловой активностью понимается совокупность целенаправленных процессов, обеспечивающих темпы экономического роста предприятия на основе согласованного развития его составляющих в гармонии с внешней средой.

К факторам внешней среды, оказывающим влияние на уровень деловой активности ГУП, исследователи относят конъюнктуру рынка, конкуренцию поставщиков, научно-технический прогресс, динамику конкурентных отраслей, динамику нормативной базы и др. В число определяющих внутренних факторов развития входят факторы, обеспечивающие текущее функционирование предприятия (маркетинговые, производственные, финансовые), факторы его стратегического развития (инновационной и инвестиционной деятельности), а также социально-психологические (мотивационные) факторы. Такое представление деловой активности ГУП позволяет исследовать влияние каждого элемента на общее экономическое состояние и уровень потенциала предприятия, обеспечить целевое управление его развитием.

Вместе с тем, каждое предприятие, как правило, одновременно находится в режимах текущего функциони-

рования и последовательного развития, что предполагает необходимость синхронизации этих двух режимов в целях обеспечения экономического роста в каждом цикле деятельности производственной системы. Результаты исследования проблем развития государственных экономических структур [1, 3 и др.] позволяют утверждать, что ведущую роль в их развитии играет инвестиционный механизм. Причем организационно-хозяйственные особенности (текущее функционирование) ГУП способствуют практической реализации факторов активизации инвестиционного процесса (процесса последовательного развития) и повышению эффективности инвестиций. Инвестиционная деятельность предприятия, в свою очередь, оказывает влияние на его текущую деятельность, в том числе на его финансовое состояние, предопределяя синергетический эффект.

Система управления устойчивым развитием ГУП должна включать механизм поддержания необходимого уровня текущей финансовой устойчивости предприятия (см. рисунок). На практике в качестве эффективного инструмента управления развитием государственной экономической структуры применяется индекс устойчивого развития  $I_{разв}^{ycm}$  как многофакторный показатель, отражающий эффективность и инновационность использования инвестиционных ресурсов, их влияние на финансовую устойчивость предприятия:

$$I_{разв}^{ycm} = \sum_{i=1}^n \alpha_i I_i, \quad (1)$$

где  $I_i$  – индекс изменения  $i$ -го фактора устойчивого развития;  $\alpha_i$  – вес  $i$ -го фактора устойчивого развития предприятия;  $n$  – число учитываемых факторов.

В свою очередь, индекс изменений факторов устойчивого развития предприятия рассчитывается по такой формуле

$$I_i = \sum_{j=1}^m \beta_{ij} I_{ij}^{Gj}, \quad (2)$$

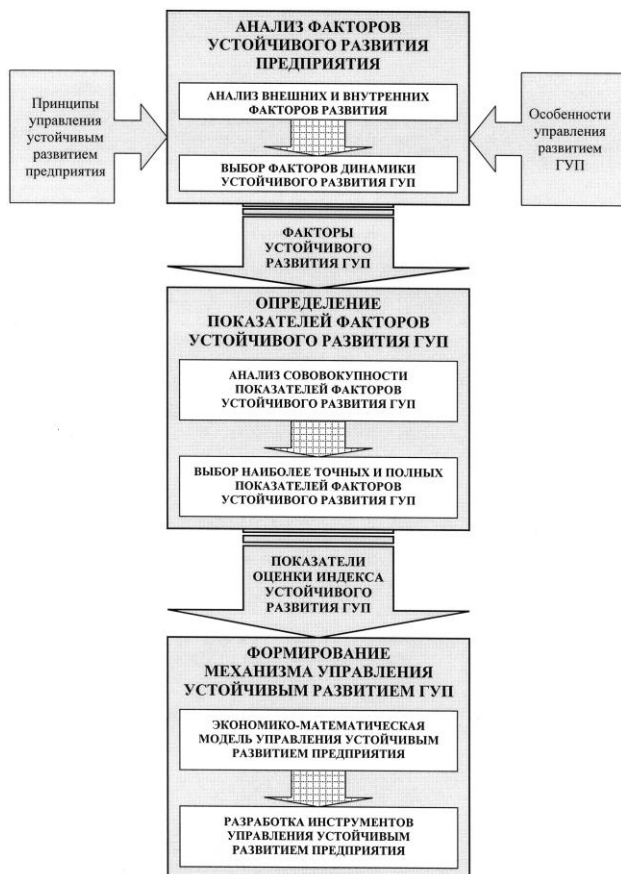
где  $I_{ij}^{Gj}$  – соотношение текущего и базисного значения  $j$ -го показателя  $i$ -го фактора устойчивого развития предприятия;  $\beta_{ij}$  – вес  $j$ -го показателя  $i$ -го фактора устойчивого развития;  $Gj$  – степень  $j$ -го показателя  $i$ -го фактора устойчивого развития;  $m$  – число показателей, определяющих значение  $i$ -го фактора устойчивого развития предприятия.

Как показывают исследования, в условиях современных ГУП одним из наиболее важных факторов финансовой устойчивости является полнота и равномерность его текущих доходов. Изучение равномер-

ности текущих доходов городского санаторно-курортного предприятия ГУП «Магнитогорская бальнеогрязелечебница с курортной поликлиникой» показало наличие системных проблем его развития. С этой целью был проведен XYZ-анализ денежных поступлений предприятия по видам продаж и услуг в месячном и квартальном разрезе за 2007–2009 годы. Структура розничных и оптовых продаж по видам услуг ГУП в месячном разрезе представлена в табл. 1 и 2.

Проведение анализа текущих доходов (денежных притоков) ГУП в квартальном и месячном разрезе обусловлено неравномерными плановыми расходами (денежными оттоками), характерными для этих периодов. Основные квартальные платежи связаны, главным образом, с бюджетными обязательствами, а основные месячные платежи – с оплатой труда и коммунальными платежами. Проведенное ранжирование видов услуг по объему текущих доходов от реализации этих услуг позволило выявить ассортиментные позиции, определяющие уровень поступлений денежных средств (текущих доходов) на предприятии.

Структура розничных и оптовых продаж по видам услуг ГУП в квартальном разрезе и данные их XYZ-анализа представлены в табл. 3 и 4. Стабильность значений квартальных денежных поступлений всегда выше стабильности месячных денежных поступлений. Группа стабильности суммарного денежного притока определяется наиболее весомой составляющей в структуре



**Механизм управления устойчивым развитием предприятия**

совокупного продукта. Коэффициент вариации суммарного денежного притока меньше коэффициента вариации основной составляющей структуры совокупного продукта. Причем стабильность суммарного притока тем выше, чем выше стабильность элементов, составляющих его структуру. Это объясняется различными ритмами неравномерности элементов, составляющих структуру суммарного притока денежных средств ГУП.

Поступления городского санаторно-курортного предприятия в основном складываются из доходов от реализации совокупности услуг различного профиля. Объем и равномерность поступлений оказывает существенное влияние на финансовую устойчивость предприятия. Особенно заметно риск снижения доходов предприятия увеличивается в период ухудшения экономической ситуации. Выработка подходов и решений, направленных на сохранение и повышение доходов предприятия, предполагает выявление и анализ факторов, влияющих на риск снижения денежных поступлений от реализации всего комплекса производимых услуг.

Уровень и характер доходов предприятия от реализации санаторно-курортных услуг зависят от многих факторов, из которых одним из наиболее существенных является структура покупателей продукции предприятия. Различные группы покупателей услуг по-разному участвуют в формировании общего финансового притока предприятия. Виды продаж, соответствующие определенной категории покупателей, различаются объемом, интенсивностью, темпами, неравномерностью во времени, степенью подверженности влиянию негативных воздействий экономической среды. Для городского санаторно-курортного предприятия можно выделить три большие группы покупателей услуг, обладающих специфическими, характерными чертами:

1. Государство в лице своих учреждений и ведомств (приобретение услуг в соответствии с действующим законодательством, по утвержденным бюджетным программам). На отдельной территории от лица государства покупка санаторно-курортных услуг осуществляется, в основном, двумя–тремя представителями и характеризуется высокими разовыми объемами услуг, предназначенных для большого количества потребителей. Решение о покупке принимается ограниченным кругом лиц. С одной стороны, работа ГУП с этой группой покупателей поднимает его статус и положительно влияет на повышение имиджа. С другой стороны, она носит крайне неустойчивый характер, т.к. «цепочка» от непосредственных потребителей услуг (в лице социально нуждающихся категорий граждан) до распределителей и покупателей услуг (в лице чиновников) имеет достаточно большую протяженность.

2. Корпоративные покупатели. В эту группу могут входить несколько десятков контрагентов. Объемы разовых покупок варьируют в зависимости от размера корпоративного покупателя и отношения администрации соответствующих предприятий к проблеме оздоровления персонала. Корпоративные продажи характеризуются большей стабильностью, чем государственные продажи. Однако несовпадение покупателей услуг (в лице администрации предприятия) с потре-

Таблица 1

Объемы розничных продаж предприятия по видам услуг в месячном разрезе в 2007–2009 гг., тыс. руб.

Наименование	Показатели 2007 года												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Медицинские	1184	1194	1409	1429	1415	1462	2458	4005	2779	3418	2583	2198	25534
в т.ч. медицинские для сотрудников	12	4	6	4	9	2	8	15	4	6	12	1	83
Питание	230	216	214	233	274	595	849	842	436	372	335	461	5057
в т.ч. питание сотрудников	14	15	17	16	16	17	18	17	16	23	19	17	205
Досуг	244	322	359	266	254	269	221	277	250	286	339	310	3397
Сумма	1658	1732	1982	1928	1943	2326	3528	5124	3465	4076	3257	2969	33988
Наименование	Показатели 2008 года												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Медицинские	2496	2742	2632	2305	2704	1859	3149	2866	3311	4047	2874	2312	33297
в т.ч. медицинские для сотрудников	7	9	7	10	18	23	1	4	20	21	38	18	176
Питание	239	396	345	206	353	814	911	737	335	363	155	268	5122
в т.ч. питание сотрудников	14	34	19	21	26	18	19	17	18	21	17	16	240
Досуг	276	321	317	271	242	200	264	204	255	262	228	176	3016
Дополнит. сервис	–	32	35	33	32	42	33	33	34	31	31	32	368
Сумма	3011	3491	3329	2815	3331	2915	4357	3840	3935	4703	3288	2788	41803
Наименование	Показатели 2009 года												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Медицинские	1992	2505	2461	2774	1808	1732	2627	2171	2236	2112	1992	2337	26747
в т.ч. медицинские для сотрудников	13	28	24	24	20	2	3	6	5	7	14	31	177
Питание	71	114	146	261	156	427	331	252	175	218	192	467	2810
в т.ч. питание сотрудников	9	10	19	20	14	17	15	13	10	12	10	10	159
Досуг общий	109	122	123	92	124	183	134	83	64	124	128	108	1394
Досуг бар	109	122	123	92	124	183	134	83	64	107	83	56	1280
Досуг фитнес	–	–	–	–	–	–	–	–	–	17	45	52	114
Дополнит. сервис	29	25	30	33	32	26	25	35	25	29	22	77	388
Сумма	2201	2766	2760	3160	2120	2368	3117	2541	2500	2483	2334	2989	31339

Таблица 2

Объемы оптовых продаж предприятия по видам услуг в месячном разрезе в 2007–2009 гг., тыс. руб.

Наименование	2007 год												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Медицинские (физическим лицам)	283	61	94	133	161	77	217	149	256	585	399	454	2869
Медицинские (корпоративные)	569	58	129	177	201	273	303	478	181	804	767	539	4479
Дополнительный сервис	105	103	66	101	105	171	175	127	89	143	147	257	1589
Комплекс (государство)	–	1860	512	966	676	258	–	–	–	97	1379	–	5748
Сумма	957	2082	801	1377	1143	779	695	754	526	1629	2692	1250	14685
Наименование	2008 год												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Медицинские (физическим лицам)	143	118	260	559	454	213	529	398	397	488	482	337	4378
Медицинские (корпоративные)	331	586	925	962	326	827	947	733	535	797	865	300	8134
Дополнительный сервис	98	71	115	84	166	82	82	83	80	82	158	140	1241
Комплекс (государство)	648	1406	788	–	–	816	–	–	758	155	1542	–	6113
Сумма	1220	2181	2088	1605	946	1938	1558	1214	1770	1522	3047	777	19866
Наименование	2009 год												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Медицинские (физическим лицам)	229	416	318	256	228	253	159	308	506	362	189	251	3475
Медицинские (корпоративные)	135	299	205	326	142	353	54	276	1107	797	420	544	4658
Дополнительный сервис	88	87	88	250	85	85	87	84	88	145	146	170	1403
Сумма	452	802	611	832	455	691	300	668	1701	1304	755	965	9536

Таблица 3

Результаты XYZ-анализа розничных продаж предприятия по видам услуг в 2007–2009 гг., тыс. руб.

Наименование	2007 год												
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	За год	X <sup>4</sup>	X <sup>12</sup>	σ <sup>4</sup>	σ <sup>12</sup>	var <sup>4</sup>	var <sup>12</sup>	XYZ <sup>4</sup>	XYZ <sup>12</sup>
Медицинские	3787	4306	9242	8199	25534	6384	2128	2133	897	33,4%	42%	Z	Z
Питание	660	1102	2127	1168	5057	1264	421	535	220	42,3%	52,2%	Z	Z
Досуг	925	789	748	935	3397	849	283	82	40	9,7%	14%	X	Y
Сумма	5372	6197	12117	10302	33988	8497	2832	2802	1043	33%	36,8%	Z	Z
Наименование	2008 год												
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	За год	X <sup>4</sup>	X <sup>12</sup>	σ <sup>4</sup>	σ <sup>12</sup>	var <sup>4</sup>	var <sup>12</sup>	XYZ <sup>4</sup>	XYZ <sup>12</sup>
Медицинские	7870	6868	9326	9233	33297	8324	2775	1019	535	12,2%	19,3%	Y	Y
Питание	980	1373	1983	786	5122	1280	427	457	240	35,7%	56%	Z	Z
Досуг	914	713	723	666	3016	754	251	95	42	12,6%	17%	Y	Y
Доп. сервис	67	107	100	94	368	92	31	15	10	16,6%	31,2%	Y	Z
Сумма	9831	9061	12132	10779	41803	10451	3484	1145	587	10,9%	16,8%	Y	Y
Наименование	2009 год												
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	За год	X <sup>4</sup>	X <sup>12</sup>	σ <sup>4</sup>	σ <sup>12</sup>	var <sup>4</sup>	var <sup>12</sup>	XYZ <sup>4</sup>	XYZ <sup>12</sup>
Медицинские	6958	6314	7034	6441	26747	6687	2229	314	267	4,7%	12%	X	Y
Питание	331	844	758	877	2810	702	234	219	116	31%	49,7%	Z	Z
Досуг	354	399	281	360	1394	348	116	43	28	12%	24,4%	Y	Y
Доп. сервис	84	91	85	128	388	97	32	9	14	9,6%	43,6%	X	Z
Сумма	7727	7648	8158	7806	31339	7835	2612	195	332	2,5%	12,7%	X	Y

Примечание. X<sup>4</sup>, X<sup>12</sup> – среднее арифметическое значение параметра квартального и месячного изменения соответственно; σ<sup>4</sup>, σ<sup>12</sup> – среднее квадратическое отклонение квартальное и месячное соответственно; var<sup>4</sup>, var<sup>12</sup> – коэффициент вариации квартальный и месячный соответственно.

Таблица 4

Результаты XYZ-анализа оптовых продаж предприятия по видам услуг в 2007–2009 гг., тыс. руб.

Наименование	2007 год												
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	За год	X <sup>4</sup>	X <sup>12</sup>	σ <sup>4</sup>	σ <sup>12</sup>	var <sup>4</sup>	var <sup>12</sup>	XYZ <sup>4</sup>	XYZ <sup>12</sup>
Медицинские (физические лица)	438	371	622	1438	2869	717	239	426	158	59,4%	66%	Z	Z
Медицинские (корпоративные)	756	651	962	2110	4479	1120	373	583	241	52%	64,6%	Z	Z
Комплекс (государство)	2372	1900	–	1476	5748	1437	479	888	601	61,8%	125%	Z	Z
Дополнительный сервис	274	377	391	547	1589	397	132	97	49	24,6%	37,1%	Y	Z
Сумма	3840	3299	1975	5571	14685	3671	1224	1290	614	35%	50,1%	Z	Z
Наименование	2008 год												
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	За год	X <sup>4</sup>	X <sup>12</sup>	σ <sup>4</sup>	σ <sup>12</sup>	var <sup>4</sup>	var <sup>12</sup>	XYZ <sup>4</sup>	XYZ <sup>12</sup>
Медицинские (физические лица)	521	1226	1324	1307	4378	1094	365	333	144	30,4%	39,4%	Z	Z
Медицинские (корпоративные)	1842	2115	2215	1962	8134	2033	678	142	242	7%	35,7%	X	Z
Дополнительный сервис	284	332	245	380	1241	310	103	51	32	16,3%	31%	Y	Z
Комплекс (государство)	2842	816	758	1697	6113	1528	509	845	543	55,3%	106%	Z	Z
Сумма	5489	4489	4542	5346	19866	4966	1655	402	590	8%	35,7%	X	Z
Наименование	2009 год												
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	За год	X <sup>4</sup>	X <sup>12</sup>	σ <sup>4</sup>	σ <sup>12</sup>	var <sup>4</sup>	var <sup>12</sup>	XYZ <sup>4</sup>	XYZ <sup>12</sup>
Медицинские (физические лица)	963	737	973	802	3475	869	290	102	95	11,7%	32,7%	Y	Z
Медицинские (корпоративные)	639	821	1437	1761	4658	1164	388	454	289	39%	74,5%	Z	Z
Дополнительный сервис	263	420	259	461	1403	351	117	91	50	26%	42,4%	Z	Z
Сумма	1865	1978	2669	3024	9536	2384	795	481	371	20%	46,6%	Y	Z

Таблица 5

Общие объемы продаж предприятия в месячном разрезе в 2007–2009 гг., тыс. руб.

