

# ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного  
технического университета им. Г. И. Носова

№ 3 (39) сентябрь 2012 г.

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

Издается с марта 2003 года

**Редакционный совет:**

**Председатель редсовета:**

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

**Члены редсовета:**

*А.В. Дуб* – ген. директор ОАО НПО

«ЦНИИТМАШ», д-р техн. наук;

*Д.Р. Каплунов* – член-кор. РАН,

проф. ИПКОН РАН,

д-р техн. наук;

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

*В.М. Счастливец* – зав. лабораторией

ИФМ УрО РАН; академик РАН,

д-р техн. наук;

*И. Горлач* – доктор наук в области машиностроения;

Руководитель отделения мехатроники университета  
им. Нельсона Манделы (Южная Африка);

*Кен-Ихиро Мори* – профессор Технологического

университета г. Тойохаси, Япония;

*Мацей Питчек* – профессор

горно-металлургической академии,

г. Краков, Польша.

**Редакционная коллегия:**

**Главный редактор:**

*Г.С. Гун* – проф., д-р техн. наук.

**Заместитель:**

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

**Члены редколлегии:**

*Л.И. Антропова* – проф., д-р фил. наук;

*В.А. Бигеев* – проф., д-р техн. наук;

*К.Н. Вдовин* – проф., д-р техн. наук;

*С.Е. Гавришев* – проф., д-р техн. наук;

*В.Н. Калмыков* – проф., д-р техн. наук;

*С.Н. Павлов* – доц., канд. пед. наук;

*М.Б. Пермяков* – доц., канд. техн. наук;

*А.М. Песин* – проф., д-р техн. наук;

*В.М. Салганик* – проф., д-р техн. наук;

*А.С. Сарваров* – проф., д-р техн. наук.

*А.Б. Сычков* – проф., д-р техн. наук.

**Ответственные редакторы по научным  
направлениям экспертных советов ВАК РФ:**

*М.А. Полякова* – доц., канд. техн. наук;

*М.В. Шубина* – доц., канд. техн. наук.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012

На журнал можно подписаться в отделениях связи либо приобрести непосредственно в редакции.

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

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

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

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

**Адрес редакции:**

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 22-14-93

Факс (3519) 23-57-60

E-mail: rio\_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Подписано к печати 17.09.2012.

Заказ 585. Тираж 500 экз. Цена свободная.



# VESTNIK

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

**№ 3 (39) September 2012**

The magazine is included in the list of leading reviewed scientific journals and publications, in which shall be published by the basic scientific results of dissertations on competition of a scientific degree of the doctor and candidate of sciences, as well as in the database Russian index of scientific citation (RISC) and All-Russian Institution of Scientific and Technical information. 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.

*I. Gorlach* – PhD in Mechanical Engineering, Head of Department of Mechatronics, Nelson Mandela Metropolitan University.

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

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

## **Editorial staff**

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

*G.S. Gun* – Prof., D. Sc.

### **Deputy chief editor:**

*M.V. Chukin* – Prof., D.Sc.

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

*L.I. Antropova* – Prof., D.Sc.

*V.A. Bigeev* – Prof., D.Sc.

*K.N. Vdovin* – Prof., D.Sc.

*S.E. Gavrishev* – Prof., D.Sc.

*V.N. Kalmykov* – Prof., D.Sc.

*S.N. Pavlov* – Assoc. Prof., Ph.D.

*M.B. Permyakov* – Assoc. Prof., Ph.D.

*A.M. Pesin* – Prof., D.Sc.

*V.M. Salganik* – Prof., D.Sc.

*A.S. Sarvarov* – Prof., D.Sc.

*A. B. Sychkov* – Prof., D. Sc.

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

*M.A. Polyakova* – Assoc. Prof., Ph.D.

*M.V. Shubina* – Assoc. Prof., Ph.D.

© Federal state budgetary institution of higher professional education  
“Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov”, 2012

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 PI № FS11-1157 on April 18, 2007

Issued by the Federal Service for Supervision of Legislation in Mass of Communication and Protection of Cultural Heritage in the Urals Federal District.

Founder – State Educational Institution «Magnitogorsk State Technical University. GI Nosov»  
(455000, Chelyabinsk Region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38)

### **Editorship address:**

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

Phone number: (3519) 22-14-93

Fax: (3519)23-57-60

Email: rio\_mgtu@mail.ru; vestnik@mgtu.ru

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

Signed for press 17.09.2012.

Order 585. Circulation – 500 items. Free price.



# СОДЕРЖАНИЕ

|  |           |   |           |
|--|-----------|---|-----------|
| <b>Разработка полезных ископаемых</b> .....  | <b>5</b>  | <b>Стандартизация, сертификация и управление качеством</b> .....  | <b>45</b> |
| <i>Горбатова Е.А., Ожогина Е.Г.</i> Влияние морфоструктурного состава отходов обогащения руд цветных металлов на извлечение ценных компонентов при их гидрометаллургическом переделе .....           | 5         | <i>Корчунов А.Г., Лысенин А.В.</i> Управление качеством метизной продукции в условиях неопределенности технологической информации .....                           | 45        |
| <b>Литейное производство</b> .....   | <b>9</b>  | <b>Теплоэнергетика металлургической отрасли</b> .....   | <b>49</b> |
| <i>Усынина Г.П., Загиров Н.Н., Аникина В.И.</i> Исследование модифицирующей способности пружковой лигатуры из стружковых отходов силумина .....  | 9         | <i>Видин Ю.В., Иванов Д.И., Федоров Г.В., Федюкович А.К.</i> Теплопередача через стенки криволинейных участков трубопроводов .....                                | 49        |
| <b>Технологии обработки материалов</b> .....   | <b>14</b> | <b>Строительные материалы и строительные технологии</b> .....   | <b>51</b> |
| <i>Вигриянов П.Г.</i> Пульсации электромагнитного момента управляемых девятифазных вентильных двигателей при отказах типа «обрыв» .....  | 14        | <i>Кришан А.Л., Мельничук А.С.</i> Прочность трубобетонных колонн квадратного сечения при осевом сжатии .....   | 51        |
| <i>Големенцев Б.В., Слепов В.М., Казимиров А.А.</i> Математическая модель и алгоритмизация системы формирования оптимального количества режущего инструмента в опытно-серийном производстве .....    | 17        | <b>Экология металлургической отрасли</b> .....  | <b>55</b> |
| <i>Трусковский В.И., Шеркунов В.Г.</i> К назначению угла наклона плоских клиновых ножей для резки сортового проката на ножницах с тангенциальным движением инструмента .....                         | 21        | <i>Валеев В.Х., Сомова Ю.В.</i> Исследование процесса механической промывки замасленных шламов донных отложений в условиях гидродинамической кавитации .....      | 55        |
| <b>Материаловедение и термическая обработка металлов</b> .....   | <b>24</b> | <i>Мишурина О.А., Муллина Э.Р.</i> Химические закономерности процесса селективного извлечения марганца из техногенных вод .....                                   | 58        |
| <i>Мирзаев Д.А., Куликов А.А., Корягин Ю.Д.</i> Изотермический отжиг отливок стали 35Л, полученных методом литья по газифицируемым моделям .....   | 24        | <b>Экономика, управление, организация труда и рынок продукции</b> .....   | <b>63</b> |
| <i>Емелюшин А.Н., Сычков А.Б., Шекшеев М.А.</i> Исследование свариваемости высокопрочной трубной стали класса прочности К56 .....  | 26        | <i>Шорохов В.В.</i> Прогрессивные технологии развития малого бизнеса сферы услуг в России .....   | 63        |
| <i>Нестеренко А.М., Сычков А.Б., Сухомлин В.И.</i> Исследование особенностей изменения механических свойств катанки из микролегированных бором сталей при деформационном старении .....              | 30        | <i>Рассадина Е.С.</i> Методика управления издержками при многономенклатурном производстве .....   | 66        |
| <i>Ильясов Р.С., Бабкин С.Э., Вострокнутова О.Н.</i> Влияние одноосных и внутренних напряжений на электромагнитно-акустическое преобразование в ферромагнетиках .....                                | 33        | <i>Гибадуллин З.Р., Макишук Ф.Х., Акиенцев Ф.И., Трильев А.Е.</i> Вовлечение персонала в совершенствование организации труда на Сибайском подземном руднике ..... | 70        |
| <i>Стебляно В.Л., Пономарев А.П.</i> Улучшение эксплуатационных свойств цинкового покрытия на основе формирования особенностей его структуры при плазменно-электролитной обработке поверхности ..... | 37        | <i>Канзычаков С.В., Лапаев В.Н., Соколовский А.В.</i> Развитие горных работ на разрезе: методический подход к управлению .....                                    | 73        |
| <i>Кусков К.В., Ковенский И.М.</i> Малоцикловая усталость сварных соединений стали 09Г2С .....   | 41        | <i>Шубинцева Е.Б.</i> Разработка модели мотивации и ее практическое применение в горнорудном производстве .....   | 76        |
|  |           | <i>Васильева Н.Ф.</i> О проблемах управления производственными запасами на металлургическом предприятии .....   | 78        |
|  |           | <b>Педагогика</b> .....   | <b>82</b> |
|  |           | <i>Чупрова Л.В.</i> Системное становление творческой личности будущего специалиста в образовательном процессе вуза .....  | 82        |
|  |           | <b>Сведения об авторах</b> .....  | <b>86</b> |

# CONTENT

|   |           |  |           |
|---|-----------|--|-----------|
| <b>Mining</b> .....   | <b>5</b>  | <i>Korchunov A. G., Lysenin A.V.</i> Quality management of hardware products in an indetermination process information .....                                       | <b>45</b> |
| <i>Gorbatova E.A., Ozhogina E.G.</i> The influence of morphostructural the composition of the enrichment waste of ores of non-ferrous metals on the extraction of valuable components in the during of hydrometallurgical process ..... | <b>5</b>  | <b>Heat Power of Metallurgy</b> .....  | <b>49</b> |
| <b>Foundry Engineering</b> .....  | <b>9</b>  | <i>Vidin Y.V., Ivanov D.I., Fedorov G.V., Fedukovich A.K.</i> The heat transfer through the walls of the curvilinear sections of pipelines.....                    | <b>49</b> |
| <i>Usynina G.P., Zagirov N.N., Anikina V.I.</i> Study of inoculating ability of rods made of silumin scrap.....   | <b>9</b>  | <b>Construction Materials and Structural Engineering</b> .....   | <b>51</b> |
| <b>Technologies of Material Processing</b> .....  | <b>14</b> | <i>Krishan A.L., Melnichuk A.S.</i> Durability of concrete filled steel tube columns with square cross-section at axial compression .....                          | <b>51</b> |
| <i>Vigriyanov P.G.</i> Electromagnetic torque pulsations are driven by motors nine-phase failure of the «break» .....   | <b>14</b> | <b>Ecology of Metal Industry</b> .....   | <b>55</b> |
| <i>Golementsev B.V., Slepov V.M., Kazimirov A.A.</i> Mathematical model and algorithm of the system of forming the optimal number of cutting tools in a pilot-scale production.....   | <b>17</b> | <i>Valeev V.K., Somova U.V.</i> Study of mechanical washing slime-coated bottom sediments in conditions of hydrodynamic cavitation .....                           | <b>55</b> |
| <i>Truskovsky V.I., Sherkunov V.G.</i> To the angle designation of flat wedge knives slope for rolled bull stock cutting on the scissors with tool tangential motion .....  | <b>21</b> | <i>Mishurina O.A., Mullina E.R.</i> Chemicals conformities to law of selective manganese reclaiming process out of anthropogenic water's.....                      | <b>58</b> |
| <b>Material Science and Thermal Metal Treatment</b> .....   | <b>24</b> | <b>Economics, Management, Organization of labour and Production Market</b> .....   | <b>63</b> |
| <i>Mirzaev D.A., Kulikov A.A., Koryagin Yu.D.</i> Isothermal annealing of consumable pattern castings from 35L steel.....   | <b>24</b> | <i>Shorokhov V.V.</i> Tendencies of development of small business in Russia .....  | <b>63</b> |
| <i>Emeljushin A.N., Sychkov A.B., Shecsheev M.A.</i> Investigation of weld ability of high-strength pipe steel grade K56 .....  | <b>26</b> | <i>Rassadina E.S.</i> The technique of management of costs at multiproduct process of production .....   | <b>66</b> |
| <i>Nesterenko A.M., Sychkov A.B., Sukhomlin V.I.</i> The study features of the changes of mechanical properties of microalloyed with boron rod with steel deformation aging.....  | <b>30</b> | <i>Gibadullin Z.R., Makshukov F.H., Akshentsev F.I., Trilyev A.E.</i> Involving staff in improving the organization of labor in the Sibai underground mine .....   | <b>70</b> |
| <i>Ilyasov R.S., Babkin S.E., Vostroknutova O.N.</i> Effect of the uniaxial and internal stress on the electromagnetic-acoustic transducing in ferromagnetic materials .....  | <b>33</b> | <i>Kanzychakov S.V., Lapaev V.N., Sokolovsky A.V.</i> Development of mining on by: methodical approach to managing.....  | <b>73</b> |
| <i>Steblianko V.L., Ponomarev A.P.</i> Improvement of zinc coating service properties on the basis of formation its structure features in plasma-electrolytic surface treatment.....  | <b>37</b> | <i>Shubintseva E.B.</i> Development of model of motivation and its practical application in mining production.....   | <b>76</b> |
| <i>Kuskov K.V., Kovenskiy I.M.</i> Low cycle fatigue welds of steel 09G2S .....   | <b>41</b> | <i>Vasilyeva N.F.</i> About problems of management of production stocks at the metallurgical enterprise .....  | <b>78</b> |
| <b>Standardization, Certification and Quality Management</b> .....  | <b>45</b> | <b>Pedagogics</b> .....  | <b>82</b> |
|   |           | <i>Chuprova L.V.</i> Systemic formation of the creative personality of the future specialist in the educational process in the Higher Educational Istitution ..... | <b>82</b> |
|   |           | <b>The information about the authors</b> .....   | <b>88</b> |



# РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.7.016.3:622.17

Горбатова Е.А., Ожогина Е.Г.

## ВЛИЯНИЕ МОРФОСТРУКТУРНОГО СОСТАВА ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ИХ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПЕРЕДЕЛЕ

На современном этапе развития техники наиболее экономичным и перспективным методом переработки отходов обогащения колчеданных руд является выщелачивание. Настоящая работа направлена на установление влияния морфоструктурного состава отходов обогащения на показатели извлечения цветных металлов при гидрометаллургическом переделе.

**Ключевые слова:** отходы обогащения, морфоструктурный состав, структура, выщелачивание.

The leaching is the most cost-effective and promising method of processing the waste of enrichment pyrite ores. The article suggests establishment of the influence of morphostructural the composition of the enrichment waste on the indicators of extraction of non-ferrous metals by hydrometallurgical process.

**Keywords:** enrichment waste, morphostructural composition, structure, leaching.

Горно-обогатительные предприятия цветной металлургии испытывают масштабные снижения своего сырьевого потенциала, вызванные истощением минерально-сырьевой базы и изменением качественных характеристик и технологических свойств полезных ископаемых, усложнением условий эксплуатации месторождений и сокращением финансирования геолого-разведочных работ.