Наименование	2007 год												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Объемы продаж 2007 года	2615	3814	2783	3305	3086	3105	4223	5878	3991	5705	5949	4219	48673
Объемы продаж 2008 года	4231	5672	5417	4420	4277	4853	5915	5054	5705	6225	6335	3565	61669
Объемы продаж 2009 года	2653	3568	3371	3992	2575	3059	3417	3209	4201	3787	3089	3954	40875

Таблица 6

Результаты XYZ-анализа общих объемов продаж предприятия в 2007–2009 гг., тыс. руб.

Наименование	Объемы продаж					Результаты анализа							
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	За год	X <sup>4</sup>	X <sup>12</sup>	$\sigma^4$	$\sigma^{12}$	var <sup>4</sup>	var <sup>12</sup>	XYZ <sup>4</sup>	XYZ <sup>12</sup>
Объемы продаж 2007 года	9212	9496	14092	15873	48673	12168	4056	2885	1149	23,7%	28,3%	Y	Z
Объемы продаж 2008 года	15320	13550	16674	16125	61669	15417	5139	1181	844	7,6%	16,4%	X	Y
Объемы продаж 2009 года	9592	9626	10827	10830	40875	10219	3406	610	497	6%	14,6%	X	Y

Таблица 7

Структура денежных поступлений предприятий по видам продаж в 2007–2009 гг.

Виды продаж	2007 год		2008 год		2009 год	
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
Розница общая	33988	69,83	41803	67,79	31339	76,67
Медицинские	25534	52,46	33297	53,99	26747	65,44
Питание	5057	10,39	5122	8,31	2810	6,87
Досуг	3397	6,98	3016	4,89	1394	3,41
Дополнительный сервис	–	–	368	0,60	388	0,95
Опт общий	14685	30,17	19866	32,21	9536	23,33
Медицинские	7348	15,10	12512	20,29	8133	19,90
Комплекс государство	5748	11,81	6113	9,91	–	–
Дополнительный сервис	1589	3,26	1241	2,01	1403	3,43
Общая реализация	48673	100,00	61669	100,00	40875	100,00

Таблица 8

Ранжирование услуг предприятий по объему реализации в 2007–2009 гг.

Вид услуг	2007			2008			2009		
	Оборот, тыс. руб.	Доля в общем обороте, %	Оборот кумулятивный, %	Оборот, тыс. руб.	Доля в общем обороте, %	Оборот кумулятивный, %	Оборот, тыс. руб.	Доля в общем обороте, %	Оборот кумулятивный, %
Медицинские	32882	67,56	67,56	45809	74,28	74,28	34880	85,34	85,34
Комплекс (медицинские услуги, питание, проживание)	5748	11,81	79,37	6113	9,91	84,19	–	–	–
Питание	5057	10,39	89,76	5122	8,31	92,50	2810	6,87	92,21
Досуг	3397	6,98	96,74	3016	4,89	97,39	1394	3,41	95,62
Дополнительный сервис	1589	3,26	100,00	1241	2,01	99,40	1403	3,43	99,05
Автоуслуги	–	–	–	368	0,60	100,00	388	0,95	100,00
Сумма	48673	100,00	–	61669	100,00	–	40875	100,00	–



бителями услуг (в лице работников и членов их семей) приводит к сокращению потребления услуг предприятиями при экономических неурядицах, из-за различия в мотивациях работодателей и персонала.

3. Физические лица (несколько тысяч покупателей), непосредственные потребители санаторно-курортных услуг. Продажи услуг в этой группе характеризуется наибольшей устойчивостью к изменяющимся экономическим условиям. Их уровень, при прочих равных условиях, в первую очередь, зависит от потребности покупателя обрести физическое состояние, позволяющее соответствовать выбранным профессиональным требованиям и обладать достойным качеством жизни.

Общая реализация предоставляемых услуг ГУП в месячном разрезе представлена в **табл. 5**, а общая реализация услуг ГУП в квартальном разрезе и данные XYZ-анализа – в **табл. 6**. В свою очередь, структура денежных поступлений ГУП по видам продаж представлена в **табл. 7**. Стабильность общих продаж ГУП за рассматриваемые три года выросла, несмотря на повышение коэффициентов вариации оптового притока в 2009 году. Это объясняется повышением доли более стабильной группы розничных продаж в структуре суммарного притока в 2009 году по сравнению с 2008 годом (см. **табл. 7**). Результаты ранжирования видов услуг ГУП по объему реализации предоставляемых им услуг приведены в **табл. 8**.

Очевидно, что стабильность розничных продаж услуг ГУП «Магнитогорская бальнеогрязелечебница с курортной поликлиникой» за три года существенно возросла. Некоторое снижение стабильности оптовых продаж в 2009 году объясняется тем, что основу оптовых продаж городского санаторно-курортного предприятия сегодня составляют корпоративные продажи. На 2009 год пришелся пик нестабильной работы предприятий – потребителей услуг, что привело к снижению внимания администрации этих предприятий к оздоровлению своего персонала. В 2007 году 80%-й рубеж по кумулятивному обороту обеспечивался продажами трех видов услуг: медицинских услугами, комплекса услуг и услугами питания. В 2008 году 80%-й рубеж по кумулятивному обороту обеспечивался продажами двух видов услуг: медицинскими услугами и комплексом услуг. В 2009 году 80%-й рубеж по кумулятивному обороту обеспечивается продажами только медицинских услуг. Выявленная структура кумулятивного оборота ГУП свидетельствует о наличии существенного риска его финансовой устойчивости.

Неравномерность поступлений денежных средств оказывает дестабилизирующее действие на текущую хозяйственную деятельность ГУП и обладает существенным влиянием на показатели эффективности его работы. Колебания спроса на услуги санаторно-курортного предприятия и загрузки его мощностей влечет за собой изменение объемов обслуживания и существенно влияет на себестоимость услуг. При снижении объемов продаж увеличивается себестоимость услуг за счет повышения удельных постоянных затрат в совокупных издержках предприятия. Особенностью санаторно-курортного предприятия является то, что услугу нельзя произвести заранее, так как производство услуги

фактически совпадает с ее потреблением.

Поэтому, несмотря на колебания спроса, сервисное предприятие должно поддерживать определенные технологические мощности в состоянии постоянной готовности для оказания требуемого объема услуг. Это отражается на увеличении удельных постоянных затрат предприятия в совокупных издержках, в том числе за счет финансирования резервов технологических мощностей и затрат на содержание высококвалифицированного персонала в периоды межсезонья. Высокая доля постоянных затрат в совокупных издержках делает сервисное предприятие особенно чувствительным к неравномерности загрузки мощностей вследствие неравномерности продаж. Абсолютное отклонение от нормативных объемов производства услуг, как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения имеет для уровня эффективности работы предприятия одинаково негативный характер. При снижении объемов производства услуг происходит увеличение себестоимости и, как следствие, снижение поступлений в фонды развития предприятия. При незапланированном увеличении объемов продаж требуются дополнительные расходы на развертывание дополнительных технологических мощностей, что также ведет к снижению поступлений в фонды развития предприятия.

Проведенный анализ позволяет сделать и ряд сопутствующих выводов о перспективах стабилизации текущих доходов ГУП на основе их инновационного развития. Как отмечается многими исследователями, методы внедрения новых технологий на отечественных предприятиях вступают в некоторое противоречие с тенденциями развития современной внешней среды. В то время как развитие внешней среды свидетельствует об усилении роли инноваций, управление нововведениями на современных предприятиях все еще осуществляется методами функционального управления, свойственными индустриальному укладу экономики. Наряду с финансовыми и информационными факторами, сдерживающими процессы разработки и внедрения новых технологий, специалисты в области инновационной деятельности выделяют дефицит специалистов в области разработки и внедрения новых и усовершенствованных продуктов (услуг) в рыночных условиях, отсутствие эффективных методик вовлечения новых технологий в хозяйственный оборот.

Указанные причины, на наш взгляд, предопределяют высокий риск и инновационную пассивность отечественных предприятий. Ключевым сдерживающим препятствием на пути развития предприятий является не только отсутствие достаточных финансовых ресурсов, но и качество инновационного менеджмента на самих предприятиях. До тех пор, пока не будут выработаны методы управления, адекватные изменившимся экономическим условиям, предприятия не смогут преодолеть свое технологическое отставание даже при достаточных уровнях финансирования. В качестве другой, не менее важной причины инновационной пассивности отечественных предприятий, можно выделить сложности синхронизации финансового обеспечения их текущей производственной и перспективной инновационной деятельности.

## Библиографический список

1. Анискин Ю.П. Корпоративное управление инновационным развитием: монография. М.: Изд-во «Омега-Л», 2007.
2. Моисеева Н.К. Деловая активность предприятия как отражение цикличности экономического развития // Науч. тр. МАОП. Т. 1. М., 1998.
3. Быков А.В. Производственное равновесие и инновации // Материалы XI Всерос. межвуз. науч.-техн. конференции «Микроэлектроника и информатика – 2004»: тез. докл. М.: МИЭТ, 2004.

## Bibliography

1. Anisckin U.P. The corporation management for innovation development: monograph. M.: Omega-L Publishing House, 2007.
2. Moiseeva N.K. The business activity of enterprise as a representation of economic development's cyclic: Scientific works of MAOP. Vol. 1. M., 1998.
3. Bykov A.V. An industrial balance and the innovations // Works of XI All-Russian inter-institute of high educational scientific and technical conference "Micro-electronics and information science – 2004": The theses of addresses. M.: MIET, 2004.

УДК 332.135:005.52

Поликарпова М.Г.

## ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ РФ<sup>1</sup>

Экономико-математические методы анализа позволяют проводить исследование конкретных социально-экономических структур в определенных условиях места и времени, заключающееся прежде всего в их точном количественном измерении, выявлении пропорций и закономерностей. Структура сложного социально-экономического явления, такого как интеграционная деятельность, всегда обладает той или иной степенью подвижности, имеет свойство меняться с течением времени как в количественном, так и в качественном отношении. Поэтому большое практическое значение имеют изучение структуры в динамике, оценка структурных сдвигов, выявление и характеристика основных тенденций развития интеграционных процессов.

Отраслевое распределение интеграционных сделок в регионе «Восточная и Центральная Европа» представлено на рис. 1. Анализ данных позволяет сделать вывод о том, что в данном регионе наибольшая интеграционная активность наблюдается в отраслях металлургии (19%), финансов (15%), пищевой промышленности (10%), энергетике (9%) и в сфере услуг (7%). Несмотря на финансово-экономический кризис, перспективной, по оценке специалистов PriceWaterhouseCoopers, является строительная отрасль (рынок недвижимости). При этом наиболее привлекательным для инвесто-

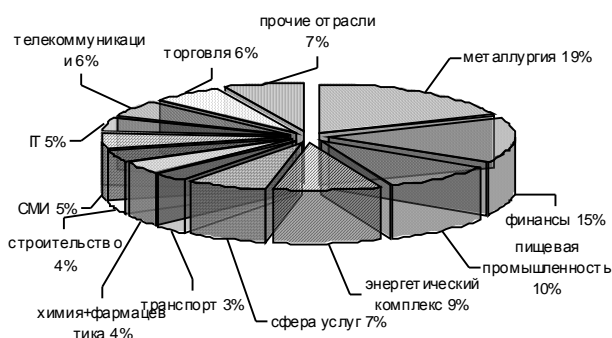


Рис. 1. Структура отраслевого распределения интеграционных сделок в регионе «Восточная и Центральная Европа», 2008 г.

ров в данном регионе является российский рынок.

Анализируя распределение заключенных интеграционных сделок в РФ за период 2005–2009 гг. по данным аналитической группы ReDeal, можно отметить, что максимальное количество интеграционных сделок было заключено в 2006 г. и составило 1432 сделки (лидером по количеству заключенных сделок в 2006 г. был 4 квартал, в течение которого было совершено 375 интеграционных сделок). В 2008 г. по сравнению с 2007 г. количество сделок сократилось на 11,45%, а по сравнению с 2006 г. – на 14,03% и составило 1183 интеграционных сделки. При этом летнее затишье 2008 г. в отличие от 2007 г. переросло в стагнацию рынка.

Так, в 3 квартале 2008 г. количество сделок снизилось на 18,63% по сравнению с 3 кварталом 2007 г., а в 4 квартале 2008 г. количество сделок снизилось на 31,75% по сравнению с аналогичным периодом 2007 г. В начале 2009 г. тенденция сохранилась (количественное уменьшение сделок в 1 квартале 2009 г. составило 48,26 и 46,54% соответственно к 1 кварталу 2007 г. и 2008 г.).

Уменьшение числа сделок объясняется высокой степенью неопределенности относительно перспектив экономического развития, снижением готовности инвесторов принимать на себя финансовые риски, недостатком финансирования, вызванным кризисом ликвидности, а также разницей в ценовых ожиданиях между продавцом и покупателем [4].

В 2007 г. стоимостной объем рынка M&A<sup>2</sup> увеличился на 106,15% по сравнению с 2006 г. и на 108,46% по сравнению с 2005 г. и составил 129,12 млрд долл. Сделки стоимостью более 5 млн долл. составили 94,61% всего стоимостного объема рынка 2007 г. (122,16 млрд долл.) и всего лишь 36,38% количественного объема рынка (486 сделок). Почти 4-кратный рост выявлен в объеме сделок по приобретению российскими компаниями иностран-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-449.2010.6).

<sup>2</sup> Рынок M&A (рынок слияния и поглощения) — американская аббревиатура рынка интеграционных сделок.

ных активов – 23,3 млрд долл. (2006 г. – 6,8 млрд долл.). Основные факторы роста рынка в 2007 г. – это завершение сделок: по приобретению активов ЮКОСА; по консолидации группой «Мечел» 100% акций «Якутуголь»; РУСАЛ-СУАЛ-Glencore; Норильский никель-LionOre; Евраз-груп – Oregon Steel Mills; Северсталь-Victory Industries; ГАЗПРОМ-Сахалин-2.

В 2008г. российская экономика полностью успела ощутить последствия мирового финансово-экономического кризиса. Это резкое снижение потребительского спроса, сокращение объемов кредитования, значительное снижение темпов промышленного производства, резкое ослабление рубля в конце 2008 г. Кроме того, падение цен на энергоносители подорвало позиции России на мировом рынке. В итоге Россия столкнулась с серьезными внешними бюджетными ограничениями, отрицательно влияющими на ее экономику [6].

В этих условиях объем рынка интеграционных сделок в 2008 г. составил 112,41 млрд долл., сократившись на 12,95% по сравнению с 2007 г. (первое сокращение после 7-летнего роста с 2001 г.). Сделки стоимостью более 5 млн долл. составили 69% всего стоимостного объема рынка (77,56 млрд долл.) и 32,12% количественного объема рынка (380 сделок).

Необходимо отметить, что 52,22% стоимостного объема рынка 2008г. пришлось на 2 квартал, когда было заключено сделок на сумму 58,70 млрд долл. (РУСАЛ – Норильский никель, реорганизация РАО ЕЭС, приобретения иностранных металлургических активов компаниями Евраз-груп, ТМК, Северсталь). Второе полугодие 2008 г. характеризуется более чем двукратным снижением стоимостного объема рынка по сравнению со вторым полугодием 2007 г., что можно объяснить срывом/переносом ряда сделок (ОГК-1, John Maneely Company и др.).

В сложившихся условиях компании прежде всего ориентируются на оптимизацию затрат, что является причиной продолжившегося спада на российском рынке M&A в 2009 г. Однако неизбежный уход части компаний с российского рынка M&A будет создавать рыночный вакуум, который должен быть заполнен более сильными участниками рынка, что способствует поддержанию на определенном уровне активности на рынке слияний и поглощений. При этом наибольшая интеграционная активность на российском рынке M&A в 2009 г. демонстрируется в секторах экономики, наиболее сильно пострадавших от финансово-экономического кризиса.

Характерной особенностью российского рынка слияния и поглощения за последние несколько лет является то, что значительное влияние на него оказывают мега-сделки (стоимостью свыше 1 млрд долл.), а также отраслевые векторы активности (2007 г. – аукционы по продаже активов ЮКОСА, 2008 г. – реорганизация РАО ЕЭС, 2009 г. – реализация интересов акционеров Норильского Никеля) [5].

Таким образом, актуальность исследования российского рынка M&A определила рассмотрение в экономико-математическом анализе оценки структуры интеграционной активности различных секторов

российской экономики. В работе рассмотрены структурные изменения, произошедшие за период с 2004 г. по 2008 г., рассчитанные по показателям: количество интеграционных сделок; стоимостной объем рынка слияния и поглощения; коэффициент роста числа интеграционных сделок; коэффициент роста стоимостного объема рынка M&A.

В таблице представлено распределение секторов экономики РФ в 2008 г. по максимальному и минимальному значению их доли в формировании выделенных показателей<sup>3</sup>. В 2008 г. наибольшее количество интеграционных сделок принадлежало сфере услуг и торговли (180 сделок), наименьшее – сфере электроэнергетики (49 сделок). Если рассматривать российский рынок M&A с учетом ограничений на сумму сделки, то наибольшее количество принадлежало сфере финансов (54 сделки), а наименьшее – сфере транспорта (15 сделок).