Динамика изменения качества добываемых руд цветных металлов отражает систематическое снижение содержания в них полезных компонентов. Эта тенденция связана с невосполнимостью запасов полезных ископаемых в недрах и прогрессирующими темпами потребления руд цветных металлов. Она усиливается вследствие увеличения степени разубоживания добываемой горной массы, валовой выемки промышленных сортов руды, что приводит к более полному извлечению сырья из недр.

Положение усугубляется тем, что наряду с обеднением руд прослеживается качественное ухудшение их технологических характеристик. Современные руды цветных металлов отличаются сложным морфоструктурным составом, обусловленным полиминеральностью и текстурно-структурным рисунком (гранулярным составом рудных минералов, характером срастания как между собой, так и с породообразующими фазами), близостью технологических свойств рудообразующих минералов. Поэтому в них, как правило, отсутствует необходимая контрастность технологических свойств, что негативно влияет на полноту извлечения полезных минералов. Неблагоприятные для обогащения текстурно-структурные особенности руд требуют тонкого измельчения, при котором нередко происходит переизмельчение и ошламование минералов ценных металлов. При этом резко возрастает удельная поверхность материала, что создает

качественно новые условия, влияющие на механизм процессов обогащения, и служит одним из источников потерь металлов в хвостах обогащения [1].

Проблема дефицита руд цветных металлов делает актуальным не только создание эффективных технологий существующих сырьевых объектов, поиск дополнительных источников. В качестве потенциальных минеральных ресурсов, необходимых для расширения сырьевого потенциала горных предприятий, в последние годы серьезно рассматриваются отходы обогатительного передела, характеризующиеся повышенным содержанием полезных компонентов и доступностью их разработки. Только на Урале ежегодно образуется около 5 млрд т различных отходов, в том числе 6,5 млн т хвостов обогащения медных и медно-цинковых руд. Всего в регионе накоплено свыше 220 млн т хвостов обогащения. В законсервированных хвостохранилищах уральских обогатительных фабрик находится более 46 млн т отходов, содержащих 0,33% меди, 0,5% цинка и 28,2% серы.

Переработка отходов обогащения позволит снизить экологическую опасность для населения, создаваемую вредным влиянием хвостохранилищ на окружающую среду. Отходы обогащения могут использоваться не только в качестве сырья для извлечения металлов, но и в качестве строительного и дорожного материала. Для многих горно-обогатительных комбинатов техногенные объекты могут стать приоритетным, а в некоторых случаях – практически единственным источником минерального сырья.

Для вовлечения отходов обогащения руд в переработку разработаны следующие методы: репульпация хвостов с последующей перефлотацией; классификация с доизмельчением песковой фракции и с последующей флотацией; гравитационные методы обогащения с последующей флотацией; автоклавного окислитель-

ного выщелачивания; агитационного чанового выщелачивания; кучного бактериально-химического выщелачивания; кучного выщелачивания хвостов обогащения после их предварительного окомкования.

На современном этапе развития техники наиболее экономичным и перспективным методом переработки хвостов обогащения руд является их выщелачивание. Поэтому установление влияния морфоструктурного состава хвостов обогащения колчеданных руд на показатели извлечения металла при гидрометаллургическом переделе представляет практический интерес.

Хвосты обогащения колчеданных руд разных месторождений Южного Урала отличаются между собой по морфоструктурному составу и морфоструктурным характеристикам, что определяется составом исходных руд (табл. 1).

По степени литификации хвосты представляют собой несвязанный пылеватый и мелкозернистый (хвосты руд Александринского месторождения) обломочный материал (рис. 1). Обломки минеральных агрегатов хвостов характеризуются удлинением выше среднего, формой близкой к изометричной, особенно высоко изометричность проявляется в хвостах обогащения руд Майского месторождения, высокой степенью изрезанности границ зерен (близкой к 1), что говорит о ровных ортогональных границах минералов и позволяет предполагать хорошее извлечение цветных металлов.

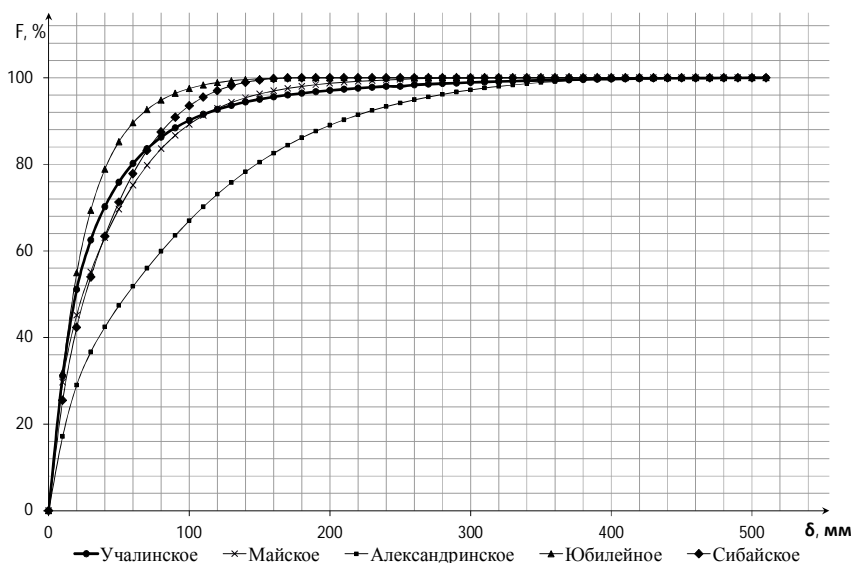


Рис. 1. Дифференциальная функция распределения дисперсного состава хвостов обогащения руд колчеданных месторождений

Минеральный состав текущих хвостов обогащения зависит от формационного типа колчеданных месторождений и от текстурных особенностей руды. Хвосты обогащения вкрапленных руд будут, в основном, сложены кварцем, а хвосты сплошных руд – пиритом.

Главные рудные минералы хвостов: пирит – 36–82%, халькопирит – до 3%, сфалерит – до 2%. В незначительном количестве присутствуют пирротин, галенит, арсенопирит, магнетит, ильменит, теннантит

и фрейбергит. Главным нерудным минералом является кварц, содержание которого варьирует в широких пределах – от 2 до 61%. В подчиненном количестве встречаются серицит, кальцит, сидерит, барит, хлорит, гипс, тальк, иллит.

Таблица 1

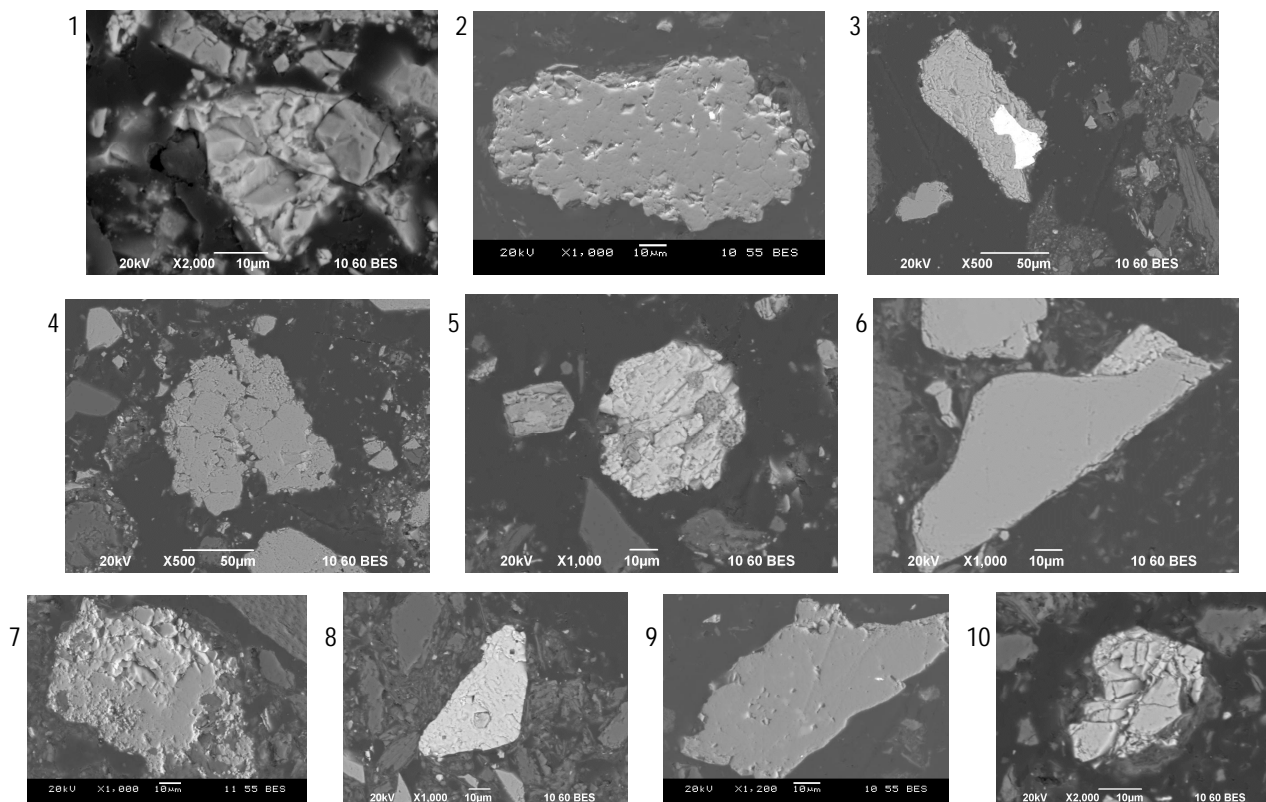
Морфометрические характеристики хвостов обогащения

| Хвосты обогащения руд месторождения | Среднее значение фактора |           |                     |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------|---------------------|
|                                     | круглой формы            | удлинения | изрезанности границ |
| Учалинское                          | 0,64                     | 0,64      | 0,85                |
| Александринское                     | 0,63                     | 0,66      | 0,83                |
| Сибайское                           | 0,71                     | 0,66      | 0,96                |
| Майское                             | 0,87                     | 0,70      | 1,1                 |
| Юбилейное                           | 0,73                     | 0,69      | 0,88                |

Текущие хвосты сложены свободными зёрнами и минеральными сростками. По минеральному составу сростки подразделяются на мономинеральные (пиритовые, халькопиритовые, сфалеритовые, магнетитовые, сидеритовые, баритовые, кварцевые и др.), биминеральные (сфалерит-пиритовые, халькопирит-пиритовые, галенит-пиритовые и др.) и полиминеральные (халькопирит-сфалерит-пиритовые, кварц-серицит-пиритовые и др.).

Для отходов обогатительного передела руд выявлено двенадцать наиболее распространенных структур: идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, интерстиционная, фрамбоидальная, краевых каемок, замещения, разъедания, пойкилитовая, эмульсионная, пластинчатая, дробления (рис. 2). (Аналитик – Ю.Ю. Ефимова, Институт Наносталей ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова».)

Зернистые структуры – идиоморфнозернистые, гипидиоморфнозернистые и аллотриоморфнозернистые (интерстиционные) отличаются формой и характером срастаний кристаллических зерен. В хвостах обогащения колчеданных руд идиоморфные и гипидиоморфные зерна, в основном, характерны для пирита, магнетита, ильменита и кварца. Сульфиды цветных металлов образуют аллотриоморфные выделения, срастаясь с зёрнами пирита разной степени идиоморфизма или выполняя пространство (интерстиции) между ними. Аллотриоморфные выделения обладают большой реакционной поверхностью. Для минеральных сростков, сформированных зёрнами различной формы и размера, типична пойкилитовая структура [2].



**Рис. 2. Структуры хвостов обогащения колчеданных руд: 1 – идиоморфный кристалл пирита в сфалеритовой массе; 2 – гипидиоморфнозернистое строение агрегата пирита с редкими аллотриоморфными выделениями галенита (белое); 3 – аллотриоморфное выделение галенита (белое); 4 – интерстиционные образования сфалерита (светло-серое) между зернами пирита (серое); 5 – фрамбоиды пирита в халькопирите; 6 – каемочные выделения халькопирита (светлое); 7 – замещение пирита (серое) халькопиритом (светло-серое); 8 – пойкилитовое включение сфалерита (серое) в барите (светлое); 9 – пойкилитовые выделения сфалерита (светло-серое) и галенита (белое) в пирите (серое); 10 – трещиноватый пирит**

Коррозионные структуры – краевые каемки, замещения, разъедания образуются в минеральных агрегатах при реакционном замещении одних минералов с отложением новых, более устойчивых минералов [3]. Структуры характеризуются проникновением одного минерала в другой, в результате чего замещаемый минерал образует неправильные по форме зерна с неровными, зазубренными краями и бухтообразными очертаниями. Глубина изменения замещаемого минерала зависит от стадии замещения. Вторичные минералы могут унаследовать состав первичного минерала или не иметь ничего общего с составом замещаемого минерала. Например, в первом случае – замещение пирита сфалеритом или халькопиритом, во втором – растворение кварца и серицита с последующим отложением на их месте галенита.

Фрамбоидальная структура характеризуется круглыми выделениями пирита с сотообразным внутренним строением, образовавшимся в результате пиритизации микроорганизмов или коацервации капель гидрата закиси железа [4]. Фрамбоиды пирита обычно плотно прилегают друг к другу. Иногда между ними отмечаются другие минералы.

Структуры распада твердых растворов – эмульсионная, пластинчатая представляют собой тонкие и за-

кономерные срастания минералов. Они характеризуются выделением микроскопических каплевидных и пластинчатых зерен в основной массе рудного минерала.

Структуры дробления наблюдаются в агрегатах, сложенных более твердыми и хрупкими минералами, такими как пирит, кварц. В результате дробления образуются трещины, плоскости деформации, сколки. Полости трещин иногда выполнены более поздними минералами (халькопиритом, сфалеритом и др.).

Установлено, что морфология минеральных сростков в определенной степени влияет на процессы выщелачивания. В этом плане целесообразно выделить три группы хвостов обогащения колчеданных руд, отличающихся строением (структурой), определяющим показатели извлечения минералов: высокие, средние и низкие (табл. 2).

Для хвостов первой группы характерны такие типы срастания минералов (структуры), которые обеспечивают свободный доступ растворителя к ним и обуславливают максимальное извлечение цветных металлов в продуктивный раствор. В эту группу объединяются структуры: идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, интерстиционная, фрамбоидная, краевых каемок и дробления.

Таблица 2

**Влияние строения хвостов обогащения колчеданных руд на извлечение ценных компонентов при гидрометаллургическом переделе**

| Показатели извлечения цветных металлов | Структура хвостов  | Морфология минералов цветных металлов  | Обоснование показателей извлечения   |
|--|--|--|--|
| Высокие                                | Идиоморфнозернистая  | Зерна пирита разной степени идиоморфизма срastaются с аллотриоморфными образованиями сульфидов цветных металлов.<br>Границы срastаний минералов ровные             | Сульфиды цветных металлов локализованы в доступных для проникновения растворов местах – каймы, трещины, интерстиции.<br>Показатели извлечения высокие  |
|  | Гипидиоморфнозернистая   |  |  |
|  | Аллотриоморфнозернистая  | Сульфиды цветных металлов выполняют пространство или интерстиции между зернами пирита.   |  |
|  | Интерстиционная  | Границы срastаний минералов неровные, волнистые  |  |
|  | Фрамбоидальные   | Аллотриоморфные выделения сульфидов цветных металлов срastaются с фрамбоидами пирита.<br>Границы срastаний минералов неровные, волнистые.                          |  |
|  | Каемчатая, фонарная (краевые каемки)   | Кольцевые атоллоидные каемки сульфидов цветных металлов вокруг пирита.<br>Границы срastаний минералов неровные, зазубренные  |  |
| Дробления                              | Сульфиды цветных металлов развиваются по трещинам пирита.<br>Границы срastаний минералов от ровных до неровных |  |  |
| Средние                                | Замещения  | Тонкие срastания минералов. Зазубренные границами между ними   | Минералы ценных компонентов являются продуктом замещения и образуют сложные формы срastаний, тем самым затрудняя процесс растворения и перевода металл в раствор.<br>Показатели извлечения средние |
|  | Разъедания   |  |  |
| Низкие                                 | Пойкилитовая   | Тонкие и субмикроскопические выделения сульфидов цветных металлов разной степени идиоморфизма в рудной или нерудной матрице.<br>Границы срastаний минералов ровные | Сульфиды цветных металлов встречаются в виде обособленных выделений в минеральной матрице, доступ выщелачивающих растворов, практически, невозможен.<br>Показатели извлечения низкие               |
|  | Эмульсионная   |  |  |
|  | Пластинчатая   |  |  |

Хвосты второй группы характеризуются сложными формами срastаний минералов, неоднородностью минерального состава, зазубренными границами между ними, что затрудняет процесс доступа растворителя к минералам с последующим их растворением.

Структуры хвостов третьей группы определяют низкое извлечение. В эту группу объединяются сложные по рисунку структуры – пойкилитовые, эмульсионные и пластинчатые. Микрометровые размеры выделений и их обособленное расположение в «минерале-хозяине» затрудняют доступ растворителя к минералам.

Таким образом, на примере хвостов обогащения колчеданных руд Южного Урала показана их неоднородность по морфоструктурному составу и строению, что оказывает непосредственное влияние на извлечение цветных металлов при гидрометаллургическом переделе. Полученные данные позволяют прогнозировать особенности отходов обогатительного передела с точки зрения их вторичной переработки, поведения в технологических процессах и качества получаемой продукции.

**Список литературы**

1. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / В.И. Ревнивцев, Е.И. Азбель, Е.Г. Баранов и др.; под. ред. В.И. Ревнищева. М.: Недра, 1987. 307 с.
2. Вахромеев С.А. Руководство по минераграфии. М.: Госгеолитиздат, 1950. 198 с.
3. Афанасьева Е.Л., Исаенко М.П. Технологическая минералогия. М.: Недра, 1988. 226 с.
4. Кизильштейн Л.Я. Фрамбоидальный пирит причастен к возрождению жизни на Земле // Природа. 2007. №1. С. 49-54.

**Bibliography**

1. Preparation of mineral raw materials to beneficiation and processing / Revnivitsev V.I., Azbel E.G., Baranov E.G. et al. M.: Nedra, 1987. 307 p.
2. Vakhromeyev S.A. A Guide to mineragraphy. M.: Gosgeolizdat, 1950. 198 p.
3. Afanasyeva E.L., Isaenko M.P. Technological mineralogy. M.: Nedra, 1988. 226 p.
4. Kizilstein L.Y. Framboidal pyrite involved in the revival of life on The Earth // Priroda. 2007. №1. P. 49-54.



# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.771:621.777

Усынина Г.П., Загиров Н.Н., Аникина В.И.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРУТКОВОЙ ЛИГАТУРЫ ИЗ СТРУЖКОВЫХ ОТХОДОВ СИЛУМИНА

Рассмотрен один из вариантов модифицирования доэвтектических силуминов, основанный на предположении о возможном измельчении зерна  $\alpha$ -твердого раствора за счет введения в расплав полученных по специальной схеме прутков-модификаторов из сортовой сыпучей стружки того же сплава, что и модифицируемый материал. Основными преимуществами такого способа являются сохранение химического состава сплава после введения модификатора, а также рациональное использование образующихся на базовом производстве в большом объеме стружковых отходов. Проведенные на действующем предприятии эксперименты по оценке модифицирующей способности полученных по разработанной схеме прутков и проволоки позволили сделать вывод о возможности достижения положительного эффекта в измельчении включений кремния в эвтектике в процессе литья под низким давлением заготовок алюминиевых автомобильных дисков колес при введении данной лигатуры.

**Ключевые слова:** стружка, силумин, пруток, проволока, расплав, модифицирование, структура, отливка, эвтектика, лигатура.

The article studies one of the ways of hypoeutectic silumin inoculation, based on the assumption of possible refinement of  $\alpha$ -solid grain by rod-modifiers made of graded granular chips of the same alloy as the modifiable material. The main advantage of this method is that the chemical composition of the alloy remains unchanged after the addition of alloying element. Furthermore, it helps the rational use of large amount of chip scrap. The experiments on the inoculating ability of rods and wire were carried out at the operating enterprise and they led to the positive result in refinement of inclusions in eutectic silicon in low pressure casting of aluminum automobile wheel rims with the addition of alloying element.

**Keywords:** chip, silumin, rod, wire, melt, modification, structure, ingot, eutectic, alloying element.

Как известно [1], в доэвтектических силуминах, к которым относится сплав АК12, основное влияние на механические характеристики оказывает морфология кремниевых кристаллов в эвтектике – чем они дисперснее, тем выше как прочностные, так и пластические свойства материала. Кремний при затвердевании эвтектики в сплаве АК12, как правило, выделяется в виде нежелательных грубых кристаллов игольчатой и пластинчатой формы, которые играют роль внутренних надразов в пластичном  $\alpha$ -твёрдом растворе. Сплавы с такой структурой обладают низкими механическими свойствами, что может приводить к снижению эксплуатационных характеристик изделий.

Для улучшения структуры, повышения механических и технологических свойств силуминов перед разливкой их подвергают модифицированию. Из существующих модификаторов алюминий-кремниевой эвтектики наибольшее предпочтение в настоящее время уделяется использованию лигатуры AlSr10.

Введение стронциевой лигатуры приводит к модифицированию кремниевой фазы от формы крупных пластин в составе эвтектики до тонкодифференцированного, широкоразветвленного дендрита за счет увеличения степени разветвленности и уменьшения толщины ветвей эвтектического бикристалла, что улучшает качество отливки, повышая ее прочность и, особенно, пластичность.

Однако поиск новых модификаторов и более совершенного механизма модифицирования продолжают. Свидетельством тому является совершенно новый подход к его описанию, основанный на представлениях о кластерном строении жидкого кристаллизующегося металла [2].

Согласно данной теории предполагается возможным измельчение зерна  $\alpha$ -твердого раствора за счет вве-

дения прутков-модификаторов из того же сплава, что и модифицируемый материал. Такие модификаторы во-первых, не содержат специально вводимых элементов. А во-вторых, при растворении прутков в кристаллизующемся металле используют их способность влиять на состояние кластерной структуры кристаллизующегося слитка, что и обеспечивает модифицирование сплава.

Таким образом, одной из основных причин получения мелкого зерна является процесс гомогенного зарождения центров кристаллизации основного вещества в результате преобразования кластеров в устойчивые зародыши, число которых в переохлажденной жидкости несоизмеримо больше, чем число любых инородных частиц, вводимых в расплав с модификаторами [3].

Разработанный кластерный механизм модифицирования алюминиевых сплавов был использован при исследовании модифицирующей способности прутков и проволоки из стружковых отходов сплава АК12. Учитывая двухфазность такого материала, можно было ожидать роста числа и уменьшения размерных характеристик как основного алюминиевого твердого раствора, так и эвтектических колоний.

В общем виде схема изготовления прутков модифицирующего назначения приведена на рис. 1, где указаны также и основные параметры осуществления той или иной операции технологической цепочки [4].

Для проверки потенциальной возможности использования полученных по предлагаемой схеме прутков в качестве модификаторов на предприятии ООО «КиК» был проведен эксперимент, который заключался в следующем: пруток  $\varnothing 8$  мм, полученный методом горячей экструзии из стружки сплава АК12, вводили в расплав силумина. Работа проводилась с приготовлением плавок в лабораторной печи с шамотовым тиглем емкостью 3 кг и отливкой проб  $\varnothing 50$  мм.



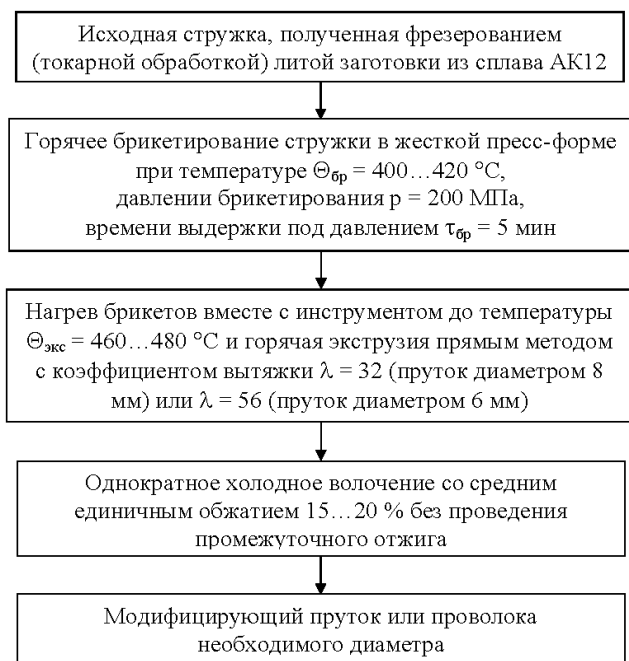


Рис. 1. Общая технологическая схема получения модифицирующего прутка из стружки сплава АК12

На рис. 2 представлена структура вводимого в расплав прутка.

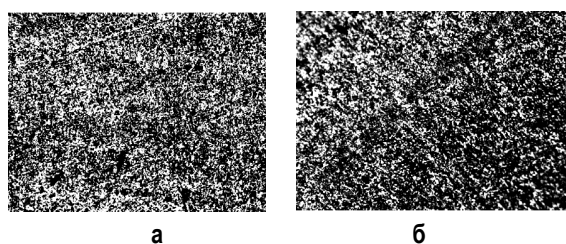


Рис. 2. Характерная микроструктура прутка диаметром 8 мм в продольном (а) и поперечном (б) сечениях, ×320

Структура прутка имеет достаточно однородное и плотное строение с небольшой микронесплошностью и дисперсными включениями кремниевых частиц.

В табл. 1 приведен химический состав сплава AlSi10, не модифицированного алюминий-стронцевой лигатурой и приготовленного с использованием в качестве модификатора разного количества прутка Ø8 мм из стружковых отходов сплава АК12.

Таблица 1

Химический состав сплава AlSi10 с разным количеством введенного прутка из стружки АК12

| Номер пробы | Количество вводимого прутка, % | Содержание (помимо Al) химических элементов в сплаве, % |       |        |        |        |        |        |
|-------------|--------------------------------|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             |                                | Si  | Fe    | Mg     | Ti     | Ca     | Na     | Sr     |
| 1           | 0                              | 9.80  | 0.086 | 0.0001 | 0.0057 | 0.0008 | 0.0004 | 0.0003 |
| 2           | 1.35                           | 9.85  | 0.092 | 0.0018 | 0.0082 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0005 |
| 3           | 4.35                           | 9.97  | 0.092 | 0.0029 | 0.013  | 0.0008 | 0.0003 | 0.0009 |

Анализ структуры полученных отливок (рис. 3) показал, что с увеличением количества вводимого в

расплав прутка происходит заметное изменение морфологии и измельчение частиц кремния в эвтектике. Наименьший эффект измельчения получен при 1.35% содержании прутка в сплаве, а наибольший – при 4.35%. Объяснить данное явление можно, по-видимому, тем, что в расплаве создаются микрообъемы, в которых частицы обладают значительно меньшими, чем в основной массе, скоростями перемешивания, а следовательно, более низкими температурами. Количество «вымороженных» зон определяется статистическими законами распределения. Они формируются случайным образом за счет флуктуаций, находятся в квазиравновесии с окружающим их расплавом, распределены равномерно по всему объему расплава, имеют малое время жизни. В то же время при добавлении опытного прутка происходит термическое переохлаждение расплава, в результате которого доля подобных участков существенно увеличивается. В этих ограниченных микрообъемах, соизмеримых с межатомным расстоянием, сохраняется организованное расположение частиц, которое примерно повторяет характер размещения их в твердом металле. Такие упорядоченные группировки и называют сиботаксами или кластерами, на основе которых образуются зародыши твердого металла при кристаллизации.

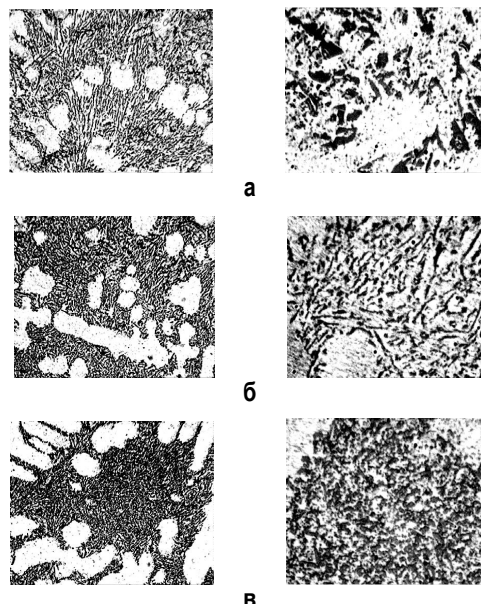


Рис. 3. Микроструктура сплава AlSi10 до введения прутка из стружковых отходов (а), после введения прутка в количестве 1.35% (б), после введения прутка в количестве 4.35% (в)

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что с увеличением числа кластеров растет количество центров зарождения эвтектических колоний кремниевых частиц, в которых они приобретают не игольчатую, а тонкоразветвленную форму, что благоприятно сказывается на механических и литейных свойствах отливок. Наличие в стружковых лигатурных прутках небольшого количества равномерно распределенного стронция обеспечивает реализацию модифицирующего эффекта в отношении ограничения роста ограниченных кристаллов в эвтектике и повышения степени ветвления эвтектических бикристалльных колоний.

Применение для модифицирования прутка, изго-

товленного из стружковых отходов, дает определенные преимущества, среди которых можно выделить сохранение химического состава сплава после введения модификатора, а также использование большого количества отходов производства, образовавшихся при механической обработке деталей из того же сплава. В то время как использование других модификаторов, типа Al-Ti, Al-Ti-B, Al-Sr, приводит к загрязнению сплава интерметаллидами  $Al_3Ti$ ,  $TiB_2$ ,  $SrAl_4$ , которые являются дополнительными концентраторами напряжений в отливках.

Кроме получения тонкодифференцированной эвтектики, в случае использования силуминового прутка из стружковых отходов в отливках также не наблюдается и образования, так называемой, «перемодифицированной» структуры. В перемодифицированных силуминах (при использовании модификаторов AlTiB и AlSr) на границах колоний эвтектики отмечается резкое огрубление структуры. В этих участках выделяются не только укрупненные частицы кремния, но и иглообразные железосодержащие фазы (рис. 4).

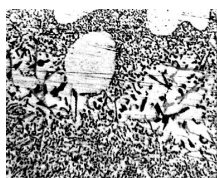


Рис. 4. Перемодифицированная структура при использовании модификаторов AlTiB и AlSr, x200

Грубые образования на границах эвтектических колоний становятся концентраторами напряжений и оказывают отрицательное влияние на усталостные и другие эксплуатационные свойства изделий. В частности, приводят к преждевременному образованию трещин при стендовых испытаниях автомобильных колес из сплава АК12 (табл. 2).