По стоимостному объему рынка интеграционных сделок лидером в 2008 г. является металлургия (33722,10 млн долл.), а аутсайдером – сфера СМИ, спорта и рекламы (1348,88 млн долл.). Если рассматривать российский рынок M&A с учетом ограничений на сумму сделки, то как и в случае рассмотрения рынка по количественному объему, лидирует сфера финансов (22211,30 млн долл. – 28,64% доли рынка), а металлургия опускается на четвертое место (7038,90 млн долл.–9,08% доли рынка) после нефтегазорудной сферы и электроэнергетики. С учетом ограничений на сумму сделки аутсайдером также является сфера СМИ, спорта и рекламы (1,13% доли рынка).

Экономико-математический анализ абсолютных линейных структурных сдвигов [1,2] с постоянной базой сравнения за 2006–2008 гг. по показателю количество интеграционных сделок показал, что наиболее существенные структурные изменения произошли в сфере телекоммуникаций и наименее существенные – в сфере металлургии. Анализ абсолютных линейных структурных сдвигов с постоянной базой сравнения за 2004–2008гг. по показателю количество интеграционных сделок (с ограничением на сумму сделки) свидетельствует о том, что наиболее существенные структурные изменения произошли в сфере услуг и торговли.

В связи с тем, что за последние 8 лет наибольшее число сделок было заключено в 2006 г., были рассчитаны базисные (к 2006 г.) и цепные относительные структурные сдвиги [3]. По числу заключенных интеграционных сделок наибольшими изменениями относительных структурных сдвигов с постоянной базой сравнения характеризуется строительная и нефтегазорудная сфера. Наибольшее замедление показывает рынок M&A в сфере СМИ, спорта и рекламы. Наибольшим относительным структурным сдвигом с постоянной базой сравнения (2006 г.) и переменной базой сравнения за 2006–2008 гг. характеризуется сфера

<sup>3</sup> Источник: данные аналитической группы ReDeal и M&A – Intelligence. Совместное рассмотрение данных, предоставленных ведущими российскими аналитическими группами в сфере слияния и поглощения, позволяет увидеть объективную картину российского рынка M&A.

Статистические характеристики секторов экономики Российской Федерации по основным показателям интеграционной активности, 2008 г.

Показатель		Max значение доли	Сектор экономики	Min значение доли	Сектор экономики
Количество интеграционных сделок	без ограничения на сумму сделки	180	Услуги и торговля	49	Электроэнергетика
	сумма сделки более 5 млн руб.	54	Финансы	15	Транспорт
Стоимостной объем рынка M&A, млн долл.	без ограничения на сумму сделки	33722,10	Металлургия	1348,88	СМИ, спорт, реклама
	сумма сделки более 5 млн руб.	22211,30	Финансы	874,20	СМИ, спорт, реклама
Коэффициент роста числа интеграционных сделок, %	без ограничения на сумму сделки	37,45	Строительство	-35,73	Нефтегазородный сектор
	сумма сделки более 5 млн руб.	70,83	Электроэнергетика	-53,23	Услуги и торговля
Коэффициент роста стоимостного объема рынка, %	без ограничения на сумму сделки	268,84	Телекоммуникации	19,85	Нефтегазородный сектор
	сумма сделки более 5 млн руб.	311,21	Финансы	19,42	Нефтегазородный сектор

электроэнергетики (123 п.п. и 61 п.п. соответственно).

Согласно рассчитанным коэффициентам относительного линейного структурного сдвига с постоянной и переменной базой сравнения показателя «количество интеграционных сделок» (с учетом ограничений на сумму сделки) за период 2004–2008 гг. наиболее динамично рынок M&A развивается в сфере электроэнергетики, телекоммуникаций, в финансовой и строительной сфере, демонстрируя постепенное увеличение темпа роста числа заключенных интеграционных сделок. Максимальные структурные изменения за 2004–2008 гг. наблюдались в сфере электроэнергетики.

Анализ квадратичных коэффициентов абсолютных и относительных структурных сдвигов [3] показывает, что по коэффициенту абсолютного структурного сдвига с постоянной базой сравнения (2004 г.) лидирующее положение занимает сфера услуг и торговли, а по коэффициенту абсолютного структурного сдвига с переменной базой сравнения лидером является нефтегазородная сфера.

Интересен тот факт, что при рассмотрении рынка корпоративного контроля с учетом ограничений на сумму сделки (сумма сделки более 5 млн руб.) про-

слеживается, что по всем обобщающим показателям структуры за 2004–2008 гг. наименее существенными структурными сдвигами характеризуется сфера металлургии. Выявленная особенность свидетельствует об устойчивости структуры. При этом за период 2004–2008 гг. металлургический сектор занимал 5,53% количественного и 12,18% стоимостного объема рынка. Это обстоятельство, безусловно, должно учитываться при анализе, прогнозировании и планировании развития российского рынка M&A в сфере черной и цветной металлургии.

В целях объективной оценки мобильности, подвижности структурных сдвигов интеграционной активности в различных секторах экономики РФ проанализируем структурные сдвиги с постоянной и переменной базой сравнения по показателю «стоимостной объем рынка интеграционных сделок».

Анализ линейного относительного структурного сдвига с постоянной базой сравнения по показателю «стоимостной объем рынка интеграционных сделок»<sup>4</sup> показывает, что структурные сдвиги во всех сферах экономики России за 2004–2008 гг. характеризуются как большие структурные сдвиги.

Распределение секторов экономики по значению линейного структурного сдвига с постоянной базой сравнения (2004 г.) стоимостного объема рынка M&A в 2008 г., без сферы электроэнергетики, представлено на рис. 2. Согласно рис. 2 наименее подвижной структурой характеризуется нефтегазородная сфера, а наиболее подвижными структурами характеризуется строительная сфера и сфера услуг и торговли.

Доля трансграничных сделок в нефтегазородной сфере в 2007 г. была довольно значительной. При этом основная доля интеграционных сделок приходится на сделки по обмену активами. Такой формат взаимовыгодного сотрудничества российских компаний с зару-

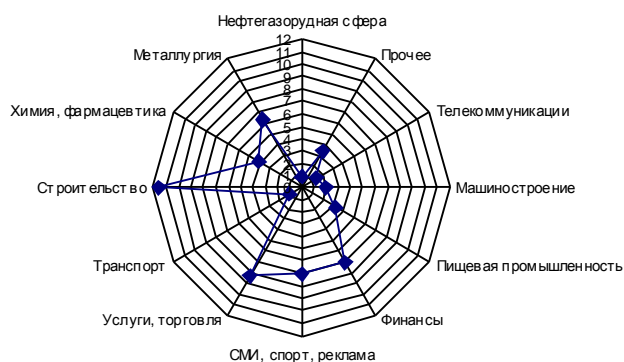


Рис. 2. Линейные относительные структурные сдвиги стоимостного объема рынка M&A секторов экономики РФ, 2008 г.

<sup>4</sup> Данные аналитической группы M&A – Intelligence.

бежными партнерами становится все более и более распространенным, а в некоторых проектах и единственно возможным. Данный факт находит отражение в статистике сделок M&A в 2007 г. (Газпром – ТНК ВР, Газпром – Total Group, Газпром – BASF). На рис. 3 представлены направления трансграничной M&A-активности в нефтегазородной сфере в 2007 г.

Наибольшим спросом в качестве объекта поглощения в строительной сфере выступают строительные компании и девелоперы. Несмотря на финансово-экономический кризис, наблюдается усиление тенденции вертикальной интеграции в строительном секторе – крупные застройщики активно приобретают заводы по производству строительных материалов. (Основные игроки рынка корпоративного контроля в строительной сфере: Базовый элемент, Седьмой континент, группа компаний ПИК, Mirax Group и др.).

Интеграционная активность в сфере услуг и торговли остается достаточно высокой, это касается как

ритейлеров, на которых приходится 2/3 сделок в отрасли, так и производителей продуктов питания. Значительной активности в данном секторе следует ожидать и в дальнейшем. Так, в среднем концентрация на потребительском рынке России остается в 5–7 раз ниже, чем в Европе.

Анализ квадратичных коэффициентов относительных структурных сдвигов показывает, что лидирующее положение занимает сфера электроэнергетики. Большой вклад в данные показатели внес 2007 г., когда было заключено 24 сделки на общую сумму 18305 млн долл.

Группировка секторов экономики РФ по направлению базисных относительных квадратичных структурных сдвигов показателя «стоимостной объем рынка M&A» свидетельствует о том, что усиление изменения направления подвижности структурных сдвигов за 2004–2008 гг. произошло в 3 секторах экономики: финансовая сфера, строительство, пищевая промышленность; в остальных секторах наблюдалось чередование.

Заслуживает внимание тот факт, что за рассматриваемый период ни в одном из секторов экономики РФ не произошло ослабления направления подвижности.

На рис. 4 показаны квадратичные относительные структурные сдвиги с постоянной базой сравнения (2008 г. к 2004 г.) количества интеграционных сделок и стоимостного объема рынка без учета сферы электроэнергетики, которая за рассматриваемый период является явным лидером. Анализ рис. 4 показывает, что все без исключения сектора экономики РФ активизировали свою интеграционную активность. При этом структура по показателю «стоимостной объем рынка» за 2004–2008 гг. претерпела более существенные изменения, чем структура рынка M&A по показателю «количество интеграционных сделок».

Подводя итог проделанному анализу структурных сдвигов основных показателей интеграционной активности, следует отметить, что одинаковые направления подвижности структурных сдвигов за период 2004–2008 гг. наблюдались в нефтегазородной сфере, машиностроении, в сфере услуг и торговли, химии и фармацевтики, а также в строительной сфере.

В сфере электроэнергетики и телекоммуникаций по показателю «количество сде-



Рис. 3. Трансграничная M&A-активность в нефтегазородной сфере в 2007 г., млн долл.

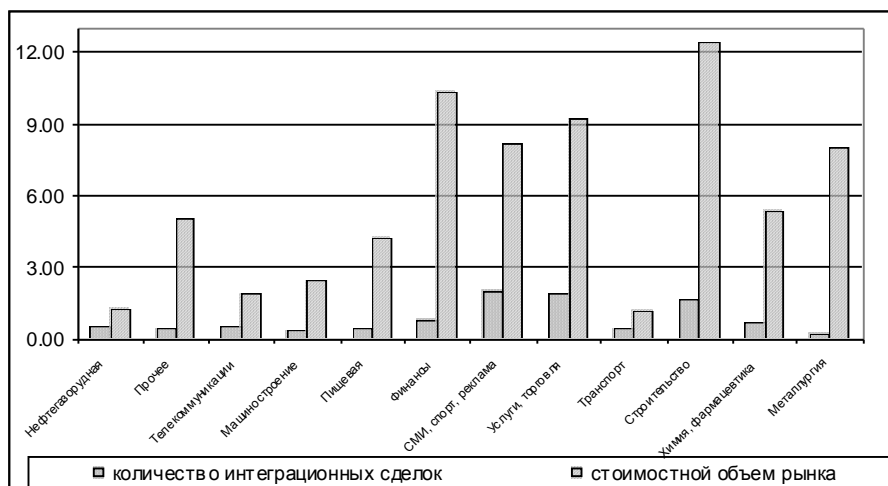


Рис. 4. Квадратичные структурные сдвиги, рассчитанные по количеству сделок и стоимостному объему рынка M&A, 2008 г.

лок М&А» наблюдается поступательное увеличение структурных сдвигов, а по показателю «стоимостной объем рынка» – резкий всплеск в 2007 г. и резкий спад в 2008 г. Для сферы СМИ, спорта и рекламы, финансовой сферы, пищевой промышленности и сферы металлургии в 2004–2008 гг. характерно достаточно стабильное поведение структурных сдвигов по показателю «количество интеграционных сделок». Для сферы металлургии резкий всплеск по показателю «стоимостной объем рынка» наблюдается в 2006 г., а для сферы СМИ, спорта и рекламы, финансовой сферы, пищевой промышленности – в 2008 г.

Таким образом, экономико-математический анализ секторов экономики РФ на основе показателей структурных сдвигов за исследуемый период показывает приблизительно одинаковое значение происходящих структурных сдвигов интеграционной активности в различных секторах российской экономики. Отличаясь между собой лишь количественно, данные показатели отражают одну и ту же динамику интеграционного структурно-динамического процесса (наблюдается чередование направлений подвижности структурных сдвигов, что свидетельствует о неустойчивости рынка М&А в России).

При этом главные новости об интеграционных сделках за последние годы поступают из одних и тех же сфер экономики РФ, потенциал которых по-прежнему очень высок. Речь идет об электроэнергетике, нефтегазородной и металлургической сферах. В то же время технологичные отрасли, такие как машиностроение, производство информационных техноло-

гий, химия и фармацевтика, существенно отстают от лидеров. Это лишний раз свидетельствует о продолжающейся ориентации российской экономики на производство сырья и конечное потребление.

#### Библиографический список

1. Региональная статистика: учебник / под ред. В.М. Рябцева, Г.И. Чудилина. М., 2001. 380 с.
2. Статистика: учебник / И.И. Елисеева, И.И. Егорова и др.; под ред. проф. И.И. Елисеевой. М.: ТК Велби; Изд-во Проспект, 2004. 448 с.
3. Теория статистики: учебник / Р.А. Шмойлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова; под ред. Р.А. Шмойловой. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2003. 656 с.
4. [www.consulting.rbc.ru](http://www.consulting.rbc.ru)
5. [www.ma-journal.ru](http://www.ma-journal.ru)
6. [www.mergers.ru](http://www.mergers.ru)

#### Bibliography

1. Regional statistics: Textbook. Under the editorship of V.M. Ryabtseva, G.I. Chudilina. Moscow, 2001. 380 pages.
2. Statistics: Textbook / I.I. Eliseeva, I.I. Egorova and others. Under the editorship of I.I. Eliseeva. Moscow: TK Velby, Publishing house "Prospect, 2004. 448 p.
3. Theory of statistics: Textbook / R.A. Shmoilova, V.G. Mishakin, N.A. Sadovnikova, E.B. Shuvalova; Under the editorship of R.A. Shmoilova. 4th edition, revised and supplemented. Moscow: Finance and statistics, 2003. 656 p.
4. [www.consulting.rbc.ru](http://www.consulting.rbc.ru)
5. [www.ma-journal.ru](http://www.ma-journal.ru)
6. [www.mergers.ru](http://www.mergers.ru)

УДК 368.031.6

Журавин С.Г., Иванушкина И.С.

## ОСОБЕННОСТИ ЦИКЛИЧНОСТИ СТРАХОВОГО РЫНКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Состояние российского страхового рынка в настоящее время характеризуется тем, что он динамично развивается в условиях реформирования и модернизации экономики. Рынок достиг определенной стадии зрелости – стадии выделения компаний, нацеленных на долгосрочную работу на основе классических видов страхования, на повышение качества обслуживания клиентов. В условиях увеличения в активах компаний доли информационного капитала развиваются стратегии корпоративных слияний и поглощений, что относится к факторам, способствующим консолидации бизнеса, капитализации стоимости и конкурентных преимуществ компаний, выступающими факторами роста страхового бизнеса, внедрения инноваций и привлечения капитала в отрасль.

Несомненно, российский страховой рынок значительно отличается от рынков стран запада и США. Одной из причин является его запоздалое развитие в связи с поздним переходом к рыночной экономике. Если в России появление первых признаков страхова-

ния относится к 1991 году, то, например, в США развитие данной отрасли началось значительно раньше. Благодаря наличию довольно длительной истории развития страхового бизнеса в странах запада можно проанализировать в динамике сам ход данного процесса. Это дает возможность прогнозировать поведение рынка страхования в целом и тем самым предпринимать ту или иную стратегию и тактику работы в постоянно меняющихся условиях среды.

Оценка факторов, влияющих на деятельность страховой компании, – важный момент для обеспечения успешной работы любого страховщика. Есть основания полагать, что негативные проявления стихийного характера сил природы и общества, связанные с материальными потерями, наступают периодически и представляют собой объективный, закономерный процесс, вызываемый противоречиями экономических отношений и проблемами техногенного характера. Возникает риск, объективно присущий различным стадиям общественного воспроизводства и

любым социально-экономическим отношениям. Также как и рынок любых других товаров (работ, услуг), страховой рынок подвержен цикличности своего развития, экономически закономерным колебаниям в росте и снижении цен на страховые услуги.

Факторами, определяющими цикличность страхового рынка, являются:

- привлечение избыточного капитала в страховании в благоприятные годы и, как следствие, снижение цен на страховые услуги;
- рост эффективности превентивных мероприятий, способных снизить негативные последствия неблагоприятных, непредвиденных явлений;
- относительное снижение последствий неблагоприятных событий в благоприятные годы;
- наступление катастрофических убытков, которые ведут к удорожанию стоимости страховой и перестраховочной защиты.

Попробуем рассмотреть особенности цикличности развития на примере российского рынка страхования. Особенностью данного анализа будет то, что циклы будут построены отдельно в отношении страховых премий и выплат. Ведь факторы, влияющие на поступления и возмещения ущерба, различны. На рис. 1 и 2 представлена динамика поступления страховых взносов в период с 1991 по 2009 гг.

На рис. 1 видно, что показатели страховых взносов имеют постоянную тенденцию к росту. Причем более заметным этот рост стал в 2000 году. Предпосылками для дальнейшего развития страхового дела в РФ являются наметившаяся финансовая стабилизация и оживление экономики. К внешним факторам положительного развития рынка страхования в России можно отнести следующие:

1) укрепление негосударственного сектора экономики: частный предприниматель в силу своей экономической обособленности от государства вынужден страховать свои риски;

2) источником спроса на страховые услуги является рост объемов и разнообразие частной собственности физических и юридических лиц, при этом важное значение имеет развитие рынка недвижимости и ипотечного кредитования жилищного строительства, а также приватизация государственного жилого фонда;

3) важным источником развития страхового рынка является сокращение некогда всеобъемлющих гарантий, предоставляемых системой государственного соцстрахования и соцобеспечения: сегодня отсутствие гарантий должно восполняться различными формами личного страхования;

4) снятие «железного занавеса» между Россией и странами мира многократно увеличило поездки граждан за рубеж, что, в свою очередь, требует увеличения и качественного совершенствования страховых услуг, профессиональной подготовки кадров в области страхования.

Кроме того, важно отметить тот факт, что 2006 год для российского рынка страхования характеризуется ростом привлекательности для иностранных инвесторов. В 2006 году было заключено несколько сделок с участием иностранного страхового капитала. С россий-

ской стороны в этих сделках принимали участие крупнейшие страховые компании.

Если рассматривать страховой рынок России в динамике, то можно выделить следующие этапы его развития:

1) Первый этап становления нового российского коммерческого страхования приходится на 1991–1995 гг. Он начался с появлением первых страховых кооперативов и характеризовался взрывным развитием страхового рынка. При этом в России отсутствовала какая-либо правовая база и государственное регулирование страховой деятельности. Только к 1995 году образование Росстрахнадзора как органа государственного регулирования страховой деятельности и принятие первого в истории России Закона «О страховании» изменило ситуацию на страховом рынке. Для этого этапа становления рынка характерно практически полное отсутствие у страховщиков достаточных уставных капиталов и иных собственных средств. Первый этап становления страхования в РФ характеризуется экономической обстановкой эпохи «первоначального накопления капитала» на фоне еще во многом плановой экономики. Однако тенденцией развития страхового рынка уже на первом этапе является начало экстенсивного роста на направлениях, имеющих мало общего с классическим страхованием.

2) Второй этап продолжался примерно с конца 1995 по 2000 год. Для него характерны тенденции, связанные с принятием второй части ГК РФ, совершенствованием

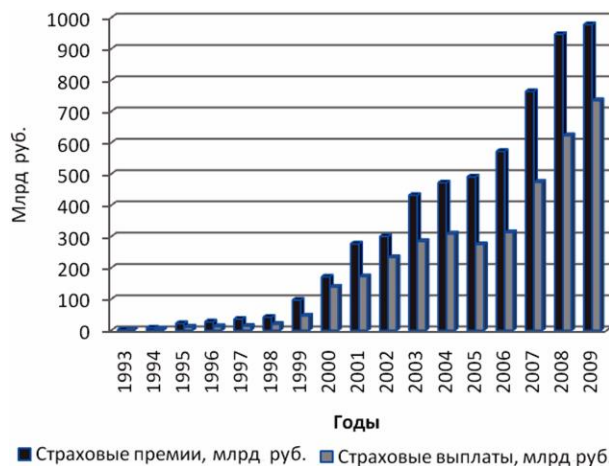


Рис. 1. Динамика страховых премий и страховых выплат в период с 1993 по 2009 гг.

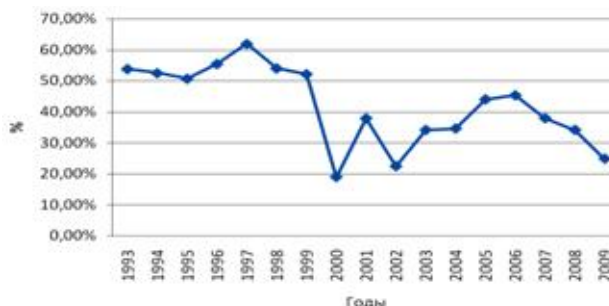


Рис. 2. Рентабельность российских страховых компаний в период с 1993 по 2009 гг.

законодательства в области страховой деятельности. Вместе с тем существовали и определенные проблемы, связанные с отсутствием государственной поддержки развития страхового предпринимательства, с низкой страховой культурой потенциальных страхователей (прежде всего, населения). Наконец, этот период совпал с финансовым кризисом 1998 года, который оказал воздействие на дальнейшее развитие страхового рынка. С одной стороны, платежеспособность и финансовая устойчивость страховых организаций были более чем проблематичными, наметилась тенденция снижения числа страховых фирм. С другой стороны, кризис оказал и позитивное влияние, что нашло отражение в возрастании роли страховых организаций. Начался активный процесс концентрации и централизации капитала страховых компаний.

3) Развитие страхования в РФ на третьем этапе, а именно в 2001–2006 гг., характеризуется следующими моментами: повышение качества и расширение спектра предлагаемых страховых услуг, повышение капитализации страхового рынка, совершенствование налогообложения, регулирование страховых операций в плане перекрытия каналов отмывания доходов, увеличение притока в российскую экономику значительных инвестиционных ресурсов, развитие массовых добровольных видов страхования, усиление государственного страхового надзора.

4) К концу 2006 года рынок страхования в РФ достиг определенной стадии зрелости – стадии выделения компаний, нацеленных на долгосрочную работу с классическими видами страхования, на повышение качества обслуживания клиентов. Для укрепления своих позиций, завоевания конкурентных преимуществ крупные страховые компании развивают сетевые и маркетинговые стратегии, увеличивают стоимость материальных и нематериальных активов. Наблюдается более динамичный рост рынка по мере роста благосостояния населения. Имеет место введение международных стандартов предоставления финансовых услуг. Однако к концу 2008 года мировой финансовый кризис привел к резкому замедлению динамики активов, инвестиций и собственных средств российских страховщиков. Скорее всего, в ближайшие годы также будет наблюдаться тенденция снижения финансовых показателей страховщиков и это приведет к сокращению числа страховых компаний из-за банкротств, слияний и поглощений.

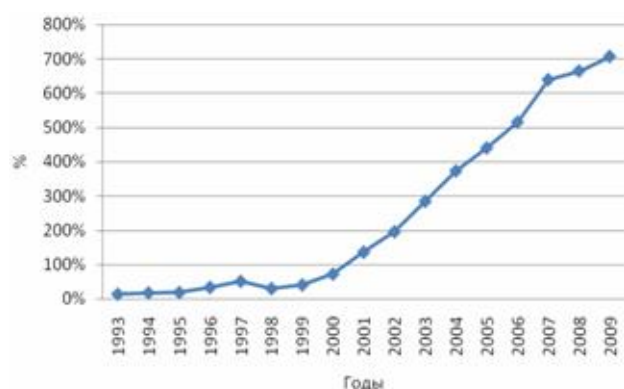


Рис. 3. Динамика изменений активов страховых компаний РФ

Таким образом, если рассматривать российский рынок страхования с точки зрения цикличности и влияния на него различных внешних и внутренних факторов, то целесообразно начать анализ с 2000 года. Развитие страхового бизнеса в РФ в течение всего девяти лет не дает основания выделить какие-либо циклы, в данном случае можно лишь сказать, что сейчас рынок находится на стадии спада, как видно на рис. 2.

Для построения данного графика использовался показатель рентабельности российских страховщиков за 16 лет. Начиная с 2000 года можно выделить два цикла. Учитывая, что показатель страховых премий растет постоянными темпами из года в год, можно сделать вывод, что показатели рентабельности снижаются за счет повышения страховых выплат. Например, в 2002 году по сравнению с 2001 годом на фоне роста страховых премий на 8% страховые выплаты выросли на 69%. Этим обусловлен такой резкий спад рентабельности всего за один год.

Такая же ситуация наблюдается и во втором цикле, только повышение показателя страховых выплат идет более медленными темпами, как и увеличение страховых взносов. При выявлении источников возникновения циклов, а именно спадов показателей рентабельности страхового рынка России, необходимо также определять и причины появления этих источников. С 2003 по 2006 год ситуация в отрасли была стабильная в отношении страховых убытков, это время можно охарактеризовать периодом отсутствия крупных страховых событий.

То, что начало происходить на российском рынке страхования с 2008 года, можно охарактеризовать как политику демпинга страховых компаний в связи с мировым финансовым кризисом, рост фактов мошенничества, обусловленных опять же сложной рыночной ситуацией, крупные страховые события, такие как авария на Саяно-Шушенской ГЭС, увеличение количества массовых страховых случаев. Также к причинам увеличения числа выплат можно отнести то, что страховщики по мере развития страхового бизнеса в России и на фоне разрастающейся конкуренции борются за свой имидж и стараются как можно чаще демонстрировать в денежном эквиваленте суммы возмещенных убытков.

Становление российского страхового рынка происходит на фоне повышения капитализации страховых компаний. В данном случае оценка капитализации проводилась на основе оценки балансовой стоимости активов страховщиков (рис. 3).

Учитывая характер изменений на графике (см. рис. 3), можно сказать, что, несмотря на снижение финансовых показателей страховых компаний, капитализация вплоть до конца 2007 года росла высокими темпами. Лишь в 2008 году из-за финансового кризиса и высокого показателя страховых выплат имело место замедление темпов прироста активов страховщиков, но все-таки рост капитализации продолжается.

Вместе с тем, значимой проблемой российского страхового рынка является все-таки низкий уровень капитализации. Емкость национального страхового рынка является недостаточной, чтобы покрывать имеющиеся и потенциальные риски. Российские стра-



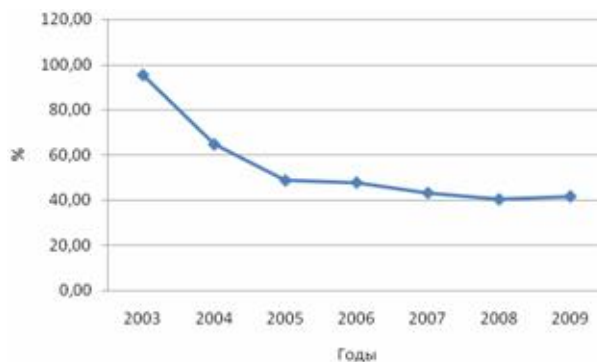
ховые компании вынуждены перестраховывать практически все крупные риски за рубежом.

Чтобы проанализировать и спрогнозировать ситуацию на рынке страхования, необходима оценка не только общего состояния отрасли, но и по видам страхования. В данном случае необходимо выделить обязательные и добровольные виды. Так, проанализируем состояние отрасли в отношении ОСАГО (Обязательное страхование автогражданской ответственности). Анализ начинается с 2003 года, когда закон об обязательном страховании автогражданской ответственности вступил в силу. Анализ динамики развития рынка ОСАГО показал, что рынок находится на стадии спада (рис. 4). И, скорее всего, эта тенденция так и останется отрицательной в ближайшие годы. Это опять же обусловлено увеличением страховых выплат из-за постоянного повышения количества транспорта. Важно помнить, что данный вид страхования является зачастую убыточным для страховых компаний. Поэтому важно развивать добровольные виды страхования, чтобы обеспечить компании сбалансированный страховой портфель.

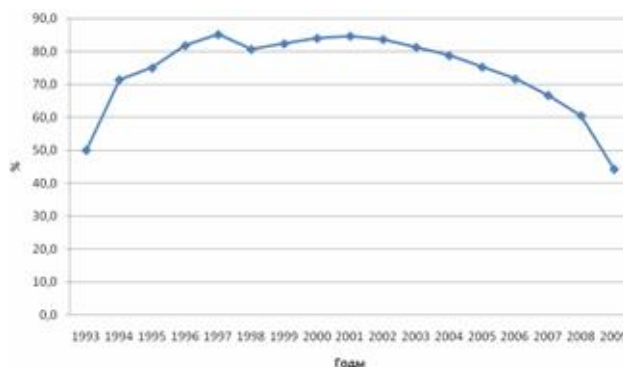
Рынок имущественного страхования в России также характеризуется не только постоянным увеличением страховых премий, но и такими же медленными темпами повышения показателей возмещения убытков. Причем за последние годы убыточность данного вида страхования увеличилась. Если рассмотреть статистику страховых случаев, то получим следующие данные: в 2008 году произошло 200386 пожаров, а, в среднем, ежедневно в Российской Федерации происходит 549 пожаров, при которых гибнет 42 человека и 35 человек получают травмы, огнем уничтожается 166 строений, 27 единиц автотракторной техники и 8 голов скота. Ежедневный материальный ущерб составляет 33 млн руб. Показатели страховых выплат продолжают расти, поэтому говорить о стадии роста страхового бизнеса по данному виду страхования пока не приходится (рис. 5).

Рассмотрев динамику развития страхового российского рынка в целом и по видам обязательного и добровольного страхования, можно сделать вывод, что, начиная с 2000 года есть основания говорить о цикличности данной отрасли. Однако циклы более или менее проявляются при рассмотрении рынка в целом. По видам страхования однозначно выделить определенные циклы невозможно. Анализ рынка страхования в последующие 10 лет, скорее всего, даст более точную картину цикличности. А пока можно лишь констатировать тот факт, что цикличность страхового рынка РФ зависит от количества страховых событий, от их масштабности, от политической обстановки в стране и мире, а также от капитализации страховых компаний.

Проведенная оценка капитализации российских страховщиков с начала становления страхового бизнеса в России не позволила выявить какие-либо циклы, но дает возможность сделать вывод, что положительной тенденцией является постоянный рост активов страховщиков, даже несмотря на снижение финансовых показателей компаний. Но сам по себе низкий уровень капитализации российских страховых компаний по



**Рис. 4. Динамика развития обязательного страхования автогражданской ответственности в РФ**



**Рис. 5. Динамика развития имущественного страхования в РФ**

сравнению с западными страховыми компаниями не позволяет покрывать все риски, принимаемые на страхование. Дальнейшее увеличение активов страховщиков позволит им со временем выровнять свои финансовые показатели, а также повлиять на цикличность страхового рынка и переход его в стадию роста.

**Список литературы**

1. Журавин С.Г. Мировой страховой рынок на пути к глобализации // *Страховое дело*. 2005. № 2. С. 19–24.
2. Журавин С.Г., Теренина Н.В. Цикличность развития страхового рынка как фактор изменения организационной структуры страховых компаний // III Междунар. науч.-практ. конф. «Современные тенденции формирования и функционирования рынка страховых услуг: национальный аспект». Киев: Киев. нац. ун-т им. Т.Г.Шевченко, 2007. С. 3–6.
3. <http://allinsurance.ru>.
4. <http://www.insur-info.ru>.

**Bibliography**

1. Juravin S.G. World Insurance market on the way to globalization // *Insurance business*. 2005. №2. pp. 19–24.
2. Juravin S.G., Terenina N.V. Recurrence of development of insurance market as the factor of change for an insurance company organization structures // III International scientific-practical conference "Current trends of insurance market forming and functioning: national aspects". Kiev: Kiev State University named after T.G. Shevchenko, 2007. P. 3–6.
3. <http://allinsurance.ru>.
4. <http://www.insur-info.ru>.

УДК 347.1

Субботина Е. В.

## КРИТЕРИИ УСТАНОВЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СУБЪЕКТИВНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ПРАВ

Пределы осуществления субъективных прав в механизме реализации прав выполняют определенные задачи [1]: 1) ограничивают процесс реализации возможностей, заложенных в содержании гражданского права, в целях удовлетворения потребностей всех субъектов отношений; 2) служат средством, обеспечивающим способность осуществления субъективных прав, так как сдерживают антиобщественные и негативные проявления осуществления прав со стороны контрагентов в правоотношении; 3) стимулируют поведение управомоченного лица под страхом возможного отказа со стороны государства в защите его интересов; 4) выступают элементом позитивной ответственности субъекта права в его отношениях с государством и отдельными участниками гражданского оборота, в силу обязанности лица соотносить свое поведение с установленными в нормах границами.

Данная категория позволяет обеспечить предсказуемость правового регулирования и его формальную определенность, поскольку, вступая в правоотношения, субъект имеет право рассчитывать на то, что в тех случаях, когда он честно и добросовестно относится к своим контрагентам, выполняет возложенные на него права и обязанности, он сможет ожидать такого же поведения от своих контрагентов. Субъект должен иметь возможность ждать от контрагентов такого поведения, которое он сам бы мог одобрить. В данном случае не следует бояться проявления субъективного усмотрения. Любой субъект, вступая в правоотношения, знает установленные правила своего должного поведения и может соотносить с ними те действия (бездействие), которые он выбирает в качестве варианта осуществления принадлежащих ему субъективных прав.

Правовые ограничения необходимо выявлять при установлении конкретных интересов субъектов и применительно к их субъективным правам. При осуществлении субъективных гражданских прав существуют два уровня ограничений. На первом уровне устанавливаются пределы права: субъект определяет, может ли он вступать в правоотношения, есть ли у него право на совершение конкретных действий, которые будут составлять содержание субъективного права. При установлении данных пределов субъект руководствуется принципами свободы договора, неприкосновенности собственности, беспрепятственности осуществления прав и т.п. При положительном ответе на данный вопрос, при осуществлении возникшего субъективного права (субъективной обязанности) субъект выбирает способ, форму, порядок реализации этого права. Таким образом, на этом этапе вступает в силу второй уровень ограничений – пределы осуществления субъективных прав. Подтверждение этому находим в формулировке п. 1 ст. 9 ГК РФ: частные субъекты осуществляют при-

надлежащие им права по своему усмотрению.