Таким образом, кластерная теория модифицирования при введении прутков из стружковых силуминовых отходов позволяет не только объяснить механизм измельчения частиц кремния в эвтектике Al+Si, но и подтверждает тот факт, что причиной образования перемодифицированной структуры в сплаве АК12 является введение специальных модификаторов типа AlTiB и AlSr.

Стремление к увеличению количества центров кристаллизации на основе введения более диспергированного кремния позволило предположить, что гораздо эффективнее было бы использовать в качестве лигатуры не прессованный пруток, а проволоку, полученную путем холодного волочения прутка, поскольку с увеличением степени деформации структура металла становится более равномерной и дисперсной, уменьшаются по размеру частицы кремния и, как следствие, большее их количество размещается в единице объема. Это, в свою очередь, может благоприятно повлиять на строение образуемых при растворении лигатуры кластеров, а соответственно, и на структуру кристаллизующегося расплава.

С целью изучения данного вопроса из прутка Ø8 мм была получена проволока Ø4.2, 4.95 и 6.2 мм.

Использование проволоки диаметром меньше 4.2 мм представлялось нецелесообразным, поскольку дальнейшее увеличение степени деформации проволоки не приводило к заметному качественному изменению ее структуры, а следовательно, не могло оказать дополнительного влияния на структуру образующихся кластеров. При этом усложнялся бы сам процесс производства проволоки, обусловленный необходимостью проведения дополнительных переходов волочения и промежуточных отжигов.

Таблица 2

**Сравнительная оценка структуры и результаты стендовых испытаний колес, изготовленных по традиционной и предлагаемой схеме модифицирования**

| Название структуры   | Структура                      | Результаты стендовых испытаний колес |
|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| Модифицированная прутком из стружковых отходов сплава АК12 | <p>X100<br/>X1000</p>          | Трещины отсутствуют                  |
| Перемодифицированная лигатурами Al-Ti-B и Al-Sr            | <p>X100<br/>X300<br/>X1000</p> | Трещины в колесах                    |

Для проведения экспериментов были приготовлены 3 плавки в промышленной печи САТ-0.25. Пробы для исследования микроструктуры, определения химического состава и изучения механических свойств образцов отбирались до введения проволоки, после введения соответственно 1.5, 3 и 4.5% проволоки каждого из Ø6.2, 4.95 и 4.2 мм. Таким образом, представлялось возможным определить влияние степени деформации вводимой проволоки и ее количества на структуру и механические свойства получаемых отливок.

Отливка проб производилась в предварительно подогретый до 300°C кокиль. Это делалось для того, чтобы исключить влияние скорости охлаждения на степень модифицирования.

Химический состав и механические свойства отобранных проб приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Химический состав опытных образцов

| Исследуемая проба        | Химический состав, вес% |       |        |       |        |        |       |        |        |        |         |      |
|--------------------------|-------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|------|
|                          | Si                      | Fe    | Cu     | Mg    | Ni     | Zn     | Ti    | B      | Pb     | Sn     | Sr      | Al   |
| Проволока Ø 4.2 мм       |                         |       |        |       |        |        |       |        |        |        |         |      |
| До введения проволоки    | 11.21                   | 0.260 | 0.0032 | 0.054 | 0.0014 | 0.0087 | 0.124 | 0.001  | 0.0025 | 0.0033 | 0.0022  | 88.1 |
| 1.5% введенной проволоки | 11.18                   | 0.277 | 0.0038 | 0.051 | 0.0017 | 0.0096 | 0.122 | 0.001  | 0.0026 | 0.0039 | 0.0015  | 88.1 |
| 3.0% введенной проволоки | 11.22                   | 0.296 | 0.0040 | 0.050 | 0.0018 | 0.0092 | 0.123 | 0.0009 | 0.0026 | 0.0037 | 0.012   | 88.1 |
| 4.5% введенной проволоки | 11.07                   | 0.200 | 0.0044 | 0.049 | 0.0016 | 0.0088 | 0.092 | 0.0006 | 0.0026 | 0.0035 | 0.00098 | 90.5 |
| Проволока Ø 4.95 мм      |                         |       |        |       |        |        |       |        |        |        |         |      |
| До введения проволоки    | 10.85                   | 0.237 | 0.0015 | 0.044 | 0.0026 | 0.0110 | 0.091 | 0.0008 | 0.0027 | 0.0037 | 0.00160 | 90.7 |
| 1.5% введенной проволоки | 10.98                   | 0.248 | 0.0022 | 0.041 | 0.0024 | 0.0110 | 0.097 | 0.0007 | 0.0027 | 0.0038 | 0.0012  | 90.6 |
| 3.0% введенной проволоки | 10.0                    | 0.259 | 0.0023 | 0.041 | 0.0026 | 0.010  | 0.094 | 0.0006 | 0.0026 | 0.0037 | 0.0011  | 90.6 |
| 4.5% введенной проволоки | 10.06                   | 0.264 | 0.0030 | 0.040 | 0.0024 | 0.010  | 0.092 | 0.0006 | 0.0026 | 0.0035 | 0.00098 | 90.5 |
| Проволока Ø 6.2 мм       |                         |       |        |       |        |        |       |        |        |        |         |      |
| До введения проволоки    | 11.04                   | 0.204 | 0.0008 | 0.036 | 0.0012 | 0.0099 | 0.114 | 0.0004 | 0.0024 | 0.0025 | 0.0033  | 88.6 |
| 1.5% введенной проволоки | 10.96                   | 0.222 | 0.0013 | 0.035 | 0.0014 | 0.0099 | 0.115 | 0.0004 | 0.0024 | 0.0028 | 0.0024  | 88.6 |
| 3.0% введенной проволоки | 10.94                   | 0.223 | 0.0014 | 0.035 | 0.0012 | 0.010  | 0.118 | 0.0004 | 0.0024 | 0.0030 | 0.0023  | 88.7 |
| 4.5% введенной проволоки | 10.92                   | 0.226 | 0.0016 | 0.034 | 0.0010 | 0.0097 | 0.118 | 0.0003 | 0.0024 | 0.0028 | 0.0022  | 88.7 |

Из сопоставления механических свойств полученных опытных образцов следует, что заметный прирост прочностных и пластических характеристик отливок наблюдается с введением в расплав в качестве модификатора проволоки Ø4.2 мм в количестве 3.0-4.5%. Введение проволоки в количестве 1.5% приводит к незначительным изменениям механических свойств исследуемых образцов. Это же касается и использования проволоки Ø6.2 мм в любом количестве.

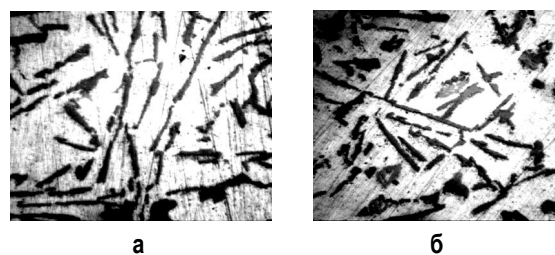
Таблица 4

Механические свойства опытных образцов

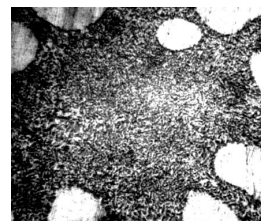
| Механические свойства проб           | До введения проволоки | После введения 1.5% проволоки | После введения 3.0% проволоки | После введения 4.5% проволоки |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Проволока Ø 4.2 мм                   |                       |                               |                               |                               |
| Предел прочности $\sigma_b$ , МПа    | 172.6                 | 213.6                         | 217.3                         | 237.1                         |
| Относительное удлинение $\delta$ , % | 3.67                  | 5.25                          | 5.0                           | 7.33                          |
| Проволока Ø 4.95 мм                  |                       |                               |                               |                               |
| Предел прочности $\sigma_b$ , МПа    | 171.3                 | 184.9                         | 190.1                         | 197.8                         |
| Относительное удлинение $\delta$ , % | 4.0                   | 4.0                           | 5.0                           | 7.17                          |
| Проволока Ø 6.2 мм                   |                       |                               |                               |                               |
| Предел прочности $\sigma_b$ , МПа    | 171.6                 | 176.4                         | 175.2                         | 174.6                         |
| Относительное удлинение $\delta$ , % | 3.5                   | 3.92                          | 3.93                          | 3.93                          |

Подтверждением отмеченных закономерностей изменения свойств образцов послужили результаты изучения их микроструктуры. Недостаточное количество (1.5%) введенной в расплав проволоки не позво-

ляет достичь требуемой степени модифицирования структуры. При этом наблюдается грубоигольчатое строение эвтектики (рис. 5).

Рис. 5. Исходная микроструктура сплава АК12 (а) и с введением 1.5% проволоки (б),  $\times 1000$ 

Введение 3.0-4.5% проволоки обеспечивает получение тонкодисперсного строения алюминий-кремниевой эвтектики (рис. 6).

Рис. 6. Микроструктура сплава АК12 при введении 3.0-4.5% проволоки из стружковых отходов этого же сплава,  $\times 1000$ 

При этом уменьшение диаметра вводимой проволоки с 6.2 до 4.2 мм приводит к повышению плотности частиц кремния на единице площади (рис. 7), что можно связать с измельчением частиц кремния в алюминиевой матрице за счет увеличения степени деформации при волочении. Это позволяет при погружении проволоки в расплав обеспечить более высокую степень



термического переохлаждения расплава, что, в свою очередь, приводит к увеличению количества упорядоченных группировок-кластеров, являющихся зародышами эвтектических колоний при кристаллизации.

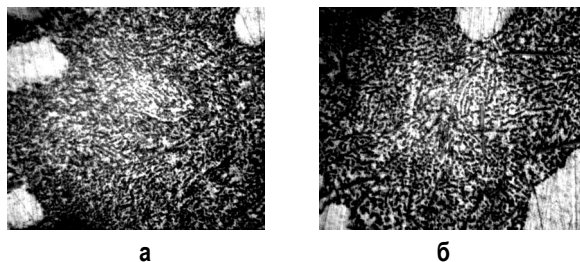


Рис. 7. Микроструктура силумина после введения проволоки  $\varnothing$  4.2 мм (а) и  $\varnothing$  6.2 мм (б) из стружковых отходов сплава АК12,  $\times 1000$

Обобщая все вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что введение в расплав проволоки, полученной из стружковых отходов сплава АК12, приводит к измельчению включений кремния в эвтектике отливок из того же сплава. При этом максимальный модифицирующий эффект достигается при введении ее в расплав в количестве не менее 3%. При меньшем ее содержании ( $\sim 1.5\%$ ) не обеспечивается эффект модифицирования эвтектики. В заключение необходимо также отметить, что все представленные в работе материалы получены с использованием стружки, образующейся при механической обработке отливок из сплава АК12, модифицированных стронцием. Поскольку стронций способствует разветвлению бикри-

сталльных эвтектических колоний, его значение не исключается в суммарном эффекте модифицирования расплава стружковой проволокой. При этом роль высокодисперсных кремниевых частиц, вводимых в расплав перед разливкой, связана с увеличением числа зародышей образующихся эвтектических колоний. Суммарный эффект модифицирования и обеспечивает дополнительный прирост механических свойств кристаллизующегося сплава.

#### Список литературы

1. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гермаш Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М.: Metallurgy, 1977. 272 с.
2. Пат. 2257419 РФ. Способ получения модифицирующих материалов для алюминия и его сплавов / Клишко А.П., Биронт В.С., Загиров Н.Н. и др. Оpubл. 27.07.05. Бюл. №21.
3. Влияние структуры лигатурных материалов на модифицирующий эффект при литье слитков алюминиевых сплавов / А.П. Клишко и др. // Технология легких сплавов. 2001. №2. С. 14-19.
4. Технологическая схема получения лигатурного прутка из стружки силумина, исключаящая ее переплав / Загиров Н.Н., Аникина В.И., Усынина Г.П., Юриков А.С., Иванов Е.В. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. №1. С. 34-38.

#### Bibliography

1. Stroganov G.B., Rotenberg V.A., Gershman G.B. Aluminum alloys with silicon. M.: Metallurgy, 1977. 272 p.
2. Patent 2257419 RF, MPK B 22 C 1/03. Method of making modifying materials for aluminum and its alloys / Klimko A.P., Biron V.S., Zagirov N.N., etc.
3. Inoculation effect of alloying material structure in casting ingots of aluminum alloys / A.P. Klimko, etc. // Technology of Light Alloys. 2001, № 2. P. 14-19.
4. Manufacturing scheme of grain refiner rod made of silumin chip, excluding its remelting. / Zagirov N.N., Anikina V.I., Usynina G.P., Yurikov A.S., Ivanov E.V. // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. Magnitjorsk, 2011. №1. P. 34-38.

# ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.313.292.001.2

Вигриянов П.Г.

## ПУЛЬСАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА УПРАВЛЯЕМЫХ ДЕВЯТИФАЗНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ОТКАЗАХ ТИПА «ОБРЫВ»

В статье изложены результаты расчета пульсаций токовой составляющей электромагнитного момента управляемого девятифазного вентильного двигателя с гальванически развязанными фазами обмотки якоря для заданного диапазона частот вращения при изменении угла управления коммутацией в пределах одного межкоммутационного интервала для отказов «обрыв силового ключа полупроводникового коммутатора» и «обрыв фазы электромеханического преобразователя».

**Ключевые слова:** девятифазный вентильный двигатель, электромагнитный момент, пульсации момента, отказ элемент, обрыв ключа полупроводникового коммутатора, обрыв фазы электромеханического преобразователя.

The article presents the result of calculation of the current ripple component of the electromagnetic torque controlled nine-phase valve engine with galvanically separated phases of the armature winding for a given speed range when the angle switching control in a single interval for failure intercommutating «break the power semiconductor switch key» and «termination phase electromechanical transducer».

**Keywords:** nine-phase valve engine, the electromagnetic torque, pulse time, the refusal element, break key semiconductor switch, phase loss of the electromechanical transducer.

Вентильные электроприводы малой мощности применяются во многих отраслях промышленности и техники: в системах управления полетом, космических и промышленных роботах, манипуляторах, металлорежущих станках, медицине, устройствах звукозаписи и видеозаписи [1–5].

В настоящее время к этим приводам часто предъявляются повышенные требования по уровню пульсаций электромагнитного момента и показателям надежности, которые могут быть удовлетворены путем разработки новых конструктивных решений электрических двигателей. Наиболее перспективными исполнительными элементами электропривода являются вентильные двигатели (ВД) постоянного тока за счет их высокой надежности и широких возможностей для резервирования [6–9]. Увеличение числа фаз электромеханического преобразователя (ЭМП) такого двигателя обеспечивает не только структурную избыточность, но и дает возможность управления коммутационными процессами, то есть создает алгоритмическую избыточность. Совокупность этих двух факторов позволяет в случае отказов элементов обеспечить работоспособное состояние многофазного двигателя и снизить степень влияния отказа на выходные координаты машины путем изменения величины питающего напряжения, алгоритмов коммутации фаз обмотки или угла управления коммутацией.