В тех случаях, когда конкретный вариант поведения укладывается в рамки абстрактного типа, предусмотренного законом, нельзя говорить о нарушениях пределов права. Если лицо нарушает какой-либо нормативный акт, это означает, что оно нарушает не пределы осуществления своего права, а пределы самого права, и нужно применять тот нормативный акт, требования которого оказались нарушенными. Нарушение же пределов осуществления права возможно только в условиях, когда формально не нарушается норма, определяющая данное субъективное право, а конкретный вариант поведения противоречит назначению субъективного права.

Пределы – это установленные законом ограничения, при которых субъект, осуществляя свое субъективное право, может выбирать такие способы его реализации и средства достижения своих интересов, при которых возможно достижение интереса управомоченного субъекта без возникновения неблагоприятных последствий для его контрагента. Целью ограничения осуществления субъективных прав является создание условий для удовлетворения интересов контрагентов.

Таким образом, пределы осуществления субъективного гражданского права – это ограничение свободы усмотрения в процессе выбора конкретного варианта поведения управомоченного лица при осуществлении им своего субъективного права в форме правоупользования. Указанные в содержании ст. 10 ГК РФ формы действий управомоченного субъекта являются отдельными самостоятельными способами осуществления субъективного гражданского права – способами реализации права в форме пользования.

Пределы, как границы, требуют своего обозначения. Считаем, что субъективные гражданские права не могут быть ограничены до такой степени, чтобы страдала имущественная масса управомоченного лица [2].

Злоупотребление – это неумеренное воспользование чем-либо, употребление в большем, чем допустимо, количестве [3]. Злоупотребление субъективным гражданским правом – пользование принадлежащим управомоченному субъекту правом в количестве большем, чем необходимо для реализации управомоченным субъектом своего интереса.

Применение исследуемых категорий невозможно без установления критериев, на основании которых правоприменительные органы могут квалифицировать конкретное поведение субъекта как нарушающее пределы осуществления данного права. За основу считаем возможным принять критерии ограничения конституционных прав, исходя из следующего. Конституционное и гражданское право очень интенсивно взаимодействуют между собой. Процесс воздействия конституционного права на гражданское Г.А. Гаджиев назвал

«конституционализацией гражданского права» [4], поскольку именно в арсенале конституционного права есть определенный инструментарий, которого нет в гражданском праве. Исследуя принцип добросовестного осуществления субъектами гражданского права прав и обязанностей в соответствии с их назначением в обществе, Г.А. Свердлык [5] исторически рассматривает его как гражданско-правовой. Факт закрепления отраслевого принципа в Конституции поднял его до уровня конституционных принципов. Именно инструментарием установления ограничений осуществления прав, предусмотренным п. 3 ст. 17 и п. 3 ст. 55 Конституции РФ, следует воспользоваться при определении пределов осуществления гражданских прав.

Пределы осуществления конституционных прав и свобод являлись предметом исследования А.А. Астраханя [6] и оценены им как определенная совокупность критериев и ориентиров правомерного поведения граждан, фиксирующих границы, рамки реализуемых им прав, в соответствии с требованиями которых граждане обязаны образовывать свои действия. Пределы реализации конституционных прав и свобод, включающие нормы, закрепляющие границы использования прав и свобод посредством указания на цели и принципы осуществления прав, возложения юридических обязанностей и установления запретов, дополняют само содержание этих прав. Действительно, субъективное право лица включает не только возможность избрать определенный вариант поведения, но и указывает на его определенные границы. Мера возможного поведения, заложенная в субъективном праве, предполагает не только свободу выбора субъектом варианта своего, они являются объектом регулирования не только управомочивающей нормой, но и предписаний, устанавливающих обязанности субъекта. Таким образом, Конституция РФ, являясь законом, содержащим в себе основные гарантии осуществления имущественных и личных неимущественных прав граждан, регулируемых гражданским правом, устанавливает, в то же время, и границы (пределы) осуществления гражданских прав, которые обязаны к соблюдению всеми управомоченными субъектами.

При квалификации действий субъектов в качестве нарушения пределов осуществления субъективных гражданских прав необходимо последовательно совершить следующие действия.

1) Установить, что лицо действительно обладает субъективным правом. При этом исходим из того, что субъективное право определяется как граница (мера) возможного поведения участника конкретного гражданского правоотношения, обеспеченная возложением определенных обязанностей на других участников этого же правоотношения. Но субъективное право – это не только обеспеченная возможность поведения, но и ограниченная определенными рамками возможность [7].

2) Дать оценку конкретным действиям субъекта. Так, например, ФАС Уральского округа в постановлении от 15.05.2000 г. по делу № Ф09-602/2000-ГК отметил, что злоупотребление правом предполагает такое поведение лица, которое ведет к нарушению прав и интересов других лиц. Вместе с тем, действия арендодателя по повы-

шению арендной платы основаны на законе и, следовательно, не могут оцениваться как злоупотребление правом. Вывод суда о возможности многократного увеличения ставок в будущем носит абстрактный характер и к рассматриваемому спору отношения не имеет.

3) При оценке конкретного поведения управомоченного субъекта следует учитывать такой критерий, как его добросовестность. Полагаем, что основной, отправной точкой для установления границы, за которую субъект при осуществлении своих прав выходить не может, будет являться его добросовестность. Законодатель не сможет обеспечить подчинение личных интересов субъекта интересам его контрагентов. Мы не единожды ссылались на закрепленные ч. 1 п. 2 ст. 1 и п. 1 ст. 9 ГК РФ своеобразные антиподы этого нравственно-го завета. Соглашаемся с И.Б. Новицким в том, что «даже осуществляя несомненный свой интерес, управомоченный должен все-таки соотноситься с чужими интересами, щадить их и в тех случаях, когда чужой интерес оказывается слишком значительным, ограничивать свое усмотрение в осуществлении права; другими словами, гражданское право считается, между прочим, с принципом социальной солидарности, господствующей над всеми отношениями людей, живущих в обществе... даже правомерные действия допустимы лишь в известных границах и формах в соответствии с общим положением, что добросовестность в современной жизни есть общее требование оборота» [8].

В процессе анализа правовых отношений следует обращать внимание не только на букву закона и договора, но и на их смысл, учитывать встречные притязания контрагентов, то, что, вступая в правоотношения, каждый из субъектов реализует свой собственный интерес. Закон и правоприменительные органы не могут установить приоритет защиты интересов одного контрагента перед другим.

Новицкий И.Б. установил следующий этимологический смысл доброй совести [9]: она включает в себя знание о другом, о его интересах; знание, связанное с известным доброжелательством; элемент доверия, уверенность, что нравственные основы оборота принимаются во внимание, что от них исходит каждый в своем поведении. Данный принцип выражает связанность, согласованность отдельных частных интересов, а также частного интереса с интересом целого; подчинение каждого равномерно идее общего блага, поскольку она проявляется или отражается на отношении между данными лицами. Как отметил Г.А. Гаджиев [10], добросовестность как объективное мерило – идеальные, желаемые правоотношения, в рамках которых их участники придерживаются такого поведения, которое не расходится с социальным идеалом. Добросовестность как правовой принцип выступает в роли общего правового регулятора, необходимость которого связана с тем, что: а) при совершении правовых действий, направленных на достижение субъективного интереса, необходимо учитывать такую объективную реальность, как интересы контрагента, равно как и публичные интересы; б) принцип добросовестности можно рассматривать как проявление принципа справедливости, поскольку по-

требность в его применении можно рассматривать как естественный рефлекс разумного правоприменителя на пробельность в праве либо на правовой формализм.

4) Требуется определить, вторгается ли управомоченное лицо в ходе осуществления своего субъективного права в сферу прав других лиц. Всякое действие, каким бы то ни было образом нарушающее чужие права, считается действием недозволенным. Деятельность каждого лица строго ограничивается сферой принадлежащих ему прав: только в этих пределах действия дозволены, хотя бы они имели невыгодные для кого-либо последствия. Напротив, всякое действие, выходящее из этих пределов и вступающее в сферу прав другого лица, есть действие недозволенное [11].

5) Необходимо в каждом случае устанавливать возможные последствия действий управомоченного, а именно, какие возникнут для сторон правоотношения последствия удовлетворения требований о защите принадлежащих истцу прав. Если в результате защиты прав управомоченного лица произойдет уменьшение имущественной массы контрагента (третьего лица) либо иным образом будут нарушены его права и интересы, но при этом действительный интерес управомоченного, ради удовлетворения которого он вступил в правоотношения, не пострадает, действия управомоченного субъекта имеют характер нарушения установленных пределов осуществления субъективных прав. Исходя из этого, максимальным пределом ограничения возможностей прав управомоченного лица при осуществлении им своего субъективного права будет выявление его действительного, достойного защиты интереса [12].

Российской организацией к канадской фирме был предъявлен иск в связи с неисполнением обязательств по договору поставки. В соответствии с условиями договора истец перевел ответчику в качестве 100-процентной предоплаты стоимость товаров, согласованных сторонами. Ответчик был обязан осуществить поставку в течение 180 дней с даты платежа, а в случае непоставки в тот же срок вернуть истцу авансовый платеж. Ответчиком в указанный срок были поставлены товары стоимостью 5% от суммы авансового платежа. Сумма предоплаты возвращена не была. Ответчик потребовал доплатить ему еще примерно 10% уплаченной истцом суммы, ссылаясь на возникшие у него дополнительные затраты, заявив, что он задерживает отгрузку товара до производства истцом потребованной ответчиком доплаты. Состав арбитража пришел к выводу, что в силу договора ответчик не был вправе задерживать отгрузку товара. Действия ответчика, даже если бы он обладал правом на задержку отгрузки, противоречили бы принятым в международной торговле принципам добросовестности и честной деловой практики и носили бы характер злоупотребления правом, что прямо противоречит ст. 10 ГК РФ. Ответчик не произвел отгрузки товара на сумму, превышающую примерно в 9 раз ту, в отношении которой им выдвинуто требование о доплате [13].

При подобной оценке следует исходить из того, что у контрагента могут возникнуть неблагоприятные последствия в широком значении: он может понести материальные потери, физические или нравственные

страдания, различные неудобства [14].

б) При оценке конкретного поведения управомоченного субъекта следует установить его действительный интерес, для реализации которого он вступает в правоотношения [15]; цель, к достижению которой стремится субъект; направленность действий управомоченного на реализацию именно той потребности, для удовлетворения которой он был наделен данным правом [16]. При этом исходим из того, что основной целью является удовлетворение собственных интересов, реализация сформировавшейся у субъекта воли, внутреннего побуждения.

Но эта цель может:

а) нарушать основы правопорядка или сложившиеся в обществе представления о нравственности.

Так, ОАО «В.» является единственным акционером ЗАО «Л.». Своими действиями оно привело к тому, что в течение года основные средства ЗАО «Л.» уменьшились наполовину, активы предприятия уменьшились на 9000000 рублей, а кредиторская задолженность возросла, после чего приняло решение о его ликвидации. В целом эти действия повлекли уменьшение стоимости акций ЗАО и впоследствии принятие решения о его ликвидации с прекращением осуществления основной деятельности.

ФАС Волго-Вятского округа в постановлении от 29.06.2005 г. № А43-30803/2004-2-1004 установил, что подобные действия ОАО «В.» не соответствуют принципу добросовестного и разумного осуществления прав, они квалифицированы как злоупотребление правом на основании ст. 10 ГК РФ, поэтому в удовлетворении исковых требований о признании недействительным договора купли-продажи акций ЗАО «Л.» и применении последствий его недействительности в виде обязанности ОАО «В.» передать ответчику 975 обыкновенных акций ЗАО «Л.», а ответчику возратить стоимость акций в сумме 3900000 рублей отказано;

б) быть достигнута другим путем, который не влечет неблагоприятных последствий для контрсубъектов, является более простым и разумным.

По заявлению ООО «НЭКС» был инициирован процесс банкротства в отношении ЗАО «Н.», имеющего просроченную кредиторскую задолженность по договору, в котором оно выступало поручителем перед ООО «НЭКС» за исполнение частным предпринимателем обязательства по оплате поставленных нефтепродуктов. Впоследствии договор поручительства был признан недействительным. Рассматривая спор, ФАС Волго-Вятского округа в постановлении от 29.11.2002 г. по делу № А43-1728/02-18-64 установил злоупотребление правом со стороны ООО «НЭКС». Обращаясь с заявлением о признании ЗАО «Н.» банкротом по задолженности, не являющейся значительной для предприятия, занимающегося автозаправочным бизнесом, ООО не использовал меры по принудительному взысканию суммы вне процедуры банкротства. Это свидетельствует о намерениях кредитора ликвидировать должника, а не удовлетворить свое материальное требование;

в) преследовать реализацию незначительного интереса по сравнению с размером причиняемых неблагоприятных последствий.

гоприятных последствий.

Так, бенефициар обратился с иском к организации – гаранту. Гарант отказался от выплаты суммы по гарантии, указав, что оплата товаров бенефициару была произведена третьей организацией по просьбе принципала и, следовательно, обеспечиваемое обязательство исполнено. Бенефициар повторно потребовал оплаты от гаранта и после отказа последнего от платежа обратился с иском в арбитражный суд. Свои требования бенефициар основывал на положениях п. 2 ст. 376 ГК РФ, согласно которому повторное требование бенефициара подлежит удовлетворению гарантом. Суд установил, что бенефициар, являясь кредитором в основном обязательстве, уже получил оплату за поставленный принципалу товар. Факт оплаты товара за счет средств банковского кредита не отрицал и должник по основному договору (принципал). При таких условиях суд расценил действия бенефициара как злоупотребление правом и на основании ст. 10 ГК РФ в иске отказал [17].

В силу п. 1 ст. 1 ГК РФ необходимым условием применения того или иного способа защиты гражданских прав (ст. 12 ГК РФ) является обеспечение восстановления нарушенного права. Лицо, предъявляя иск о защите субъективного права, должно обосновать подачу иска нарушением конкретного права, а также указать, каким образом применяемый способ защиты способен привести к восстановлению его прав.

#### Список литературы

1. Поротикова О.А. Проблема злоупотребления субъективным гражданским правом. М., 2007. С. 78.
2. Решение Арбитражного суда Иркутской области от 13.08.2008 г. по делу № А19-7815\08-31.
3. Словарь русского языка: в 4-х т. Т. 1. М., 1981. С. 614.
4. Гаджиев Г.А. Соотношение публичного и частного права / Каким быть законам XXI века? По материалам научно-теоретической конференции, посвященной 75-летию ИЗиСП // Журнал российского права. 2001. № 3. С. 17–18.
5. Свердлык Г.А. Принципы советского гражданского права. Красноярск, 1985. С. 114–115.
6. Астрахань А.А. Гарантии и пределы осуществления конституционных прав и свобод советских граждан: автореф. дис. ... канд. юр. наук. М., 1986. С. 14–17.
7. Певзнер А.Г. Понятие и виды субъективных гражданских прав // Вопросы гражданского права. Ученые записки. Вып. X. М., 1960. С. 5–6.
8. Новицкий И.Б. Принцип доброй совести в проекте обязательственного права // Вестник гражданского права. 2006. № 1. Т. 6. С. 167–168.
9. Новицкий И.Б. Принцип доброй совести в проекте обязательственного права // Вестник гражданского права. 2006. № 1. Т. 6. С. 131.
10. Гаджиев Г.А. Конституционные принципы добросовестности и недопустимости злоупотребления субъективными правами // Государство и право. 2002. № 7. С. 58.
11. Вербловский Г. Вознаграждение за вред, причиненный недозволенными действиями // Право. 1900. № 6. С. 318–319.

12. Радченко С. Понятие и сущность злоупотребления субъективным гражданским правом // Журнал российского права. 2005. № 11. С. 50–51.
13. Решение Международного коммерческого арбитражного суда при Торгово-промышленной палате РФ от 6.09.2002 г. № 217/2001 / Розенберг М.Г. Практика МКАС при ТПП РФ // Юрист. 2002. № 39. С. 6–7.
14. Решение Арбитражного суда Иркутской области от 13.08.2008 г. Дело № А19-7815/08-31 // Архив Арбитражного суда Иркутской области.
15. Пашин В. Выявление злоупотребления // Юрист. 2005. № 5.
16. Малиновский А.А. Злоупотребления правом в экономической сфере: проблемы квалификации // Право и экономика. 2007. № 9.
17. Обзор практики разрешения споров, связанных с применением норм Гражданского кодекса Российской Федерации о банковской гарантии, п. 4: Информационное письмо ВАС РФ от 15.01.1998 г. № 27 // Вестник ВАС РФ. 1998. № 3.

#### Bibliography

1. Porotikova O. The problem of abuse of subjective civil right. M., 2007. P. 78.
2. The decision of the Arbitration Court of Irkutsk region dated 13.08.2008, the case number A19-7815\08-31.
3. Russian dictionary: In 4 Volumes V. 1. 1981. P. 614.
4. Haiiyev G.A. Value of public and private law / What will the laws be like in the XXI century? On the basis of materials of scientific and theoretical conferences, devoted to the 75th anniversary of IZiSP // Journal of Russian law. 2001. № 3. P. 17–18.
5. Sverdlyk G.A. The principles of Soviet civil law. Krasnoyarsk, 1985. P. 114–115.
6. Astrakhan A.A. Guarantees and limits of implementation of the constitutional rights and freedoms of Soviet citizens. Abstract of the candidate theses. M., 1986. P. 14–17.
7. Pevzner A.G. Definition and types of subjective civil rights. Issues of civil law. Proceedings. Volume X. M., 1960. P. 5–6.
8. Novitsky I.B. The principle of good will in the draft law of obligations // Bulletin of civil law. 2006. № 1. Vol. 6. P. 167–168.
9. Novitsky I.B. The principle of good will in the draft law of obligations // Bulletin of civil law. 2006. № 1. Vol. 6. P. 131.
10. Haiiyev G.A. Constitutional principles of integrity and non abuse of subjective rights // State and Law. 2002. № 7. P. 58.
11. Verblovsky G. Compensation for damage caused by illicit action // Law. 1900. № 6. P. 318–319.
12. Radchenko S. Conception and substance of abuse of subjective civil rights // Journal of Russian law. 2005. № 11. P. 50–51.
13. The decision of the International Commercial Arbitration Court at the Chamber of Commerce, the RF dated 6.09.2002 № 217/2001 / Rosenberg, MG The practice of ICAC at CCI RF // Lawyer. 2002. № 39. P. 6–7.
14. The decision of the Arbitration Court of Irkutsk region dated 13.08.2008, the case number A19-7815/08-31 // Archive of Arbitration Court of Irkutsk Region.
15. Pashin B. Identification of abuse / Lawyer. 2005. № 5.
16. Malinowski A.A. Abuse of law in the economic field: problems of qualification // Law and Economics. 2007. № 9.
17. Review of dispute settlement practice relating to the application of provisions of the Civil Code of the Russian Federation on the bank guarantee, item 4: Newsletter of the RF dated 15.01.1998, № 27 // Bulletin of the RF. 1998. № 3.

## РЕФЕРАТЫ

## РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.32.013.3

**Гавришев С. Е., Бурмистров К. В., Кидяев В. А.** Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений.

В статье рассматривается изменение вида транспорта с автомобильного на автомобильно-конвейерный на этапе доработки карьера, что позволяет не только отработать нижние горизонты карьера с более низкими затратами на транспортирование, но и в последующем более эффективно использовать карьерное пространство для вывоза законтурных запасов карьера на поверхность. Приведены результаты исследований по обоснованию производительности карьера – подземного рудника, при котором использование введенного автомобильно-конвейерного транспорта является экономически эффективным.

Ил. 3. Библиогр. 1 назв.

**Ключевые слова:** комбинированная разработка, доработка карьера, конвейерный подъемник, экономическая эффективность.

УДК 622.271:622.17

**Мельников И.Т., Суров А.И., Шелковникова А.А.** Полевые исследования донных отложений прудковой зоны восточного хвостохранилища ОАО «Ванадий» (Качканарский ГОК).

Приведены результаты полевых исследований донных отложений прудковой зоны хвостохранилища ОАО «Ванадий» (Качканарский горно-обогатительный комбинат). По мере удаления от уреза воды средневзвешенная крупность хвостов донных отложений снижается от 0,04–0,124 до 0,011–0,0152 мм в районе водосбросных сооружений. Пылеватые хвостовые отложения, супеси и суглинки намывные имеют интервал изменения плотности скелета соответственно равный 1,65–1,74, 1,46–1,58, 1,26–1,33 т/м<sup>3</sup>. На глубине 7 м плотность скелета суглинков намывных составляет 1,55–1,62 т/м<sup>3</sup>. Коэффициент фильтрации материала прудковой зоны изменяется от  $1 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  см/с ( $8,6 \cdot 10^{-3}$ – $4,3 \cdot 10^{-4}$  м/сут), а низкая проницаемость отложений оказывают существенное влияние на режим фильтрации и устойчивость ограждающих дамб.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 6 назв.

**Ключевые слова:** донные отложения, прудковая зона, хвостохранилища, фильтрация, устойчивость.

УДК 622.27

**Паук Л.Г., Джисова А.К.** Определение рациональных способов отбойки.

Применение скважин большого диаметра (100–150 мм) на месторождениях с крепкими рудами по-

зволяет за счет увеличения ЛНС увеличить выход руды с 1 п.м скважины.

Табл. 1. Библиогр. 12 назв.

**Ключевые слова:** отбойка руды, показатели отбойки руды в «зажиме» скважинами различного диаметра, вертикальные слои, системы разработки.

УДК 622.261.27:622.023.623

**Хлусов А.Е.** К определению рациональной толщины бетонной крепи горизонтальных выработок, пройденных в неустойчивых породах.

В работе предлагается инженерный метод расчета бетонной монолитной крепи горизонтальных выработок, пройденных в сложных горно-геологических условиях, основанный на использовании зависимостей механики с тержневых систем. С целью обеспечения оптимальной толщины крепи контур выработки должен быть очерчен по определенной закономерности, а размеры сечения выработки связаны некоторым соотношением с действующими нагрузками.

Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

**Ключевые слова:** горизонтальная горная выработка, неустойчивые породы, монолитная бетонная крепь.

### МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 662:669.162.266

**Сибгатуллин С.К., Майорова Т.В.** К расчету показателей хода доменного процесса при повышенном общем перепаде давления газов.

Представлены зависимости для определения расхода и давления дутья, степени прямого восстановления, исходя из газодинамических условий – газопроницаемости шихты, допустимой степени уравнивания шихты подъемной силой газового потока.

Получены аналитические выражения для расчета количества совершаемой работы газовым потоком по преодолению сопротивления шихты и работы образования газов при протекании реакций восстановления углеродом.

Библиогр. 7 назв.

**Ключевые слова:** доменный процесс, перепад давления газов, расход дутья, давление дутья, газопроницаемость, коэффициент сопротивления шихты, степень прямого восстановления, работа газового потока, показатели доменной плавки.

УДК 621.746.5.047

**Казаков А.С., Столяров А.М.** Влияние внутреннего охлаждения роликов ЗВО МНЛЗ на теплоотвод от слябовой непрерывно-литой заготовки.

Определен диапазон потерь тепла слябом вследствие внутреннего охлаждения роликов водой. В верхней

половине вертикального участка выявлены зависимости тепловых потерь от ширины сляба и скорости его вытягивания.

Ил. 3. Табл. 1.

**Ключевые слова:** сляб, теплоотвод, ролики, внутреннее охлаждение.

УДК 621.74.045

**Чернов В.П., Селиванова Е.А. Исследование свойств огнеупорных суспензий, используемых для керамических форм при литье по выплавляемым моделям.**

В статье показано, что, регулируя уровень кислотности суспензии, можно регулировать и время ее живучести. Следовательно, необходим такой огнеупорный наполнитель, при добавлении которого уровень рН сдвигался бы в область твердения суспензии. При этом наполнитель не должен содержать оксиды железа и не претерпевать полиморфных превращений при нагреве и прокаливании. А также должен позволить исключить вакуумно-аммиачную сушку, что, несомненно, приведет к улучшению экологической обстановки на предприятии

Табл. 3. Библиогр. 5 назв.

**Ключевые слова:** время живучести, керамическая форма, наполнитель, суспензия, катализатор, твердение, пылевидный материал, уровень кислотности.

#### ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.777:669.231.7

**Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Биронт В.С., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Столяров А.В., Усков И.В., Шубаков А.П., Бабушкин О.В. Исследование технологии получения проволоки из сплавов на основе золота.**

Изложены результаты экспериментальных исследований процесса получения проволоки из новых сплавов на основе золота 585 пробы. Приведены режимы сортовой прокатки и волочения, а также структура и свойства литых и деформированных полуфабрикатов из этих сплавов. Показана эффективность применения новых сплавов и технологий их обработки с позиций повышения выхода годной продукции.

Ил. 4. Табл. 1.

**Ключевые слова:** ювелирный сплав, модифицирующие добавки, лабораторные исследования, опытно-промышленный эксперимент, выход годного.

УДК 621.73

**Е.Б. Медведев Е.Б., Барышников М.П. Закономерности влияния зон затруднённой деформации на формоизменение биметаллических композиций при холодном прямом выдавливании.**

С помощью системы моделирования Deform 2D исследовано влияние зон затруднённой деформации на характер пластического формоизменения слоёв биметаллических композиций при холодном прямом выдавливании. Показано, что зоны затруднённой деформации, возникающие при определённых условиях деформирования, существенным образом изменяют характер

течения материалов биметаллической композиции, что приводит к формированию различных геометрических параметров биметаллического изделия.

Ил. 8. Библиогр. 6 назв.

**Ключевые слова:** биметаллическая композиция, зона затруднённой деформации, пластическое формоизменение.

#### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.745.435: 621.745.55: 544.016.5

**Панов А.Г. Зависимость ударной вязкости литых Fe-Mg-Ni модификаторов от морфологии микроструктуры.**

Объектом исследования являются литые Fe-Ni-Mg модификаторы высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Цель работы – разработка способа уменьшения ударной вязкости для увеличения дробимости литых Fe-Ni-Mg модификаторов.

В работе исследовано влияние модифицирования на микроструктуру и ударную вязкость литых Fe-Ni-Mg модификаторов. В результате исследований получены количественные характеристики микроструктуры и ударной вязкости. Выявлено, что поверхностно-активные элементы значительно измельчают микроструктуру и меняют морфологию структурных составляющих лигатур таким образом, что их ударная вязкость уменьшает в 2 раза.

Применение модифицирования Fe-Ni-Mg расплавов решает важную производственную и научно-практическую проблему – расширение области применения литых Fe-Ni-Mg лигатур для модифицирующей ковшевой обработки малых объемов расплава и внутриформенного модифицирования за счет возможности получения более мелких фракций лигатур и снижения энергоёмкости их дробления.

Ил. 5. Табл. 3. Библиогр. 5 назв.

**Ключевые слова:** модифицирующая лигатура, чугуны с шаровидным графитом, микроструктура, фазовый состав, дробимость, ударная вязкость.

УДК 539.4

**Казанцев А.Г., Рымкевич А.И., Силаев А.А., Вопилкин А.Х., Кононов Д.А., Тихонов Д.С. Сравнительный анализ характеристик механических свойств и трещиностойкости металла годных и забракованных по прозвучиваемости осей колесных пар.**

В работе выполнено комплексное экспериментальное исследование и приведен сравнительный анализ характеристик механических свойств при растяжении, ударной вязкости, статической, динамической и циклической трещиностойкости металла годных и забракованных по прозвучиваемости осей. Построены температурные зависимости статической и динамической вязкости разрушения в форме мастер-кривой. Установлены параметры диаграмм Пэриса и значения пороговой величины коэффициента интенсивности напряжений.

Ил. 9. Табл. 2. Библиогр. 10 назв.

**Ключевые слова:** оси колесных пар, ультразвуковой контроль, прозвучиваемость, механические свойства, ударная вязкость, трещиностойкость, динамическое разрушение, мастер-кривая, вязкость разрушения, уравнение Пэриса.

## НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 538.95

**Каменева А.Л. Установление корреляционной связи процесса формирования пленок на основе Ti-Al-N методом электродугового испарения с процессами, протекающими на поверхности испаряемых катодов.**

Изучены процессы, протекающие в приповерхностных слоях испаряемого материала титанового и алюминиевого катодов в условиях электродугового испарения. Установлено существование структурной наследственности процессов формирования пленки на основе Ti-Al-N, испарения материала в зоне эрозии катода и зависимость последних от температурных условий.

Ил. 2. Библиогр. 2 назв.

**Ключевые слова:** процессы испарения, морфологические особенности, зона эрозии катодов, пленки на основе Ti-Al-N, электродуговое испарение.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 539.374.2

**Басин М.Е., Бояршинов М.Г., Колмогоров Г.Л. Методика моделирования упругопластического деформирования длинномерного изделия в режиме гидродинамического трения.**

Разработана методика математического моделирования совместного течения вязкого смазочного слоя и деформирования многослойного изделия при волочении. Для описания поведения твердого деформируемого тела применяются теория пластического течения с линейным анизотропным упрочнением. Для определения давления в смазочном слое используется подход О.М. Белоцерковского. Решены задачи упругопластического деформирования ряда изделий в режиме гидродинамического трения.

Ил. 9. Библиогр. 23 назв.

**Ключевые слова:** волочение, упругопластическое нагружение, вязкое течение, метод конечных элементов, математическое моделирование.

УДК 517.55

**Беланков А.Б., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Трехуровневая модель формирования структуры металла при кристаллизации с применением сеточных клеточных автоматов.**

Разработаны оригинальная структура и правила клеточного автомата, в котором присутствует взаимодействие дальнего порядка. Метод применен для моделирования процесса формирования микроструктуры в металлическом расплаве при кристаллизации. Проведены вычислительные эксперименты путем решения ряда тестовых задач. Полученные результаты соответствуют экспериментальным данным.

Ил. 5. Библиогр. 8 назв.

**Ключевые слова:** структура металла, кристаллизация, трехуровневая модель, клеточные автоматы.

УДК 531.43/46

**Анцупов А.В., Анцупов А.В.(мл), Слободянский М.Г., Губин А.С., Русанов В.А., Чекалин И.Ю., Анцупов В.П. Прогнозирование надежности трибосопряжений на основе термодинамического анализа процесса трения.**

Разработана физико-вероятностная модель параметрической надежности трибосопряжений и аналитическая методика прогнозирования вероятности их безотказной работы и гамма-процентного ресурса. С этой целью на основе термодинамического анализа процесса трения, как процесса двойственной молекулярно-механической природы, выведены теоретические зависимости для определения скорости изнашивания элементов пар трения скольжения.

Представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных по изнашиванию образцов из различных материалов на машине трения, подтверждающее адекватность теоретических разработок.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 10 назв.

**Ключевые слова:** надежность, термодинамика, трение, износ, прогнозирование, ресурс.

УДК 622.673.8

**Чернецкая И.Е., Исаев Е.А. Вероятностная модель увеличения массы гранул.**

Проанализирован процесс гранулообразования сыпучих материалов. Рассмотрена вероятность внедрения комкуемой частицы в комкующую за счет заполнения пустот и ее механического зацепления за счет капиллярных сил взаимодействия. Также рассмотрена вероятность отрыва (удержания) частицы на поверхности комкующей гранулы. Предложенная модель динамической комкуемости тонкоизмельченных материалов с учетом условий гранулообразования может быть использована при математическом моделировании процесса гранулирования сыпучих железорудных материалов.

Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

**Ключевые слова:** гранулообразование, сыпучие материалы, динамическая комкуемость.

## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ. ПРАВО

УДК 330.3

**Абилова М.Г. Активизация репродуктивного труда в России: методы оценки эффективности процесса и их реализация.**

В статье рассмотрены подходы к оценке процесса активизации репродуктивного труда. Возможности каждого подхода проиллюстрированы результатами эмпирических исследований. Делается вывод о необходимости разработки в стране репродуктивной политики.

Библиогр. 6 назв.

**Ключевые слова:** репродуктивный труд, активизация репродуктивного труда, человеческий капитал, репродуктивная политика



УДК 331.48/369.04:658.1

**Немцев В.Н., Дерябин А.В., Дерябина А.В. Неравномерность текущих доходов как фактор риска развития современного предприятия.**

Исследованы проблемы развития государственных унитарных предприятий, причины низкой эффективности их функционирования. Выделены факторы внешней и внутренней среды предприятий, определяющие уровень их деловой активности.

Представлен механизм управления устойчивым развитием предприятия, результаты XYZ-анализа объемов текущих доходов предприятия. Рассмотрена роль инноваций в системе развития современного предприятия.

Ил. 1. Табл. 8. Библиогр. 3 назв.

**Ключевые слова:** государственное унитарное предприятие, развитие, факторы внешней и внутренней среды, деловая активность, механизм управления устойчивым развитием предприятия, текущие доходы, XYZ-анализ, инновации.

УДК 332.135:005.52

**Поликарпова М.Г. Экономико-математический анализ интеграционной деятельности секторов экономики РФ.**

В статье проанализированы результаты экономико-математического анализа интеграционной деятельности секторов экономики РФ. На основе представленного анализа возможно качественное формирование инфраструктуры рынка корпоративного контроля и выработка эффективных мер государственной политики в сфере отраслевого управления интеграционной активностью.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 6 назв.

**Ключевые слова:** интеграция, интеграционная деятельность, отраслевое распределение, слияния и поглощения (M&A), структурные изменения.

УДК 368.031.6

**Журавин С.Г., Иванушкина И.С. Особенности цикличности страхового рынка Российской Федерации.**

В статье анализируется цикличность страхового рынка на основе оценки динамики финансовых показателей страховой отрасли Российской Федерации. Были использованы показатели рентабельности страхового рынка России, показатели страховых выплат и страховых премий. В ходе исследования были выявлены факторы, влияющие на цикличность страхового рынка, а также определены этапы его развития. Также использовалась методика оценки капитализации российских страховых компаний на основе анализа балансовой стоимости их активов. Анализ цикличности проводился на основе статистических данных.

Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

**Ключевые слова:** цикличность; страховой рынок; страховые компании; капитализация; рентабельность страхового рынка; страховые премии; страховые выплаты.

УДК 347.1

**Субботина Е.В. Критерии установления пределов осуществления субъективных гражданских прав.**

В настоящей статье устанавливаются критерии, которые позволяют дать оценку правоотношениям субъектов, определить имевшее место при реализации субъективного гражданского права нарушение пределов его осуществления.

Библиогр. 17 назв.

**Ключевые слова:** гражданские права, правовое регулирование, субъект правоотношения.

# REPORTS

## MINING

UDC 622.271.32.013.3

**Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Kidyaev V.A. The use of advantages offered by combined rock transport at the open cast-underground mining.**

In the article the authors consider the change of transport from automobile on automobile-conveyor on the stage of quarry completion, that allows not only to develop low level of a quarry with lower costs on transportation, but also later provides more effective use of quarry space for transporting edge stocks to surface. The article gives the results of researches of calculations of a quarry productivity – underground ore mine, where the use of the introduced car-and-conveyor transport can be economically effective.