В работе [10] показано, что подавляющее большинство отказов элементов схемы ВД могут быть сведены к четырем основным видам отказов силовой части машины: обрыв и короткое замыкание силового ключа полупроводникового коммутатора (ОК и КК), обрыв и короткое замыкание фазы электромеханического преобразователя (ОФ и КФ). По характеру проявления отказов их можно разделить на два вида: отказы типа «обрыв» (это ОК и ОФ) и отказы типа «короткое замыкание» (КК и КФ). По статистическим данным [11] для машин си-

стем автоматики в 70% случаев отказов наблюдается обрыв обмотки в 30% – замыкание, если в процессе эксплуатации нагрузки не превышали допустимых уровней.

**Постановка задачи.** Требуется оценить величину пульсаций электромагнитного момента управляемых девятифазных ВД при отказах элементов силовой части типа «обрыв».

С точки зрения повышения надежности наиболее перспективным способом питания обмотки якоря является схема двигателя с гальванически развязанными фазами (рис. 1). В такой машине каждая фаза представляет собой независимый электрический контур, сохраняя при этом электромагнитные связи со всеми остальными электрическими контурами. При работе двигателя силовые ключи полупроводникового коммутатора (ПК) VT1, VT4 (и VT2, VT3) работают одновременно. При открывании первой пары ключей начало фазы  $S_k$  подключается к положительной шине через ключ VT1, а конец этой фазы – к отрицательной шине через ключ VT4. Для реверсирования тока первая пара ключей закрывается и открывается вторая пара.

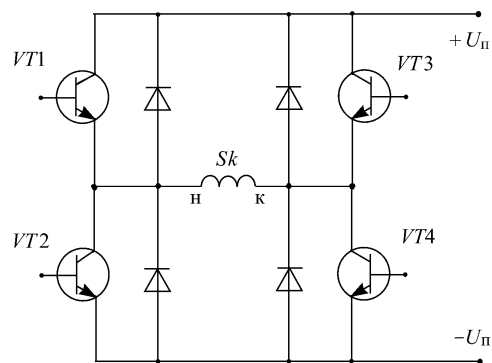


Рис. 1. Схема включения фазы при гальванически развязанных фазах обмотки якоря



Отказ «обрыв ключа ПК» возникает в том случае, если в процессе работы происходит обрыв одного из любой пары ключей. При этом на одной половине тактов фаза отключена от источника питания, а на второй половине тактов коммутируется исправной парой ключей и фаза участвует в работе машины так же, как и при работе в исправном состоянии (зависимость ОК на рис. 2). Отказ «обрыв фазы ЭМП» приводит к тому, что фаза не участвует в преобразовании энергии на всех тактах периода повторяемости электромагнитных процессов (зависимость ОФ на рис. 2).

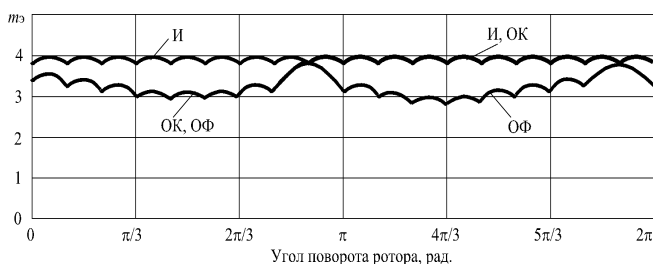


Рис. 2. Пульсации токовой составляющей электромагнитного момента ВД в исправном состоянии (И) и отказах элементов силовой части «обрыв ключа ПК» (ОК), «обрыв фазы ЭМП» (ОФ) (при  $\xi=0,25; V=0,4; \theta_y=0$ )

Для выяснения влияния отказов «обрыв ключа ПК» и «обрыв фазы ЭМП» на величину пульсаций токовой составляющей электромагнитного момента нашего двигателя воспользуемся программным обеспечением, разработанным на основе общей методики расчета мгновенных значений координат для многофазных ВД двигателей в нормальных и аварийных режимах работы [10]. Расчет проводится в относительных единицах.

Расчет пульсаций момента проводится в такой последовательности. Сначала рассчитываем мгновенные значения фазных координат и электромагнитного момента двигателя в исправном состоянии при заданной относительной частоте вращения и угле управления коммутацией, затем вводим метку отказа и определяем период повторяемости электромагнитных процессов (его первый и последний такты). После этого проводим расчет мгновенных значений электромагнитного момента на периоде повторяемости электромагнитных процессов, последовательно переходя от начального такта коммутации до конечного такта. В результате получаем зависимости мгновенного значения токовой составляющей электромагнитного от угла поворота ротора для каждого вида отказа. Пример таких зависимостей приведен на рис. 2. После этого определяем минимальное  $m_{\min}$ , максимальное  $m_{\max}$  значения момента и проводим численное интегрирование для определения среднего значения момента на периоде повторяемости  $m_{\text{ср}}$ .

Величину пульсаций электромагнитного момента будем оценивать по отношению разности максимального и минимального моментов к среднему моменту, выраженному в процентах

$$\Delta m, \% = (m_{\max} - m_{\min}) / m_{\text{ср}} \cdot 100\%.$$

Рассмотрим пульсации момента деятифазных управляемых ВД для отказов типа «обрыв» элементов силовой части при регулировании угла управления коммутацией в пределах одного МКИ при одинаковой величине индуктивности фаз обмотки якоря. Индуктивность обмотки удобно учитывать при помощи коэффициента  $\xi$ , который по своей сути является относительным индуктивным сопротивлением фазы обмотки якоря при базовой частоте вращения. Относительная угловая частота вращения определяется по выражению

$$V = \frac{E_m}{U_n},$$

где  $E_m$  – амплитуда ЭДС основной гармоники фазы;  $U_n$  – номинальное напряжение питания двигателя.

На рис. 3 приведены зависимости относительных пульсаций токовой составляющей электромагнитного момента  $\Delta m, \%$  в случаях отказов типа «обрыв» при регулировании угла управления коммутацией в пределах одного МКИ  $\theta_y = \pm 10^\circ$  ( $\pm \pi/18$ ) для диапазона частот вращения  $V=0,05-0,85$  при относительной индуктивности обмотки якоря  $\xi=0,25$ .

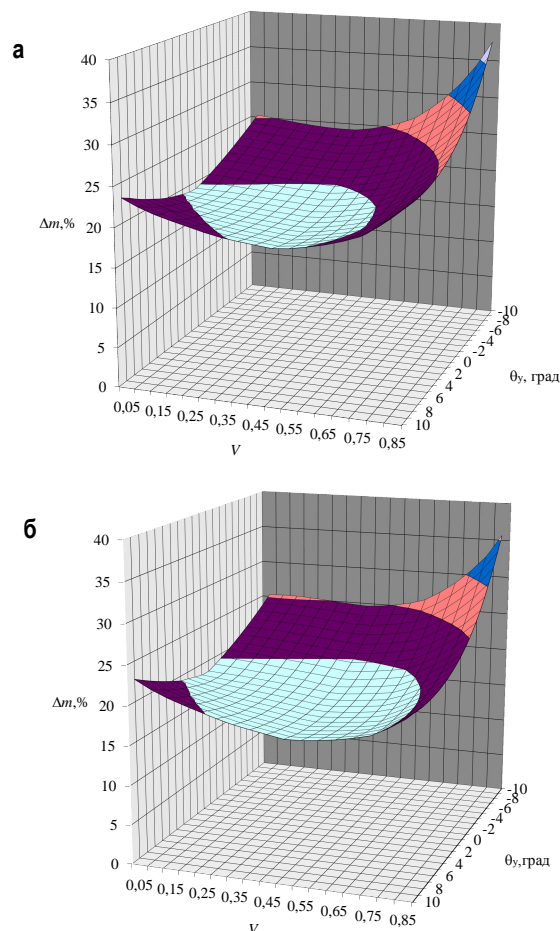


Рис. 3. Пульсации электромагнитного момента деятифазного ВД при отказах «обрыв ключа ПК» (а) и «обрыв фазы ЭМП» (б) при  $\xi=0,25; V=0,05-0,85; \theta_y = \pm 10^\circ$

Сначала проведем оценку относительной величины пульсаций момента ( $\Delta m, \%$ ) при нейтральной коммутации ( $\theta_y=0$ ). В случае отказа «обрыв ключа ПК» (рис. 3, а) величина пульсаций момента сначала уменьшается с 19,75% (при  $V=0,05$ ) до 18,8% (при  $V=0,45$ ), затем увеличивается до 26,6% (при  $V=0,85$ ). Регулирование угла управления в сторону отстающей коммутации при любой частоте вращения ведет к росту уровня пульсаций. При регулировании угла управления в сторону опережения величина пульсаций сначала снижается до минимального значения, а затем увеличивается. Так, при  $V=0,05$  минимальный уровень пульсаций имеем при  $\theta_y=+1^\circ$ , самый меньший уровень пульсаций – 18,47% (при  $V=0,45$ ;  $\theta_y=3^\circ$ ), а при  $V=0,85$  пульсации составляют 24,52% при угле управления  $+6^\circ$ .

Характер изменения величины пульсаций для предельных значений угла управления  $\theta_y=\pm 10^\circ$  одинаков, однако имеются количественные различия: при отстающей коммутации  $\theta_y=-10^\circ$  величина пульсаций сначала снижается с 25,27% на 0,64%, а затем возрастает на 11% относительно минимального значения. При опережающей коммутации  $\theta_y=+10^\circ$  уровень пульсаций сначала снижается на 5,5% ( $V=0,5$ ), а затем возрастает на 3,9% ( $V=0,85$ ). В результате величина пульсаций при  $V=0,85$  оказывается меньше, чем при  $V=0,05$ . С ростом относительной частоты вращения минимальный уровень пульсации момента смещается в сторону большей величины угла управления ( $\theta_y=+1^\circ$  при  $V=0,05$  и  $\theta_y=+6^\circ$  при  $V=0,85$ ).

Таким образом, изменение угла управления коммутацией в пределах одного МКИ для выбранного диапазона частот вращения позволяет получить в уровень пульсаций электромагнитного момента ВД при отказах «обрыв ключа ПК» в пределах 18,47–37,45%.

При отказах «обрыв фазы ЭМП» (рис. 3, б) наблюдаются аналогичные закономерности, но имеются количественные различия. Так, при нейтральной коммутации уровень пульсаций момента снижается с 19,2% (при  $V=0,05$ ) до 17,78 (при  $V=0,45$ ), а затем возрастает до 23,14% (при  $V=0,85$ ). Характер изменения величины пульсаций момента сохраняется при регулировании угла управления коммутацией в сторону опережения и отставания сохраняется, только величины пульсаций момента при обрыве фазы будут меньше, чем при обрыве ключа (на 0,01–0,3% при  $V=0,05$  и 2–3% при  $V=0,85$ ). Минимальная величина пульсаций момента при таком отказе составляет 17,04% при  $V=0,5$  и  $\theta_y=+5^\circ$ . Перемещение минимального значения уровня пульсаций момента в область опережающей коммутации объясняется длительностью протекания коммутационных процессов. При малых частотах вращения это влияние на мгновенные значения координат меньше, поскольку коммутационные процессы занимают меньшую часть МКИ и угол управления  $\theta_y = +1^\circ$  мал. При высоких частотах вращения эти процессы занимают все большую часть МКИ, и для получения минимальной величины пульсаций момента следует увеличивать угол управления коммутацией до  $\theta_y=+6^\circ$  при  $V=0,85$ .

Таким образом, при изменении угла управления коммутацией в пределах одного МКИ для выбранного

диапазона частот вращения получим уровень пульсаций электромагнитного момента ВД при отказах «обрыв фазы ЭМП» в пределах 17–35,6%.

Для сравнения величины пульсаций при отказах элементов с величиной пульсаций исправной машины следует добавить, что при нейтральной коммутации величина пульсаций увеличивается с 1,6% (при  $V=0,05$ ) до 2,0% (при  $V=0,85$ ). А для предельных углов управления с ростом частоты вращения величина пульсаций уменьшается с 6,2% (при  $V=0,05$ ) до 5,4% (при  $V=0,85$ ) при отстающей коммутации и с 4,3 до 3,6% при опережающей коммутации.

Полученные результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что при отказах «обрыв фазы ЭМП» величина пульсаций токовой составляющей электромагнитного момента меньше, чем при отказах «обрыв ключа ПК».

Поскольку величина пульсаций момента часто является критерием оценки работоспособного состояния управляемого ВД, то полученные результаты могут быть использованы в качестве такового при разработке вентильных электроприводов повышенной надежности.

### Выводы

1. Получены зависимости величины пульсаций токовой составляющей электромагнитного момента девятифазных управляемых ВД малой мощности с гальванически развязанными фазами обмотки якоря для выбранного диапазона частот вращения при регулировании угла управления коммутацией в пределах одного межкоммутационного интервала.

2. Проведена оценка влияния отказов типа «обрыв» на величину пульсаций электромагнитного момента при постоянной индуктивности обмотки якоря. Установлена степень влияния этих отказов на величину пульсаций управляемых девятифазных ВД.

3. Предложены критерии оценки работоспособного состояния ВД при возникновении отказов типа «обрыв» и «короткое замыкание».

### Список литературы

1. Балагуров В.А., Гридин В.М., Лозенко В.К. Бесконтактные двигатели постоянного тока. М.: Энергия, 1975. 128 с.
2. Овчинников И.Е., Лебедев Н.И. Бесконтактные двигатели постоянного тока. Л.: Наука, 1979. 270 с.
3. Михайлов О.П. Перспективы развития автоматизированного электропривода металлорежущих станков // Электричество. 1985. № 10. С. 11-17.
4. Управляемые бесконтактные двигатели постоянного тока / Адволоткин Н.П., Гращенков В.Т., Лебедев Н.И., Овчинников И.Е., Стыцына А.К. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 160 с.
5. Брускин Д.Э., Зубакин С.И. Самолеты с полностью электрифицированным оборудованием // Итоги науки и техники. Электрооборудование транспорта. М.: ВИНТИ, 1986. №6. С. 1-112.
6. Надежность и эффективность в технике. Методология. Организация. Терминология: справочник / под ред. А.И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. Т.1. 224 с.
7. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
8. Лозенко В.К. Вентильные двигатели для авиационных механизмов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: Изд-во МЭИ, 1985. 35 с.
9. Сандалов В.М. Резервированные электроприводы на базе вентильных двигателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. 18 с.
10. Вигринов П.Г. Электромагнитные процессы многофазных вентильных двигателей: монография. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. 143 с.
11. Белецкий В.В. Теория и практические методы резервирования радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1977. 104 с.