Fig. 3. Bibliogr. 1 name.

**Key words:** combined mining, quarry completion, above ground conveyor, economic efficiency.

UDC 622.271:622.17

**Melnikov I.T., Surov A.I., Shelkovnikova A.A. Field investigations of pond-zone tail-storing of OJSC (Open Joint Stock Company) “Vanadyi” (Kachkanar MCGE (Mountain Concentrate Group of Enterprises)) ground deposits.**

Field investigations results of pond-zone tail-storing of OJSC (Open Joint Stock Company) “Vanadyi” (Kachkanar MCGE (Mountain Concentrate Group of Enterprises)) ground deposits are introduced in the article. With moving off from water edge ground deposits average weighted tail fineness declines from 0,04–0,124 to 0,011–0,0152 mm in the spill way constructions area. Dust-like tail deposits, packed sandy loam and loam has framework (skeleton) density change gap respectively equal 1,65–1,74, 1,46–1,58, 1,26–1,33 t/m<sup>3</sup>. Pond-zone material filtration coefficient varies from  $1 \cdot 10^{-5}$  to  $5 \cdot 10^{-7}$  sm/s ( $8,6 \cdot 10^{-3}$ – $4,3 \cdot 10^{-4}$  m/day), and low permeability of deposits affects greatly filtration mode and stability of enclosing dam.

Fig. 4. Table 1. Bibliogr. 6 names.

**Key words:** bottom sediment, pond-zone, tail-storing, tails, filtration, stability.

UDC 622.27.

**Pauk L.G., Dzhioeva A.K. Definition of rational ways of ore breaking.**

Application of big bore holes (100–150 mm) on deposits with hard ores allows to increase ore extraction per 1 meter of a bore hole thanks to the increase of LNS.

Table 1. Bibliogr. 12 names.

**Key words:** ore breaking, indicators of ore breaking in bore holes of various diameter, vertical slices, working out systems.

UDC 622.261.27:622.023.623

**Khlusov A.E. On determination of rational thickness of concrete support in horizontal mine workings driven in the unstable rocks.**

An engineering method for calculation of concrete monolithic support in horizontal mine workings driven under complicated geological-and-mining conditions, based on the use of relationships of the beam systems mechanics is suggested in the article. With a view of providing the optimum thickness of the support, the profile of the working should be outlined according to the certain regularity, and dimensions of the working cross-section are associated with acting loads by some ratio.

Fig. 3. Bibliogr. 5 names.

**Key words:** horizontal mine working, unstable rocks, monolithic concrete support.

## METALLURGY OF FERROUS, NON-FERROUS AND RARE METALS. FOUNDRY ENGINEERING

UDC 662:669.162.266

**Sibagatullin S., Majorova T. To Calculation of indicators of a course of blast furnace process at the raised general pressure difference of gases.**

Dependences for definition of the expense and pressure of blasting, degree of direct reduction on equilibration degree raw materials by a carrying power of a gas stream for conducting domain fusion with the raised general pressure difference of gases are presented.

Analytical expressions for calculation of quantity of made work by a gas stream on resistance overcoming raw materials and works of formation of gases at course of reactions of deoxidation by carbon are received.

Bibliogr. 7 names.

UDC 621.746.5.047

**Kazakov A.S., Stolyarov A.M. The influence of internal roller cooling of secondary cooling zone on continuously cast slab.**

Slab heat transfer range was estimated due to internal roller cooling. At the top part of the vertical sections the ratios of heat transfer to slab width and casting speed were defined.

Fig. 3. Table 1.

**Key words:** slab, heat transfer, rollers, internal cooling.

UDC 621.74.045

**Chernov V.P., Selivanova E.A. The study of properties of fire-resistant suspensions used for ceramic forms at investment casting.**

The article proves that adjusting the level of acidity of suspension, it is possible to adjust its durability. Hence, it is necessary to use such a fire-resistant filler which would move the level pH in area of suspensions hardening. Thus the filler should not contain any iron oxides or undergo polymorphic transformations during heating and burning. And it should also exclude vacuum-ammoniac drying that is doubtless, will lead to improvement of ecological conditions at the enterprise.

Table 3. Fig. 5 names.

**Key words:** durability, a ceramic form, filler, suspension, a catalyst, hardening, fine material, the level of acidity.

## PRESSURE TREATMENT OF METALS

UDK 621.777:669.231.7

**Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Biront V.S., Lopatina E.S., Lebedeva O.S., Stolyarov A.V., Uskov I.V., Shubakov A.P., Babushkin O.V.** Research of technology of wire production from gold alloys.

The results of the experimental researches of the process of wire production from new alloys based on 585th probe gold have been stated. Conditions of section rolling and wire drawing have been given as well as the structures and properties of cast and deformed semi-products from these alloys. Efficiency of the use of new alloys and technologies of their treatment have been shown from the point of view of growth of metal yield.

Fig. 4. Table 1.

**Key words:** jewelry alloy, modifying agent, laboratory research, experimental-industrial study, metal yield.

UDC 621.73

**Medvedev E.B., Baryshnikov M.P.** The influence of the hindered deformation zone on the plastic form change the bimetallic compositions during cold direct extrusion.

Using the Deform 2D modeling system the influence of the hindered deformation zone on the plastic form change in the layers of bimetallic compositions during cold direct extrusion was studied. It was shown that the hindered deformation zones that emerge under certain deformation conditions significantly change the flow pattern of bimetallic materials, which results in formation of various geometrical parameters of a bimetallic item.

Fig. 8. Bibliogr. 6 names.

**Key words:** bimetallic composition, hindered deformation zone, plastic form change.

## MATERIAL SCIENCE AND THERMAL METAL TREATMENT

UDC 621.745.435: 621.745.55: 544.016.5

**Panov A.G.** Dependence of impact elasticity of cast Fe-Mg-Ni modifying agents on the microstructure morphology.

The object of the study are cast Fe-Ni-Mg modifiers of ductile iron with sphere graphite.

The purpose of the work is development of the way of reduction of impact elasticity to increase crushability of cast Fe-Ni-Mg modifiers.

The article describes the influence of modification on microstructure and impact elasticity of cast Fe-Ni-Mg modifiers. As a research results quantitative features of microstructure and impact elasticity were found. It is discovered that surface-active elements significantly refine the microstructure and change the morphology of structural elements of alloys so by that their impact elasticity decreases by half.

Modifying of Fe-Ni-Mg melts solves an important production and scientific problem. It expands the application of cast Fe-Ni-Mg alloys for modifying ladle treatment of small volumes of melt and in-mould modifying to produce finer microstructures of alloys and to reduce energy consumption for their refining.

Fig. 5. Table 3. Bibliogr. 5 names.

**Key words:** modifying alloy, sphere graphite cast iron, microstructure, phase composition, crushability, impact elasticity.

UDC 539.4

**Kazantsev A.G., Rymkevich A.I., Silaev A.A., Vopilkin A.H., Kononov D.A., Tihonov D.S.** Comparative analysis of characteristics of mechanical properties and fracture strength of metal in serviceable axles of wheel pairs and the ones that were rejected after the sonic test.

The study carried out complex experimental research and offered comparative analysis of mechanical properties at stretching, impact elasticity, static, dynamic and cyclic fracture strength of metal of serviceable axles and the ones that were rejected during sonic test. Temperature dependencies of static and dynamic fracture toughness were shown as master curve. The authors calculated characteristics of Peris diagram and threshold values of stress intensity coefficient.

Fig. 9. Table 2. Bibliogr. 10 names.

**Key words:** axis of a wheel pair, sonic test, mechanical properties, impact elasticity, fracture strength, dynamic fracture, master curve, fracture toughness, Peris equation.

## NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY

UDC 538.95

**Kameneva A.L.** Correlation between Ti-Al-N film forming process by electric arc evaporation and processes on the surface of vaporable cathode

The processes in near-surface layers of vaporable material of titanic and aluminum cathodes during electric arc evaporation have been studied. Correlation between constitutive processes taking place on film surface and cathode erosion zone during evaporation and their dependence on temperature conditions has been established.

Fig. 2. Bibliogr. 2 names.

**Key words:** evaporation process, morphological peculiarities, cathode erosion zone, Ti-Al-N based films, electric arc evaporation.

## MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

UDC 539.374.2

**Basin M.E., Boyarshinov M.G., Kolmogorov G.L.** Simulation methodic of the elastoplastic drawing of long-sized product in hydrodynamic-friction regime.

An original mathematical model for description of the combined flow of a viscous lubricating layer and elastoplastic drawing deformation of a multilayer product has been developed. The theory of plastic flow with linear anisotropic hardening has been used for description of the material's behavior. The O.M. Belotserkovskii approach has been applied to the determination of the pressure in the lubricating layer. The problem of elastoplastic deformation of the product in the hydrodynamic-friction regime has been solved using the model developed.

Fig. 9. Bibliogr. 23 names.

**Key words:** drawing, elastoplastic loading, viscous flow, finite element method, mathematical simulation.

UDC 517.55

**Belankov A.B., Gitman M.B., Stolbov V.Y.** Three-level model of metal structure forming during solidification using mesh cellular automaton.

An original structure of the cellular automaton using distant interaction was developed. This method is used for microstructure forming in the melt during metal solidifi-

cation. A number of experiments were carried out. The results of the experiments correlate well with the data of the experiments.

Fig. 5. Bibliogr. 8 names.

**Key words:** metal structure, solidification, three level model, cellular automaton.

UDC 531.43/46

**Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Slobodianskiy M.G., Gubin A.S., Rusanov V.A., Chekalin I.Y., Antsupov V.P. Forecasting the safety of tribological conjunction based on thermodynamic analysis of friction process.**

A physical probability model of tribological conjunction parametric safety as well as an analytical method for forecasting the probability of their troubleproof operation and the gamma-percentage service life have been developed. For this purpose, theoretical relationships for determining the wearing rate of sliding friction elements were derived, based on thermodynamic analysis of friction process as a process of dual molecular-mechanical nature.

A comparison between estimate and experimental data on wearing of various material samples applying a friction machine is presented which confirms adequacy of the theoretical developments.

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 10 names.

**Key words:** reliability, thermodynamics, friction, wear, forecasting, service life.

UDC 622.673.8

**Chernetskaya I.E., Isaev E.A. Probabilistic model of granule mass growth.**

We analyzed the process of granule forming of loose materials. The probability of intrusion the clotted particle into the clotting one due to filling its voids and due to some capillary interaction forces was examined. Also the probability of separation (retention) on the surface of the clotting granule was examined. The proposed model of dynamic clotting value of finely divided materials considering the conditions of granule forming may be used in mathematical modeling the process of granulation of loose iron-ore materials.

Fig. 2. Bibliogr. 5 names.

**Key words:** granule forming, loose materials, dynamic clotting value.

## ECONOMICS, MANAGEMENT AND PRODUCTION MARKET. LAW

UDC 330.3

**Abilova M.G. Activation of reproductive labour in Russia: evaluation methods of process efficiency and their realization.**

The article considers some approaches to evaluation methods of reproductive labour activation. The possibilities of every approach are illustrated by the results of empirical study. The conclusion is that it is necessary to develop reproductive policy in the country.

Bibliogr. 6 names.

**Key words:** reproductive labour, reproductive labour activation, human capital, reproductive policy

UDC 331.48/369.04:658.1

**Nemtsev V.N., Derjabin A.V., Derjabina A.V. In-**

**stability of current incomes as risk factor for development of contemporary enterprise.**

Organizational development problems and the reasons of low efficiency of state unitary enterprises have been studied. The external and internal factors determining standards of business activity were found.

Management mechanism for stable organizational development has been presented as well as the results of enterprise current income XYZ-analysis has. The role of innovation for development of contemporary enterprise system has been researched.

Fig. 1. Table 8. Bibliogr. 3 names.

**Key words:** state unitary enterprise; development; external and internal factors; business activity; management mechanism for stable organization development; current income, XYZ-analysis; innovation.

UDC 332.135:005.52

**Polikarpova M.G. Economic and mathematical analysis of the integration activities of the economic sectors of the Russian Federation.**

In the article we represent some results of economic and mathematical analysis of the integration activities of the economic sectors of the Russian Federation. On the basis of this analysis it is possible to form a qualitative market infrastructure of the corporate control and to work out effective measures of the government policy in the sphere of the industrial administration of integration activities.

Fig. 4. Table 1. Bibliogr. 6 names.

**Key words:** integration, integration activities, industrial distribution, mergers and acquisitions (M&A), structural changes.

UDC 368.031.6

**Juravin S.G., Ivanushkina I.S. Recurrence of the Russian Federation insurance market.**

The article contains an analysis of recurrence of the insurance market based on the estimation of financial indicators in Russia. The following indicators were used for the analysis: indicators of profitability of the insurance market, indicators of insurances and cash bonuses. During the research, the factors influencing the recurrence of the insurance market have been defined and the stages of its development have been established.

Also, on the basis of the analysis of book assets value, the authors conducted an estimation of capitalization of Russian insurance companies. The recurrence analysis was carried out on the basis of the statistical data.

Fig. 5. Bibliogr. 4 names.

**Key words:** recurrence; insurance market; insurance companies; capitalization; profitability of the insurance market; cash bonuses; insurance compensation.

UDC 347.1

**Subbotina E.V. Criteria of establishing the limits of subjective civil rights.**

This article sets out the criteria that allow us to assess the legal relations of subjects, determine if violation occurred during the implementation of subjective civil rights.

Bibliogr. 17 names.

**Key words:** civil rights, rule of law, subject in a legal relationship.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Абилова Махабат Гумаровна** – проректор по экономическим и финансовым вопросам ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Тел. 8(3519)298413.

**Анцупов Александр Викторович** – канд. техн. наук, и.о. доцента кафедры «Технология машиностроения» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: повышение надежности деталей машин. Тел. 8-3519042421. E-mail: ants@mgn.ru.

**Анцупов Алексей Викторович** – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Механическое оборудование металлургических заводов» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: повышение надежности деталей машин. Тел. 8-9128090999. E-mail: ants@mgn.ru.

**Анцупов Виктор Петрович** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Механическое оборудование металлургических заводов» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: повышение надежности деталей машин. Тел. 8-9048136688. E-mail: ants@mgn.ru.

**Бабушкин Олег Викторович** – заведующий лабораторией ювелирного производства ОАО «Красцветмет», г. Красноярск.

**Барышников Михаил Павлович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные и металлургические технологии» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление научных исследований: обработка давлением композиционных материалов, изделия с покрытиями. Тел. 8(3519)298481. E-mail: arcosmag@mail.ru.

**Басин Михаил Ефимович** – канд. физ.-мат. наук ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Направление исследований: механика деформируемого твердого тела, механика жидкости, газа и плазмы. Тел. 8(342)2391340. E-mail: bme@perm.ru.

**Беланков Анатолий Борисович** – аспирант кафедры «Математическое моделирование систем и процессов» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». E-mail: bab@gelicon.biz.

**Биронт Виталий Семенович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой МиТОМ Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. 8(391)2133286.

**Бояршинов Михаил Геннадьевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Динамика и прочность машин» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Направление исследований: математическое моделирование в задачах механики. Тел. 8(342)2391340. E-mail: michaelgb@mail.ru.

**Бурмистров Константин Владимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. +7-9028682087. E-mail: burmistrov\_kv@mail.ru.

**Вопилкин Алексей Харитонович** – д-р техн. наук, профессор, генеральный директор ООО «НПЦ “ЭХО+”», г. Москва.

**Гавришев Сергей Евгеньевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. +7-9028604612. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

**Гитман Михаил Борисович** – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Математическое моделирование систем и процессов» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». E-mail: mgitman@netzero.net.

**Губин Алексей Сергеевич** – аспирант кафедры «Механическое оборудование металлургических заводов» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: повышение надежности деталей машин. Тел. 8-9193270620.

**Дерябин Андрей Владимирович** – директор ГУП «Магнитогорская бальнеогрязелечебница с курортной поликлиникой». Тел. 8-9068539627. E-mail: tolya@magtu.ru.

**Дерябина Анна Валериановна** – экономист ГУП «Магнитогорская бальнеогрязелечебница с курортной поликлиникой». Тел. 8-9068539627. E-mail: tolya@magtu.ru.

**Джиоева Ада Константиновна** – канд. техн. наук, и.о. доцента кафедры технологии разработки месторождений Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), г. Владикавказ. Направление исследований: геотехнология. Тел. 8-8672407314. E-mail: adadak@mail.ru.

**Довженко Николай Николаевич** – д-р техн. наук, проректор по инновационной деятельности и развитию материальной базы научных исследований ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», профессор кафедры обработки металлов давлением, г. Красноярск. Тел. 8(391)22448904.

**Журавин Сергей Григорьевич** – д-р экон. наук, профессор кафедры «Экономика и коммерция» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. +7-3519019428. E-mail: zhuravinS@yandex.ru.

**Иванушкина Ирина Сергеевна** – старший специалист управления имущественного страхования юридических лиц ЮУРФ ОАО «САК «Энергогарант». Тел.

8-9030917738. E-mail: iren2mgn@pisem.net.

**Исаев Евгений Алексеевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры радиоэлектроники и компьютерной техники Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина. E-mail: ischeis938@mail.ru.

**Кзаков Александр Сергеевич** – аспирант кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)298449. E-mail: mcm@magtu.ru.

**Казанцев Александр Георгиевич** – д-р техн. наук, заведующий отделом прочности ОАО НПО «ЦНИИТ-МАШ», г. Москва. E-mail: kazantsev\_a\_g@mail.ru.

**Каменева Анна Львовна** – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Направление исследований: разработка, получение и исследование упрочняющих и защитных наноструктурированных пленок. Тел. 8-9504667693. E-mail: kameneva@pstu.ru.

**Кидяев Вячеслав Андреевич** – аспирант кафедры «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. +7-9085870835. E-mail: kidyaevba@mail.ru.

**Колмогоров Герман Леонидович** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Динамика и прочность машин» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Направление исследований: обработка металлов давлением. Тел. 8(342)2391340. E-mail: dpm@cpl.pstu.ru.

**Кононов Дмитрий Анатольевич** – ведущий сотрудник ООО «НПЦ “ЭХО+”», г. Москва.

**Лебедева Ольга Сергеевна** – аспирантка кафедры ОМД Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Лопатина Екатерина Сергеевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры МиТОМ Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Майорова Татьяна Владимировна** – старший преподаватель кафедры экономики и коммерции ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: технология доменной плавки. Тел. 8(3519)298541. E-mail: tvmi@mgn.ru.

**Медведев Евгений Борисович** – ведущий инженер ООО фирма «ИНГРА», г. Уфа. Направление научных исследований: обработка металлов давлением, теплопроводность композиционных материалов. Тел. 8(347)2441600. E-mail: sshmedvedev@mail.ru, intraufa@mail.ru.

**Мельников Иван Тимофеевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (8-3519)-29-84-66. E-mail: silk52@mail.ru.

**Немцев Виктор Николаевич** – канд. техн. наук,

член-корреспондент РАЕН, профессор кафедры «Экономика и коммерция» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8-9068539627. E-mail: tolya@magtu.ru.

**Панов Алексей Геннадьевич** – канд. техн. наук ГОУ ВПО «Камская государственная инженерно-экономическая академия», г. Набережные Челны. E-mail: alexey@modifier.ru.

**Паук Лев Георгиевич** – старший преподаватель кафедры технологии разработки месторождений Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), г. Владикавказ. Сфера интересов – геотехнология. Тел. 8867-2-407-314. E-mail: adadak@mail.ru.

**Поликарпова Мария Геннадьевна** – канд. экон. наук, старший преподаватель кафедры «Математические методы в экономике» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8-922-632-53-12. E-mail: marjushka@rambler.ru.

**Русанов Владимир Андреевич** – аспирант кафедры «Механическое оборудование металлургических заводов» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: повышение надежности деталей машин. Тел. 8-904-810-71-71.

**Рымкевич Анатолий Иванович** – д-р техн. наук, главный научный сотрудник ОАО НПО «ЦНИИТ-МАШ», г. Москва.

**Селиванова Екатерина Алексеевна** – аспирант кафедры «Электрометаллургия и литейное производство» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова». Тел. 89823258444. E-mail: selivanova\_87@mail.ru.

**Сибгатуллин Салават Камилевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: технология доменной плавки. Тел. 8(3519) 29-84-30. E-mail: 10tk@mail.ru.

**Сидельников Сергей Борисович** – д-р техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. 8(391)2133550. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

**Силаев Альберт Альбертович** – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела прочности ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва.

**Слободянский Михаил Геннадьевич** – аспирант кафедры «Механическое оборудование металлургических заводов» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: повышение надежности деталей машин. Тел. 8-9068546372. E-mail: spikersmg@rambler.ru.

**Столбов Валерий Юрьевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Математическое моделирование систем и процессов» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». E-mail:

svu@matmod.pstu.ac.ru.

**Столяров Александр Валентинович** – заведующий лабораторией ювелирных технологий Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, профессор кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)298449. E-mail: mcm@magtu.ru.

**Субботина Елена Владимировна** – доцент кафедры права ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Elena.subbotina@yandex.ru.

**Суров Александр Иванович** – ведущий специалист группы мониторинга безопасности гидротехнических сооружений ГОП ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519)247224. E-mail: surov@mmk.ru.

**Тихонов Дмитрий Сергеевич** – канд. техн. наук, технический директор ООО «НПЦ “ЭХО+”», г. Москва.

**Усков Игорь Васильевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры ОМД Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Хлусов Александр Евгеньевич** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории геомеханики

Научного центра геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета). Направление исследований: горная геомеханика. Тел.: (812) 328-86-54. E-mail: hlusoff@rambler.ru.

**Чекалин Илья Юрьевич** – аспирант кафедры «Механическое оборудование металлургических заводов» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: повышение надежности деталей машин. Тел. 8-919-117-69-98.

**Чернецкая Ирина Евгеньевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Вычислительная техника» ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет». Тел. 8-9038754279. E-mail: white731@yandex.ru.

**Чернов Виктор Петрович** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрометаллургия и литейное производство» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 89128075023. E-mail: tchernov@magtu.

**Шелковникова Анастасия Александровна** – студентка металлургического факультета ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: silk52@mail.ru.

**Шубаков Александр Павлович** – начальник ювелирного производства ОАО «Красцветмет», г. Красноярск.

## THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Abilova Mahabat Gumarovna** – the pro-rector for Economics and Finance of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. Phone: 8(3519)298413.

**Antsupov Aleksandr Viktorovich** – Candidate of Science, Associate Professor of the Department of machine-building technology, SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Field of research – improving the reliability of machine elements. Phone: 8-3519042421, E-mail: ants@mgn.ru.

**Antsupov Aleksei Viktorovich** – Candidate of Science, senior lecturer of the Department of MOMZ (Mechanical Equipment of Metallurgical Plants), SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Field of research – improving the reliability of machine elements. Phone: 8-9128090999, E-mail: ants@mgn.ru.

**Antsupov Viktor Petrovich** – D.Sc., Professor of the Department of MOMZ, SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Field of research – improving the reliability of machine elements. Phone: 8-9048136688, E-mail: ants@mgn.ru.

**Babushkin Oleg Victorovich** – the head of the Laboratory of Jewelry Production of JSC “Krastrsvetmet”, Krasnoyarsk.

**Baryshnikov Mikhail** – Candidate of science, Associate Professor of the department of machine building and metallurgical technologies, Magnitogorsk State Technological University. Field of scientific research: the treatment of compositional materials by pressure, product coating. Tel.: 8(3519)298481. E-mail: arcosmag@mail.ru.

**Basin Michael Efimovich** – Candidate of Science (physics and mathematics) (PhD) of SEI HPE “Perm state technical university”. Field of research – deformable body mechanics, mechanics of fluids and plasma. Phone: 8(342)2391340. E-mail: bme@perm.ru.

**Belankov Anton Borisovich** – post-graduate student of the Department of “Mathematical simulation of systems and processes” of SEI HPE “Perm State Technical University”. E-mail: bab@gelicon.biz.

**Biront Vitaly Semenovich**, D.Sc., Professor, head of the Department of Metal Science and Heat Treatment at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE “Siberian Federal University”, Krasnoyarsk. Phone (8391) 2133286.

**Boyarshinov Michael Gennadyevich** – D.Sc., Professor of the Department of Dynamics and strength of machines of SEI HPE “Perm state technical university”. Field of research – mathematical simulation in mechanical problems. Phone: 8(342)2391340. E-mail: michaelgb@mail.ru.

**Burmistrov K.V.** – Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the chair «Open cast mining» at the SEI HPE “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Tel.: +79028682087. E-mail: burmistrov\_kv@mail.ru.

**Chekalin Ilya Yurievich** – postgraduate student of

the Department of MOMZ, SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Field of research – improving the reliability of machine elements. Phone: 8-9191176998.

**Chernetskaya Irina Evgenyevna** – Candidate of Science, the Department of Computer Science of Kursk State Technical University. Phone: 8-9038754279. E-mail: white731@yandex.ru.

**Chernov Victor Petrovich** – Dr.Sci., Professor, Faculty of Electrometallurgy and foundry engineering, SEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone 89128075023. E-mail: tchernov@magtu.

**Derjabin Angrej Vladimirovich** – director of the state unitary enterprise “Magnitogorsk balneary and therapeutic mud-baths with spa-policlinic”.

**Derjabina Anna Valerianovna** – economist of the state unitary enterprise “Magnitogorsk balneary and therapeutic mud-baths with spa-policlinic”. Phone: 8-9068539627. E-mail: tolya@magtu.ru.

**Dovzhenko Nikolay Nikolayevich** – D.Sc., pro-rector of innovation activity and development of resource base of scientific research FSEI HVE “Siberian Federal University”, Professor of the Department of pressure treatment of metals, Krasnoyarsk. Phone: 8(391)22448904.

**Gavrishev S.E.** – Doctor of Technical Sciences, professor of the chair «Open cast mining» at the SEI HPE “Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov”. Tel.: +7-9028604612. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

**Gioeva Ada Konstantinovna** – Cand. of Sc., Fulfilling duties of the assistant professor of “The department of the Deposit Development Technology at the North Caucius Mining Institute” (State Technological University), Vladikavkaz. Phone: 8-8672407314. E-mail: adadak@mail.ru.

**Gitman Mikhail Borisovich** – D.Sc., Professor of the Department of “Mathematical simulation of systems and processes” of SEI HPE “Perm State Technical University”. E-mail: mgitman@netzero.net.

**Gubin Aleksey Sergeevich** – postgraduate student of the Department of MOMZ, SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Field of research – improving the reliability of machine elements. Phone: 8-919-327-06-20.

**Isaev Evgeny Alexeevich** – D.Sc., Professor of the Department of electronics and computer technology of Eletska State University named after I.A. Bunin. E-mail: white731@yandex.ru.

**Ivanushkina Irina Sergeevna** – Senior expert of legal bodies property insurance administration of Joint-Stock Insurance Company «ENERGOGARANT» Phone: 8-9030917738. E-mail: iren2mgn@pisem.net.

**Juravin Sergey Gregorjevich** – Doctor of economics, Professor of the Department of economics and commerce of SEI HPE “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”.

**Kameneva Anna Lvovna** – Candidate of science,



Associate Professor, senior scientist of State educational institution of the higher professional education "Perm state technical university". Field of research – development, manufacture and investigation of strengthening and protective nanostructured films. Tel.: 8-9504667693. E-mail: kameneva@pstu.ru.

**Kazakov Alexander Sergeevich** – the post-graduate student of the chair of metallurgy of ferrous metals (State educational institution of higher professional education), SEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)298449. E-mail: mcm@magtu.ru.

**Kazantsev Alexander Georgievich** – D.Sc., the head of strength department of OJSC scientific-production association "TSNIITMASH", Moscow. E-mail: kazantsev\_a\_g@mail.ru.

**Khlusov Alexander E.** – PhD, Senior Research Fellow at the Laboratory of Geomechanics (the Research Center of Geomechanics & Mining Production) at the Saint-Petersburg Mining Institute (Technical University). Direction of researches: Mining geomechanics. E-mail: hlusoff@rambler.ru.

**Kidyayev V.A.** – a post graduate student of the chair "Open cast mining" at the SEI HPE "Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov". Phone: +7-9085870835. E-mail: kidyayevba@mail.ru.

**Kolmogorov German Leonidovich** – D.Sc., Professor, Head of the Department of Dynamics and strength of machines of SEI HPE "Perm state technical university". Field of research – pressure treatment of metals. Phone: 8(342)2391340. E-mail: dpm@cpl.pstu.ru.

**Kononov Dmitry Anatolyevich** – leading officer of JSC Scientific production centre "EHO+", Moscow.

**Lebedeva Olga Sergeevna** – student of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE "Siberian Federal University", Krasnoyarsk.

**Lopatina Yekaterina Sergeevna** – Candidate of Science, Associate Professor of the Department of Metal Science and Heat Treatment at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE "Siberian Federal University", Krasnoyarsk.

**Majorova Tatyana Vladimirovna** – the senior lecturer of the Department of Economics and Commerce of the state educational institution of the higher professional education «Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov». Direction of research: Technology of blast-furnace smelting. Phone: 8(3519)298541. E-mail: tvmi@mgn.ru.

**Melnikov Ivan Timofeevich** – candidate of technical sciences, assistant professor of the department "Open working exploitation of mineral deposits" SEA (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) "Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov". Phone: 8(3519)298466. E-mail: silk52@mail.ru.

**Medvedev Evgeny Borisovich** – Leading engineer of the Limited liability corporation "Intra", Ufa. Field of scientific research: pressure treatment of metals, thermal conductivity of composite materials. Phone: 8(347)2441600. E-mail: sshmedvedev@mail.ru, intraufa@mail.ru.

**Nemtsev Victor Nickolaevich** – Candidate of sci-

ence, corresponding member of RAEN, Professor of the Department of economy and commerce of SEI HPE "Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov".

**Panov Alexey Gennadyevich** – Candidate of Science of the State educational institution of high professional education Kama State engineering-economic academy, Nab. Chelny. E-mail: alexey@modifier.ru.

**Pauk Lev Georgievich** – senior lecturer of "The department of the Deposit Development Technology at the North Caucas Mining Institute" (State Technological University), Vladikavkaz. Phone: 8-8672407314. E-mail: adadak@mail.ru.

**Polikarpova Maria Gennadjevna** – Candidate of Economics, senior lecturer of the Department "Mathematical methods in economics" of SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8-9226325312. E-mail: marjshka@rambler.ru.

**Rusanov Vladimir Andreevich** - postgraduate student of the Department of MOMZ, SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Field of research – improving the reliability of machine elements. Phone: 8-9048107171.

**Rymkevich Anatoly Ivanovich** – D.Sc., chief scientist of OJSC scientific-production association "TSNIITMASH", Moscow.

**Selivanova Ekaterina Alekseevna** – the post-graduate student, Faculty of Electrometallurgy and foundry engineering, SEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone: 8-9823258444. E-mail: selivanova\_87@mail.ru.

**Shelkovnikova Anastasiya Aleksandrovna** – a third-year student of metallurgy faculty of SEA (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) "Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov". E-mail: silk52@mail.ru.

**Shubakov Alexander Pavlovich** – chief of jewelry production of joint stock company "Kratsvetmet", Krasnoyarsk.

**Sibagatullin Salavat Kamillovich** – Doctor of technical sciences, professor of the chemistry and metallurgy faculty of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Direction of research: Technology of blast-furnace smelting. Phone: 8(3519)298430. E-mail: 10tks@mail.ru.

**Sidelnikov Sergey Borisovich** – D.Sc., Professor of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE "Siberian Federal University", Krasnoyarsk. Phone: 8(391)2133550. Email: sbs270359@yandex.ru.

**Silaev Albert Albertovich** – Candidate of Science, leading scientific officer of the strength department of OJSC scientific-production association "TSNIITMASH", Moscow.

**Slobodyanskiy Mikhail Gennadievich** – postgraduate student of the Department of MOMZ, SEI HPE Magnitogorsk State Technical University. Field of research – improving the reliability of machine elements. Phone: 8-9068546372, E-mail: spikersmg@rambler.ru.

**Stolbov Valeriy Yurievich** – D.Sc., Professor of the

Department of “Mathematical simulation of systems and processes” of SEI HPE “Perm State Technical University”. E-mail: svu@matmod.pstu.ac.ru.

**Stolyarov Alexander Valentinovich** – the head of the Laboratory of Jewelry Technologies at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE “Siberian Federal University”, Krasnoyarsk.

**Stolyarov Alexander Mihajlovich** – Dr.Sci., professor of the chair of metallurgy of ferrous metals (State educational institution of higher professional education), SEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519)298449. E-mail: mcm@magtu.ru.

**Subbotina Elena Vladimirovna** – Associate professor of the Law Department of SEI HPE "Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov". E-mail: Elena.subbotina @ yandex.ru.

**Surov Aleksandr Ivanovich** – Hydro technical constructions security monitoring group leading specialist of MCE (Mountain Concentration Enterprise) OJSC (Open Joint Stock Company) MMK (Iron and Steel Works). Phone: 8(3519)247224. E-mail: surov@mmk.ru.

**Tihonov Dmitry Sergeevich** – Candidate of Science, Technical Director of JSC Scientific production centre “EHO+”, Moscow.

**Uskov Igor Vasilyevich**, Candidate of Science, Associate Professor of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE “Siberian Federal University”, Krasnoyarsk.

**Vopilkin Aleksey Haritonovich** – D.Sc., Professor, Director General of JSC Scientific production centre “EHO+”, Moscow.

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей. Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
- МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.
- ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.
- ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
- СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.
- МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
- ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.
- УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.
- ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.
- СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.
- ИНФОРМАЦИЯ И ДР.

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы. Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

---

---

### ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

**I.** Рекомендуемый объем статьи – 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) акт экспертизы;
- 2) рецензия;
- 3) сведения об авторах (на английском и русском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения, направление исследований, контактный телефон и E-mail каждого автора;
- 4) реферат на английском и русском языках по следующему образцу (~200 знаков):

UDC 622.27

Ivanov I.I., Petrov P.P. Development of gold-ore deposits extraction systems.

The method of sloping is represented...

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 7 names.

5) библиографический список на английском и русском языках;

6) ключевые слова на английском и русском языках.

**II.** Текст статьи, сведения об авторах, реферат, библиографический список и ключевые слова представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами Microsoft Word 2003, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в Microsoft Word рекомендуются следующие установки:

- 1) **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- 2) при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками;
- 3) **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров). Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата А4 и отдельным файлом в формате \*.TIF, \*.JPG, с разрешением **300 dpi**, V&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисовочные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость  $\gamma(t)=I_{nv}/I_{n0}$  от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя

---

---

**Внимание!** Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования представляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 29-85-17.

Факс (3519) 22-41-46.

E-mail: vestnik@magtu.ru; mgtu@magtu.ru; nis@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).