## Bibliography

1. Balagurov V.A., Gridin V.M., Lozenko V.K. Contactless DC motors. Moscow: Energiya, 1975. 128 p.
2. Ovchinnikov I.T., Lebedev N.I. Contactless DC motors. Leningrad: Nauka, 1979. 270 p.
3. Mikhailov O.P. Prospects for the development of automated electron troprivoda Machine Tools // Electricity. In 1985. Number 10. P. 11-17.
4. Advolotkin N.P., Grashchenkov V.T., Lebedev N.I., Ovchinnikov I.E., Stylysyna A.K. Managed contactless DC motors. L.: Energoatomizdat, 1984. 160 p.
5. Bruskin D.E., Zubakin S.I. Aircraft with a fully-dated equipment elektrifitsi // Results of science and technology. Tion for electrical transport. VINITI. In 1986. №6. P. 1-112.
6. The reliability and efficiency of the technique. Methodology. Organization. Terminology: A Handbook, ed. A. Rembeza. Moscow Machine-Building, 1986. V.1. 224 p.
7. Khazov B.F., Didusev B.A. Guide to the calculation of the reliability of machines at the design stage. Moscow: Mashinostroyeniye, 1986. 224 p.
8. Lozenko V.K. Rotary engines for aircraft mechanisms: summary of the thesis. Dr. ... technical. Sciences. M. Univ Dept, 1985. 35 p.
9. Sandalov V.M. Redundant electric motors based on the gate: summary of the thesis. ... Candidate. Technical. Sciences. Chelyabinsk: Publishing House of the South Ural State University, 2000. 18 p.
10. Vigrayanov P.G. The electromagnetic processes of multiphase valve engines: a monograph. Chelyabinsk: Publishing House of the South Ural State University, 2007. 143 p.
11. Beletsky V.V. The theory and practical methods of backup electronic equipment. Moscow: Energiya, 1977. 104 p.

УДК 338.45

Големенцев Б.В., Слепов В.М., Казимиров А.А.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ОПЫТНО-СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Предложена вероятностно-статистическая модель расчета оптимального количества режущего инструмента, учитывающая специфику опытно-серийного производства. Также показан алгоритм работы складской автоматизированной системы, в основе которой заложена описанная модель.

**Ключевые слова:** опытно-серийное производство, удельная норма расхода, суммарный предыдущий период, плановый период, плановый запас инструмента, дневная потребность в инструменте, минимальный запас, точка запаса, условие обеспеченности.

We propose a probabilistic-statistical model for calculating the optimal number of cutting tools with a specific of pilot-scale production. It also shows the algorithm of the automated warehouse, which lies at the basis of the described model.

**Keywords:** pilot-scale production, specific consumption rate, total previous period, planning period, planned supply of tools, daily demand for the product, minimum stock, stock point, condition of security.

Главной задачей любого производственного предприятия, в том числе и опытно-серийного, является выполнение контрактных обязательств при определенных ограничениях по затратам. План выпуска продукции предприятия, составленный на основе этих обязательств, не подлежит коррекции никем, кроме руководителя предприятия [1]. Основными компонентами такого плана является номенклатура изделий, количество и сроки изготовления. Отметим, что в опытно-серийном производстве номенклатура изделий разнообразна и разбивается на группы деталей, входящих в состав изделий, наиболее схожих по конструкции, технологии и трудоёмкости изготовления. Исходя из таких положений, производственная программа, основанная на плане выпуска продукции, является приведенной. Оставим вне нашего внимания принципы формирования такой программы и перейдем к описанию общих вопросов подготовки производства и проблемам, возникающим в процессе подготовки режущего инструмента.

Сроки на подготовку производства и сроки изготовления деталей и сборочных единиц, входящих в состав изделий, формируются на основе компонентов плана. При подготовке и планировании производства учитываются следующие моменты:

- наличие/отсутствие заготовок (прокат, отливки, поковки и т.д.), сроки поставки заготовок в механические цеха, а также загрузка оборудования в цехе заготовительного производства;
- наличие/отсутствие технологической оснастки и вспомогательного инструмента, сроки их изготовления;

- готовность сопроводительной документации (технологические процессы) и управляющих программ для механической обработки на станках с ЧПУ;
- загрузка оборудования в механических цехах;
- наличие/отсутствие режущего<sup>1</sup> и мерительного инструмента, а также сроки его изготовления или приобретения со стороны.

В опытно-серийном производстве нередко возникает ситуация, связанная с необеспеченностью и переизбытком того или иного инструмента.

Причины необеспеченности разные: высокий спрос на производимую серийную продукцию в сочетании с опытно-конструкторскими разработками; несвоевременное пополнение складских запасов, ошибки рабочего; сложность и трудоемкость обработки, если коснуться обработки корпусных деталей, а также деталей из труднообрабатываемых материалов. Дефицит того или иного инструмента может привести к частичному или полному срыву производственной программы, если по причине такого дефицита откладывается выпуск изделий и передача их в другие цеха для последующей обработки.

С другой стороны, замена дефицитного инструмента на аналог является не всегда оптимальным выходом из ситуации. Во-первых, расширяется применимость инструмента, следовательно, увеличивается вероятность дефицита такого аналога в будущем. Во-

<sup>1</sup> Под словом «инструмент» мы будем подразумевать инструмент режущий.



вторых, замена на инструмент-аналог может привести к простому технологического оборудования, по личным наблюдениям, до 8 ч, что соответствует одной рабочей смене; временным затратам на корректировку технологического процесса, управляющей программы (УП) для обработки на станках с ЧПУ, отработку кадров УП на станке, что может занять до двух рабочих смен. В случае врезов и прочих дефектов, возникающих в результате отработки кадров УП, появляются временные затраты на оформление дефектов (по личным наблюдениям, в среднем 1,5–2 смены) и, как следствие, это приводит опять к несвоевременной передаче продукции в цех-потребитель.

Причинами переизбытка является завышение объемов заказываемого инструмента на пополнение; инструмент, который морально устарел, либо не используется в производстве новых изделий. Ярким примером морально устаревшего инструмента является «советский» инструмент (ГОСТ), применение которого на современных станках с ЧПУ резко сократилось, а его объемы на складах поражают (на многих крупных предприятиях количество такого инструмента в цеховых кладовых колеблется в пределах 30–40 тыс. шт.).

Переизбыток инструмента приводит к увеличению складских запасов, появлению неликвидного инструмента и, как следствие, усложнению системы оборота. С другой стороны, переизбыток инструмента, вызванный завышенными объемами, ведет к увеличению затрат на подготовку производства, что неблагоприятно сказывается на себестоимости будущего изделия.

Как мы видим, последствия необеспеченности и переизбытка инструмента носят экономический, организационный и технологический характер. Для устранения таких проблем была поставлена задача математизации и алгоритмизации системы, которая бы обеспечивала опытно-серийное производство оптимальным количеством инструмента и позволила бы отслеживать дефицит и переизбыток инструмента.

Для решения задачи и математического описания необходимы следующие данные:

- $\{T_s\}$  – номенклатура режущего инструмента;
- $N$  – количество деталей, изготовленных за предыдущий период;
- $M$  – количество израсходованного инструмента за предыдущий период (факт расхода);
- $E, R$  – количественно-временные характеристики выпускаемых деталей (объем опытных и серийных изделий на плановый период соответственно). Исходной информацией здесь являются контрактные обязательства, трансформированные в область «деталь – количество – сроки выполнения» [2].

Пусть временная область  $t$  состоит из моментов времени  $t_0, t_1, \dots, t_k, \dots, t_n, t_{n+1}$ . Данную область запишем в следующем виде:

$$t = \{t_0, t_1, \dots, t_k, \dots, t_n, t_{n+1}\}. \quad (1)$$

Периоды времени  $t_0 \leq t < t_1, \dots, t_{k-1} \leq t < t_k, \dots, t_{n-1} \leq t < t_n$  назовем предыдущими периодами. Период времени

$t_n \leq t < t_{n+1}$  назовем плановым периодом.

Обозначим номенклатуру изготавливаемых деталей за  $P$ , которая будет иметь вид:

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_m\}. \quad (2)$$

Пусть за предыдущие периоды времени было изготовлено некоторое количество деталей  $N$ , имеющих отношение к номенклатуре  $P$ :

$$N_{jk} = N_{jk}(P_j : t_{k-1} \leq t < t_k), \quad k = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Обозначим всё множество инструмента за  $T$ , которое имеет вид:

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_s, \dots, T_l\}. \quad (4)$$

Пусть за предыдущие периоды времени было использовано  $M$  инструмента, имеющее отношение к множеству  $T$ :

$$M_{sk} = M_{sk}(T_s : t_{k-1} \leq t < t_k), \quad s = \overline{1, l}; \quad k = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Для каждого инструмента  $T_s \in T$  поставим в соответствие  $(m-d)$  деталей, иначе говоря, инструмент  $T_s$  применяется для обработки  $(m-d)$  деталей. Тогда для периода времени  $t_{k-1} \leq t < t_k$  существует сумма:

$$\sum_{v=1}^{m-d} N_{vk}(P_v : t_{k-1} \leq t < t_k), \quad v = \overline{1, m-d}, \quad k = \text{const}^2. \quad (6)$$

Сумму (6) назовем *объемом деталей*, прошедших обработку инструментом  $T_s$ .

Количество инструмента  $T_s$  (5), взятое для обработки  $(m-d)$  деталей за период  $t_{k-1} \leq t < t_k$ , назовем *массой израсходованного инструмента (фактом расхода)*.

*Удельная норма расхода инструмента за фиксированный период* ( $S_{T_s}(t_{k-1} \leq t < t_k)$ ) есть отношение массы израсходованного инструмента к объему изготовленных деталей, при обработке которых применяется данный инструмент.

$$S_{T_s}(t_{k-1} \leq t < t_k) = \frac{M_{sk}(T_s : t_{k-1} \leq t < t_k)}{\sum_{v=1}^{m-d} N_{vk}(P_v : t_{k-1} \leq t < t_k)}, \quad (7)$$

$$v = \overline{1, m-d}, \quad s = \text{const}, \quad k = \text{const}^3.$$

Отношение (7) применимо для каждого отрезка в предыдущем периоде. В опытно-серийном производстве при планировании на будущий период удельная норма расхода – величина переменная, стохастическая, поскольку заранее неизвестна применимость инструмента для производства опытных изделий. В таком производстве при планировании сроков изго-

<sup>2</sup> Суммирование производится по индексу  $v$ , поскольку  $v$  – индекс применяемой номенклатуры к инструменту  $T_s$ . Индекс  $j$  – индекс, относящийся ко всей номенклатуре.

<sup>3</sup> Индексы  $s$  и  $k$  постоянны, поскольку рассматривается конкретный инструмент за конкретный период.

товления или приобретения инструмента со стороны на плановый период необходимо учитывать данные предыдущего периода.

Проанализируем полностью период времени  $t_0 \leq t < t_n$ , который назовем суммарным предыдущим периодом. Средняя величина удельной нормы расхода за суммарный предыдущий период будет иметь вид:

$$M^*[S_{T_s}] = \frac{\sum_{k=1}^n S_{T_s}(t_{k-1} \leq t < t_k)}{n}. \quad (8)$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$D^*[S_{T_s}] = \frac{\sum_{k=1}^n \{S_{T_s}(t_{k-1} \leq t < t_k) - M^*[S_{T_s}]\}^2}{n}. \quad (9)$$

Статистическая ошибка предыдущего периода:

$$\Delta = t_{TP} D^*[S_{T_s}], \quad (10)$$

где  $t_{TP}$  – коэффициент Стьюдента<sup>4</sup>.

Соединяя статистические соотношения (8) и (10), получаем выражение для расчета удельной нормы расхода за весь предыдущий период:

$$S_{T_s}(t_0 \leq t < t_n) = M^*[S_{T_s}] \pm \Delta. \quad (11)$$

На практике, в целях перестраховки, необходимо учитывать  $+\Delta$ .

Рассмотрим период  $t_n \leq t < t_{n+1}$ . Пусть на данный период времени запланирован выпуск серийных и опытных деталей. Обозначим номенклатуру этих деталей соответственно  $R$  и  $E$ :

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_\tau\}, \quad i = \overline{1, \tau}; \quad (12)$$

$$E = \{E_1, E_2, \dots, E_q, \dots, E_\mu\}, \quad q = \overline{1, \mu}. \quad (13)$$

Запланированное количество деталей на данный период:

$$N_{i(n+1)} = N_{i(n+1)}(R_i : t_n \leq t < t_{n+1}), \quad i = \overline{1, \tau}. \quad (14)$$

$$N_{q(n+1)} = N_{q(n+1)}(E_q : t_n \leq t < t_{n+1}), \quad q = \overline{1, \mu}. \quad (15)$$

Рассмотрим два события, абстрагируясь от технологической сущности инструмента  $T_s$ :

$$A_1 = \{T_s \text{ применяется в изготовлении } R\};$$

$$A_2 = \{T_s \text{ применяется в изготовлении } E\}.$$

События независимы друг от друга и могут появиться совместно. Следовательно, их вероятности, а равно и частоты, определяются следующим выражением:

$$P(A) = P(A_1 \cdot A_2) =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{\tau} N_{i(n+1)}(R_i : t_n \leq t < t_{n+1}) \cdot \sum_{q=1}^{\mu} N_{q(n+1)}(E_q : t_n \leq t < t_{n+1})}{\left[ \sum_{i=1}^{\tau} N_{i(n+1)}(R_i : t_n \leq t < t_{n+1}) + \sum_{q=1}^{\mu} N_{q(n+1)}(E_q : t_n \leq t < t_{n+1}) \right]^2}. \quad (16)$$

Обозначим через  $\Theta(t_n \leq t < t_{n+1})$  коэффициент вероятности применения инструмента  $T_s$  в плановом периоде:

$$\Theta(t_n \leq t < t_{n+1}) = 1 +$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{\tau} N_{i(n+1)}(R_i : t_n \leq t < t_{n+1}) \cdot \sum_{q=1}^{\mu} N_{q(n+1)}(E_q : t_n \leq t < t_{n+1})}{\left[ \sum_{i=1}^{\tau} N_{i(n+1)}(R_i : t_n \leq t < t_{n+1}) + \sum_{q=1}^{\mu} N_{q(n+1)}(E_q : t_n \leq t < t_{n+1}) \right]^2} =$$

$$= 1 + \frac{E_\Sigma \cdot R_\Sigma}{(E_\Sigma + R_\Sigma)^2}. \quad (17)$$

Введем понятие «необходимый плановый запас инструмента».

Плановый запас инструмента – это произведение коэффициентов, учитывающих следующее:

Возможный резерв инструмента на центральном инструментальном складе (ЦИС) в случае ожидания изготовления или приобретения инструмента со стороны (обозначается  $K_r$ ). Положим  $K_r$  равным 1,20.

Трехсменный режим работы предприятия плюс вероятность совершения ошибки оператором или наладчиком при наладке станка на обработку (обозначается  $K_e$ ). Положим  $K_e$  равным 1,15.

Коэффициент использования инструмента (обозначается  $K_u$ ), который определяется выражением:

$$K_u = 1 + \frac{\text{число станков, на которых возможно использование инструмента}}{\text{общее число станков в цехе}}; \quad (18)$$

Применение инструмента при изготовлении новых деталей (16).

Тогда необходимый плановый запас инструмента определяется следующим выражением:

$$\Pi_{T_s}(t_n \leq t < t_{n+1}) = K_r \cdot K_e \cdot K_u \cdot \Theta(t_n \leq t < t_{n+1}). \quad (19)$$

С учетом (11) и (19) имеем следующее выражение для удельной нормы расхода на плановый период:

$$S_{T_s}(t_n \leq t < t_{n+1}) = \Pi_{T_s}(t_n \leq t < t_{n+1}) \cdot S_{T_s}(t_0 \leq t < t_n). \quad (20)$$

Следовательно, количество инструмента  $T_s$ , необходимое для опытно-серийного производства в плановом периоде, будет вычисляться по формуле

$$M_e = M_{s(n+1)}(T_s : t_n \leq t < t_{n+1}) =$$

$$= S_{T_s}(t_n \leq t < t_{n+1}) \cdot \sum_{v=1}^{m-d} N_{v(n+1)}(P_v : t_n \leq t < t_{n+1}). \quad (21)$$

Обозначив через  $W_D$  дневную потребность в инструменте  $T_s$ , а через  $t_u$  число дней срочного изготовления инструмента или приобретение его со стороны,

<sup>4</sup> Коэффициент Стьюдента выбирается из таблиц. Мы полагаем, что имеет место нормальный закон распределения (распределение Гаусса).



можно определить минимальный запас  $I_{\min}$ <sup>5</sup>:

$$I_{\min} = W_D \cdot t_u \cdot \quad (22)$$

Оптимальное количество инструмента  $T_s$ , который нужно изготовить или приобрести со стороны, для производства в плановом периоде выражается запасом «точка запаса»:

$$P = M_e + I_{\min} \cdot \quad (23)$$

Следовательно, количество инструмента  $M_{\text{ЦИС}}$ , которое должно иметься на центральном инструментальном складе (ЦИС), чтобы обеспечить производство, должно варьироваться в следующем диапазоне:

$$P \leq M_{\text{ЦИС}} \leq [M], \quad (24)$$

где  $[M]$  – допустимое количество инструмента, которое можно изготавливать или приобретать со стороны. Если величина на ЦИС меньше точки запаса, то в таком случае инструмент необходимо пополнять, то есть изготавливать, либо приобретать на стороне. Пополнение инструмента выражается следующей формулой:

$$\delta = P - M_{\text{ЦИС}} \cdot \quad (25)$$

Математическая модель служит основой для построения алгоритма, обеспечивающего работу системы формирования оптимального количества инструмента. Для построения алгоритма предъявим системе следующие требования:

На входе системы – исходные данные: номенклатура режущего инструмента; количество деталей, изготовленных за предыдущий период; количество израсходованного инструмента за предыдущий период; количественно-временные характеристики выпускаемых деталей.

На выходе системы – информация о восполнении инструмента, которая служит для формирования заявок на изготовление или приобретение инструмента на стороне.

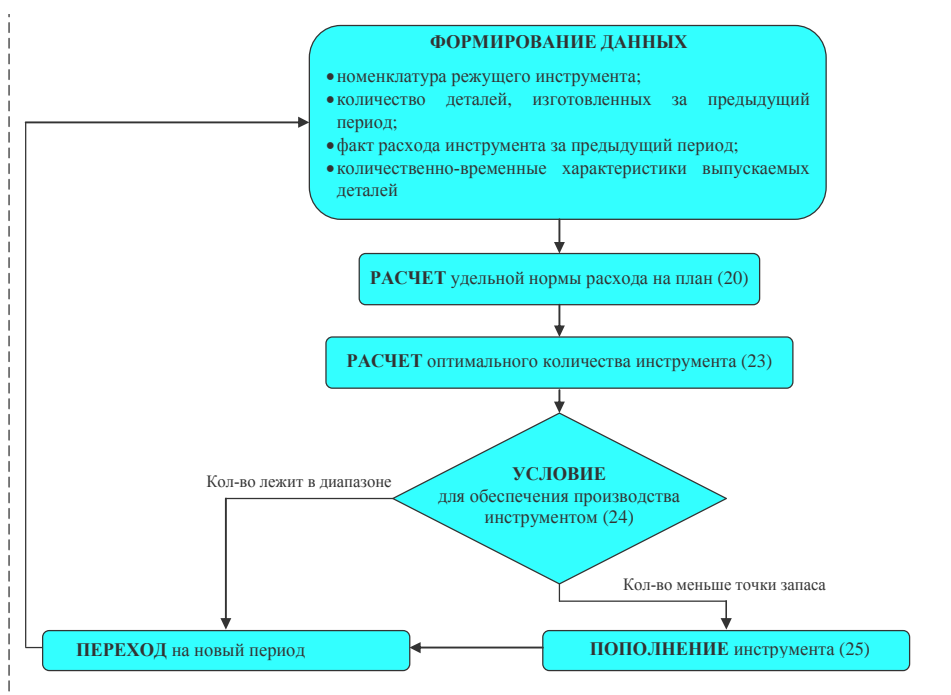
Система должна сигнализировать инженеру о дефиците, балансе, избытке инструмента и автоматически определять те позиции инструмента, количество которого необходимо восполнять.

<sup>5</sup> Дневная потребность рассчитывается исходя из максимально возможного плана производства.

Алгоритм системы проиллюстрирован на **рисунке**.

Используя данный алгоритм в процессе инструментальной подготовки, а также в работе инструментальных служб, специалисты соответствующих подразделений (бюро подготовки производства, инструментальный отдел) смогут устранить проблему необеспеченности инструмента на производстве. Расчет оптимального количества инструмента (точка запаса) и учет имеющегося количества инструмента на ЦИС определит количество того инструмента, которое необходимо пополнить. При известном количестве инструмента имеем четкое представление о трудоемкости его изготовления, а следовательно, о затратах на изготовление либо приобретение инструмента со стороны. Условие обеспеченности (24) поможет определить точку, с которой начинается переизбыток инструмента для данного планового периода. Таким образом, это позволяет предотвратить заказ инструмента в завышенных количествах, а следовательно, сократить затраты на подготовку производства и себестоимость будущего изделия.

**СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ИНСТРУМЕНТА**



**Алгоритм системы формирования оптимального количества инструмента**

Вмешательство цеха при составлении заявки на пополнение инструмента не потребуются, поскольку система автоматически сигнализирует о необходимости его пополнения (см. **рисунок**). Таким образом, своевременное пополнение инструмента, составление заявок на изготовление или приобретение инструмента со стороны будет прерогативой одного подразделения – инструментального отдела. При этом работа с данным алгоритмом не требует большого профессионального опыта в инструментальной подготовке и

высокой квалификации специалиста.

По предварительной оценке предлагаемая модель системы позволит уменьшить сбои в работе инструментальных служб на 60–70%, снизить затраты на подготовку производства на 35–40%. Расчеты проводились на примере широко применяемого инструмента (концевого твердосплавного инструмента) в изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов.

#### Список литературы

1. Големенцев, Б.В. Многоуровневая система диспетчеризации / Б.В. Големенцев // Умное производство. 2010. Вып. 2.
2. Големенцев, Б.В. Автоматизированная система оборота режущего инструмента / Б.В. Големенцев, Д.Е. Лохтина // РИТМ. 2010. Вып. 3.

#### Bibliography

1. Golementsev B.V. Multilevel system of dispatching / B.V. Golementsev // Intelligent production. 2010. Vol. 2.
2. Golementsev B.V. Automated system of turnover of the cutting tool / B.V. Golementsev, D.U. Lohtina // RHYTHM. 2010. Vol. 3.

УДК 621.967.1

Трусковский В.И., Шеркунов В.Г.

## К НАЗНАЧЕНИЮ УГЛА НАКЛОНА ПЛОСКИХ КЛИНОВЫХ НОЖЕЙ ДЛЯ РЕЗКИ СОРТОВОГО ПРОКАТА НА НОЖНИЦАХ С ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТА

Предлагается новая конструкция ножниц для резки сортового проката, принцип действия которых основан на сообщении поступательного перемещения разделяемым частям проката в двух направлениях с одновременным вращением и универсального режущего инструмента с оптимальным углом наклона рабочих плоскостей ножей, что исключает необходимость их замены при изменении диаметра разрезаемой штанги. Приводятся описание, фотографии конструкции ножниц и режущего инструмента, расчетно-экспериментальное обоснование выполненных разработок. Предложенные технические решения защищены патентами РФ.

**Ключевые слова:** ножницы, плоские клиновые ножи, режущие и прижимные кромки, угол наклона, сортовой прокат, мерные заготовки, эксперимент, усилие, перемещение ножей.

A new design of scissors for cutting rolled operation is based on a report of translation shares some rolled in two directions with simultaneous rotation and universal cutting tool with the optimum angle of work planes blades, eliminating the need to replace them when the diameter of the cut stem. Provide a description, photos, design of scissors and cutting tools, computational-experimental study carried out developments. The proposed technical solutions are patented.

**Keywords:** scissors, flat wedge knives, cutting and clamping edge angle, long products, dimensional piece, experiment, force, moving blades.

Совершенствование способов получения мерных заготовок за счет усложнения траектории относительного перемещения прутка и отделяемой части в процессе резки при использовании достаточно простых схем разделения и устройств является одним из перспективных направлений.

Объединению преимуществ, характерных для разных схем, и повышению показателей геометрической точности получаемых заготовок может способствовать схема резки, основанная на поступательном перемещении разделяемых частей проката в двух направлениях с одновременным вращением (рис. 1) [1].

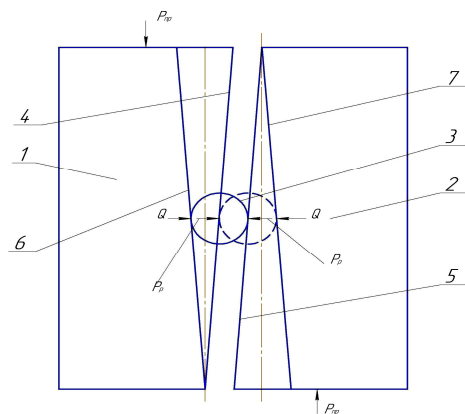


Рис. 1. Принципиальная схема резки

Под воздействием усилия  $P_{пр}$  со стороны привода плоские клиновые ножи 1 и 2 совершают встречное движение, при котором происходит их сближение к центру разрезаемого прутка 3. В результате совместного сближения ножей и вращения прутка происходит постоянное смещение по его периметру прикладываемого усилия реза  $P_r$  со стороны кромок 4, 5 ножей 1, 2. В процессе разрезки прутка режущие кромки 4, 5 ножей 1, 2 внедряются в него, а выступы 6, 7 осуществляют поперечный зажим самого прутка и отрезаемой от него заготовки с усилием  $Q$ .

Схема соответствует неполной закрытой резке проката сдвигом с поперечным активным зажимом.

Конструкция ножниц представляет собой установку (рис. 2), оснащенную гидроприводом, содержащую силовой гидроцилиндр с нижним расположением, соединенный с одним из ножей, а оба ножа кинематически связаны между собой посредством зубчато-реечной передачи, обеспечивающей синхронное и взаимосвязанное их перемещение [2].

Для обеспечения эффективности работы ножниц в производственных условиях необходимо регламентировать угол наклона режущих кромок ножей и соответствующих им плоскостей прижима. Это позволит исключить изготовление, содержание и обслуживание многономенклатурного режущего инструмента.

При рассмотрении прямоугольного треугольника, образованного наклонной плоскостью выступа или

режущей кромкой соответствующего ножа, общим основанием (оси симметрии их наклона) и торцевой частью получается, что  $\operatorname{tg} \alpha = r/\pi r = 1/\pi$ , где  $\alpha$  – искомый угол наклона,  $r$  – радиус разделяемого проката круглого сечения. Таким образом, искомый угол становится равным  $17^{\circ}40'$ .

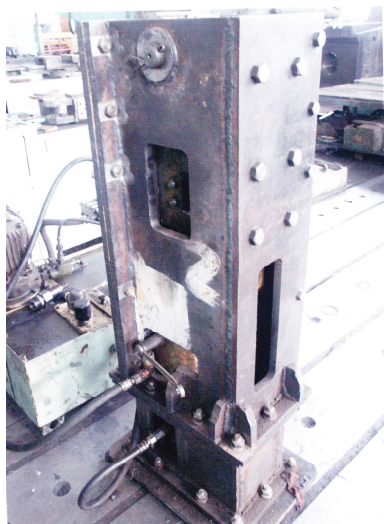


Рис. 2. Общий вид ножниц

То, что тангенс угла наклона режущих кромок равен тангенсу угла наклона соответствующих им плоскостей прижима и имеет значение, равное  $1/\pi$ , позволит осуществлять отрезку мерной заготовки при ходе каждого из ножей, равную половине ее периметра, т.е. за половину оборота отрезаемой заготовки и штанги от которой она отрезается. При этом режущая кромка каждого из ножей при разделении прутка чистым сдвигом будет внедряться в разделяемый пруток на величину  $r$  [3].

Для подтверждения эффективности применения ножей с углами наклона режущих кромок и прижимных плоскостей, соответствующих полученному значению, были проведены экспериментальные исследования на опытно-промышленной конструкции ножниц.

С этой целью было изготовлено несколько ножей с углами наклона режущих кромок и прижимных плоскостей  $5^{\circ}$ ,  $7^{\circ}$ ,  $12^{\circ}$  и  $17^{\circ}40'$ ,  $22^{\circ}$ . При этом в каждом случае угол наклона режущей кромки был равен углу наклона прижимной (рис. 3).

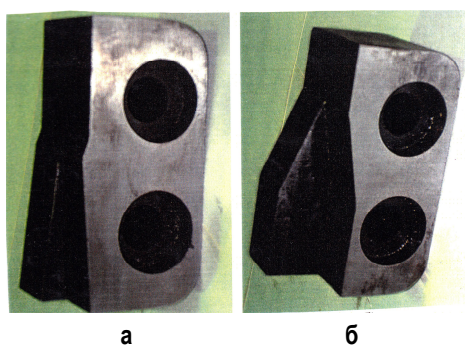


Рис. 3. Конструкции ножей с углами наклона режущих и прижимных кромок  $5^{\circ}$  (а) и  $17^{\circ}40'$  (б)

В процессе экспериментов разрезался пруток из стали 45 диаметрами 10, 15 и 20 мм в холодном состоянии при этом записывались осциллограммы усилия резки и ход ножей и осуществлялось наблюдение за процессом резки и визуальное обследование полученных заготовок.

На рис. 4 приведены фрагменты из типовых осциллограмм, полученных при резке прутков с разными углами наклона режущих и прижимных кромок.

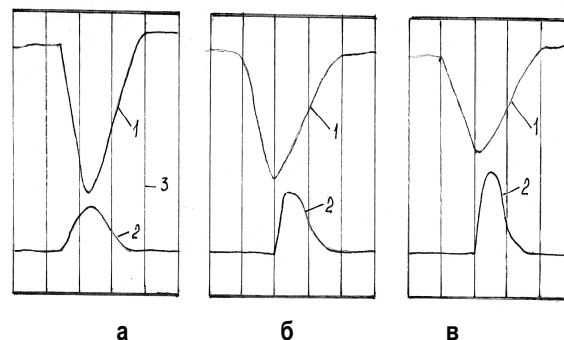


Рис. 4. Фрагменты осциллограмм процессов резки заготовок диаметром 15 мм из стали 45 при углах наклона режущих кромок и прижимных плоскостей: а –  $5^{\circ}$ ; б –  $12^{\circ}$ ; в –  $17^{\circ}40'$ ; 1 – перемещение ножей; 2 – усилие резки; 3 – линия отметки времени

Анализ полученных результатов показал следующее.

Резка прутков с углом наклона режущих и прижимных кромок  $5^{\circ}$  требует совершения достаточно большого рабочего хода ножей. Так, при резке прутка диаметром 10 мм величина рабочего хода до полного отделения отрезаемой части от прутка составляла 56-60 мм, при диаметре 15 мм – 85-90 мм. При этом заготовка до полного отделения совершала почти два оборота относительно своей оси. Последующая резка прутков с большим углом наклона рабочих частей ножей привела к заметному уменьшению величины рабочего хода. Например, для отрезки заготовки от прутка тем же диаметром 10 мм при угле наклона рабочих частей, равным  $12^{\circ}$ , уже потребовался ход, не превышавший 20 мм, а при разрезке прутка диаметром 20 мм – 40-45 мм. При этом заготовка до полного отделения совершала уже только около одного оборота.

Отрезка заготовок из прутков различного диаметра с углом наклона  $17^{\circ}40'$  осуществлялась менее чем за пол-оборота за счет хрупкого разрушения в конце хода. При этом величина рабочего хода ножей при резке прутков диаметрами 10, 15 и 20 мм соответственно составляла 13, 20 и 28 мм.

Изменение усилия резки при увеличении угла наклона режущих кромок в пределах, оговоренных для одного и того же типоразмера заготовок, было незначительным и не превышало 12%.

Отрезка заготовок с углом наклона режущих кромок и прижимных плоскостей, равным  $22^{\circ}$ , при-

вела не только к заметному смятию поверхности прутка в месте контакта с ножами, но и существенному искажению торцевой поверхности в плоскости раздела за счет того, что окончательное разделение прутка стала происходить за счет неуправляемого хрупкого разрушения. При этом усилие отрезки возросло почти на 20%.

Таким образом, можно отметить, что исполнение угла наклона рабочих поверхностей ножей равным  $1/\pi$  ( $17^\circ 40'$ ) позволяет разрезать на таких ножницах штангу на мерные заготовки любого диаметра за половину оборота штанги и отрезаемой от нее мерной заготовки при необходимой длине ножей и мощности привода. Это делает исполнение ножей универсальным и не требует их замены при изменении диаметра разрезаемой штанги. Таким образом, принятое техническое решение обладает определенной эффективностью, которая заключается в сокращении изготовления и использования дорогостоящего разнообразного инструмента. Качество полученных мерных заготовок соответствует требованиям для использования их на операциях штамповки. Вмятины и утяжины не значительны, угол скола торца заготовки, а также его овальность практически отсутствуют. На рис. 5 приведена фотография одной из полученных заготовок.



Рис. 5. Вид отрезанной заготовки

#### Список литературы

1. А.с. 1355379 SU, МКИ В23D 15/00. Устройство для резки заготовок круглого сечения / Барков Л.А., Иванов С.К., Трусковский В.И. №4091374/31 – 27; Заявл. 16.07.1986; Оpubл. 30.11.1987, Бюл. № 44.
2. Пат. РФ на полезную модель № 44565. Ножницы для резки заготовок круглого сечения. В23D 15/00 / Трусковский В.И., Закиров Р.А., Шеркунов В.Г. №2004131711/22; Заявл. 01.11.2004; Оpubл. 27.03.2005, Бюл. №9.
3. Пат. 2283732 РФ, МПК В23D 15/02. Ножницы для резки заготовок круглого сечения. / Трусковский В.И., Закиров Р.А. № 2005123270/02; Заявл. 21.07.2005; Оpubл. 20.09.2006, Бюл. №26.

#### Bibliography

1. Beneficiaries. SU № 1355379. Device for cutting circular blanks. В23D 15/00 / Barkov L.A., Ivanov S.K., Truskovsky V.I. Application Number: 4091374/31-27. Stated 16/07/1986. Posted on 30.11. 1987. Bulletin № 44.
2. RF patent for useful model № 44565. Scissors for cutting circular blanks. V23D 15/00 / Truskovsky V.I., Zakirov R.A., Sherkunov V.G. Application: 2004131711/22. Announced on 01.11.2004. Posted 27.03.2005. Bulletin № 9.
3. RF patent № 2283732. Scissors for cutting circular blanks. V23D 15/02 / Truskovsky V.I., Zakirov R.A. Application: 2005123270/02. Stated 21.07.2005. Posted 20.09.2006. Bulletin № 26.



# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК [621.785.363 : 669.14] : 620.178

Мирзаев Д.А., Куликов А.А., Корягин Ю.Д.

## ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ОТЖИГ ОТЛИВОК СТАЛИ 35Л, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Рассмотрено влияние структурных параметров феррита и перлита на твердость и прочность стали. Исследовано влияние двухчасового изотермического отжига при температурах от 750 до 650°C на твердость литых деталей из стали 35Л. Установлены оптимальные температуры отжига. Предложен и опробован конкретный режим изотермического отжига.

**Ключевые слова:** литьё, газифицированные модели, отжиг, нормализация, твёрдость.

The paper considers the influence of structural parameters of ferrite and pearlite on hardness and strength of 35L steel. Effect of two-hour annealing at 750–650°C on hardness of cast products from this steel is studied and optimal time-temperature parameters of annealing are established. A specific regime of annealing is proposed and tested.

**Keywords:** casting, consumable patterns, annealing, normalizing, hardness.

В нашей статье [1] были исследованы возможности снижения твердости отливок стали 35Л по газифицируемым моделям путем изотермического отжига в  $\alpha$ -состоянии (отпуска), а также использования непрерывного охлаждения с различными, в том числе непостоянными скоростями от температуры 900°C, расположенной выше  $A_{с3}$ . Было показано, что наиболее экономичными в смысле суммарных затрат «печного» времени оказались высокий отпуск при 710–730°C, не вызывающий перекристаллизацию стали, или нормализация в сочетании с высоким отпуском, обеспечивающие как снижение твердости, так и повышение ударной вязкости вследствие измельчения зерна.

Дальнейшего уменьшения длительности печного нагрева, вероятно, можно добиться сокращением или полным устранением отпуска. Необходимость отпуска после нормализации обусловлена повышенной устойчивостью аустенита стали, насыщающейся в процессе плавки углеродом до 0,45%С в поверхностных слоях отливки. Для устранения отпуска необходимо сделать остановку охлаждения в температурном интервале распада  $\gamma$ -фазы для его завершения, то есть фактически перейти к операции короткого изотермического отжига [2].

Изучению возможности и разработки конкретного экономичного режима изотермического отжига, обеспечивающего снижение твердости литых изделий до требуемого уровня, посвящена данная работа.

### Материал и методика исследования

Литые заготовки стали 35Л, полученные методом литья по газифицированным моделям, были разрезаны на пластины толщиной 4 мм так, что одна широкая грань была расположена близко от внешней поверхности. Поэтому образцы из-за науглераживания при плавке имели с двух сторон несколько различную твердость. При проведении опытных обработок образцы помещены в печь, нагретую до 900°C, и выдержаны 35 мин для аустенитизации. Затем нагрев печи выключали и охлаждали образец с печью со ско-

ростью 7–8 К/мин примерно такой же, как при охлаждении промышленной садки литых деталей в цехе ЗАО «Технология–М» на воздухе. Когда температура печи достигала заданной, включалось регулирование и происходило удержание постоянной температуры в течение 2 ч (изотермический отжиг), после чего охлаждение с выключенной печью продолжалось. У охлажденных до комнатной температуры образцов с обеих сторон пластинок проводили измерения твердости. В ходе экспериментов, проведенных на 16 образцах, последовательно изменяли температуру отжига от 750 до 650°C.

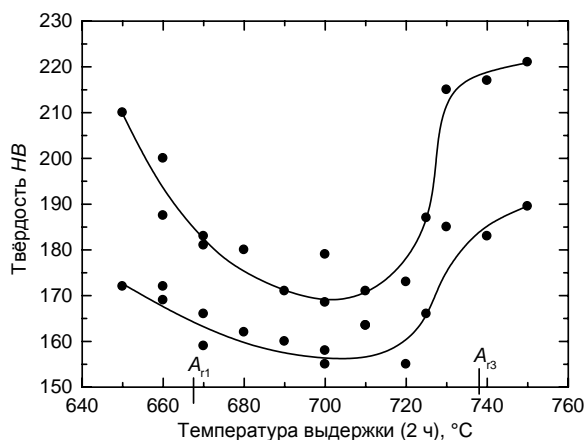
### Результаты исследования и их обсуждение

Изменение твердости образцов в зависимости от температуры изотермического отжига отражено на рис. 1 двумя кривыми, одна из которых (верхняя) относится к участкам, подвергавшимся при выплавке науглераживающему воздействию атмосферы в форме, а вторая – к участкам, где науглераживание не происходило или было минимальным.

При анализе данных рис. 1 нужно учитывать, что после нормализации от 900°C твердость отливок остается на уровне 187/220 НВ [1] (в виде дроби указаны средние значения твердости с разных сторон пластинообразного образца). Можно заключить, что устойчивость аустенита исследуемой стали довольно велика, так что образование феррита и перлита происходит не в верхней части С-образной диаграммы, а существенно ниже. Возможно, что часть аустенита «забрасывается» в область промежуточного превращения  $\gamma$ -фазы. Если сделать остановку охлаждения при 750°C или выше, а затем продолжить его с той же скоростью, то ситуация с превращением  $\gamma$ -фазы не изменится, ибо температурная ступенька расположена выше точки  $A_{с3}$  начала выделения феррита [3], значение которой по данным дилатометрии для трех разных образцов колеблется от 738 до 748°C. При температурах изотермического отжига 730 и 740°C если выделение феррита и начинается, то он образуется в столь



малых количествах, что они не могут вызвать значительного уменьшения твердости. Изотермический отжиг при температурах 720°C и ниже приводит к существенному снижению твердости. Минимум достигается в интервале температур отжига 710–690°C а дальнейшее уменьшение её сопровождается непрерывным возрастанием твердости вплоть до предельной используемой температуры 650°C. Отметим, что температура начала образования перлита расположена в районе 667–682°C. Следовательно, возрастание твердости начинается при температурах отжига, на 30–40°C превышающих начала образования перлита.



**Рис. 1.** Влияние температуры изотермического отжига с последующим охлаждением в печи на твердость стали 35Л. Температура аустенитизации 900°C, выдержка 35 мин. Температура начала образования перлита  $A_{11} = 667^\circ\text{C}$ , температура конца образования перлита  $644^\circ\text{C}$

Рассматривая твердость перлита эвтектоидной стали, А.Э. Гер [4] и С.А. Салтыков [5] показали, что она в значительной мере определяется величиной межпластиночного расстояния  $S$  (мм) в колониях перлита. Согласно [4]

$$HV = 120 + \frac{0,046}{S} \quad (1)$$

Близкую к этой формулу предложил С.А. Салтыков [5]. В отношении межпластиночного расстояния известно [6], что

$$S = \frac{0,018}{A_1 - T} \quad (2)$$

где  $T$  – температура изотермического превращения аустенита в перлит. Если подставить выражение (2) в (1), получается:

$$HV = 120 + 2,55 \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где  $\Delta T = A_1 - T$  – переохлаждение  $\gamma$ -фазы по отношению к температуре  $A_1$  (точнее,  $A_{11}$ ). На основе формулы (3) можно сделать важные выводы: 1) для перлитной структуры с низкой твердостью превращение  $\gamma$ -фазы в перлит следует проводить с минимальным переохлаждением  $\Delta T$  относительно  $A_1$ ; 2) в условиях непрерывного охлаждения следует стремиться к ми-

нимальной скорости охлаждения вблизи  $A_{11}$ .

Однако не зависимо от конкретной температуры изотермического отжига в интервале 710–670°C, от которой затем производится охлаждение, скорости охлаждения всех образцов вблизи при  $A_{11}$  будут одинаковыми. Следовательно, причиной возрастания твердости в интервале температур 710– $A_{11}$  является не торможение последующего перлитного распада, а сдвиг температур  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения ещё не распавшейся  $\gamma$ -фазы в область более низких температур, особенно в участках с повышенной концентрацией углерода. В пользу этого свидетельствует ещё одно обстоятельство. Изучаемая сталь содержит в своей структуре как перлит, так и феррит. Если в отношении твердости перлита ситуация достаточно ясная, то данные о твердости феррита не систематизированы. Но известна простая связь между твердостью НВ и временным пределом прочности  $\sigma_B = 0,34HV$ . Для смешанной ферритно-перлитной структуры Ф.Б. Пикеринг [6] приводит надежное выражение для  $\sigma_B$ , МПа:

$$\sigma_B = 15,4 \left\{ f_\alpha^{1/3} \left[ 16 + 74,2 \sqrt{[N]} + \frac{1,18}{\sqrt{d_\phi}} \right] + (1 - f_\alpha^{1/3}) \left[ 46,7 + \frac{0,23}{\sqrt{S}} \right] + 6,3[Si] \right\} \quad (4)$$

где  $f_\alpha$  – объемная доля феррита;  $d_\phi$  – размер зерна феррита, оцененный по средней случайной хорде;  $S$  – межпластиночное расстояние в перлите, мм;  $[N]$ ,  $[Si]$  – содержание примесей, мас. %.

Подчеркнём особенность этой формулы – усреднение прочностей обеих фаз по объемным долям феррита  $f_\alpha$  и перлита  $(1 - f_\alpha)$  нелинейное: вместо  $f_\alpha A + (1 - f_\alpha) B$  используется закон  $f_\alpha^{1/3} A + (1 - f_\alpha^{1/3}) B$ , что для стали 35Л резко уменьшает вклад в прочность перлитной составляющей. Действительно,  $f_\alpha = \frac{0,8 - 0,35}{0,775} = 0,581$

или 58,1%  $\alpha$ -фазы;  $f_n = 0,419 = 41,9\%$ , тогда как  $f_\alpha^{1/3} = 0,834$ , а  $1 - f_\alpha^{1/3} = 0,166$ . Пикеринг привел важные аргументы в пользу такого подхода. В рамках теории Пикеринга минимум твердости при изотермическом отжиге на  $700^\circ\text{C}$  объясняется, во-первых, образованием крупнозернистого феррита при выдержке; во-вторых, интенсивным образованием феррита при охлаждении до  $A_{11}$  благодаря существованию готовых поверхностей зарождения и, наконец, формированием грубой перлитной структуры при малом переохлаждении  $\Delta T$  относительно  $A_{11}$ .

Проведенное исследование отчетливо показало, что изотермический отжиг может обеспечивать значительное снижение твердости. Однако при разработке промышленного режима необходимо учитывать существование перепада температуры по ширине или высоте садки. будем предполагать, что температура деталей может максимально отклоняться от показаний рабочей термодулы на  $+40^\circ\text{C}$ . Рекомендуемый режим отжига приведён на рис. 2.

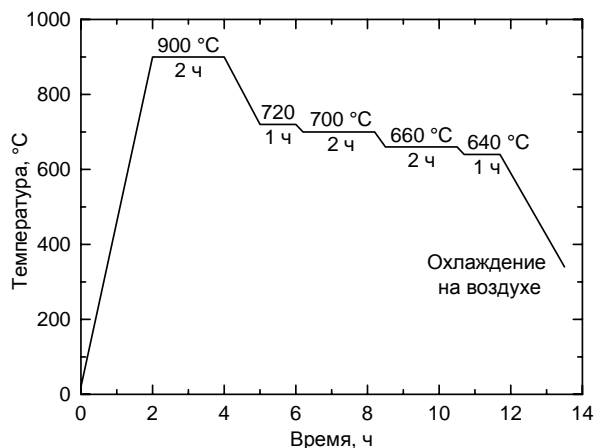


Рис. 2. Опытный режим отжига отливок из стали 35Л

Ступенька времени при 720°С нужна для выравнивания температуры; при 700°С превращение происходит в основной массе отливок, выдержка при 660 и 640°С необходима для завершения перлитного распада у отливок, температура которых выше, чем у основной массы. Режим экспериментально проверен в лабораторных условиях. Твердость после отжига 155/171 НВ; если разность температур по объему садки меньше 20°С, то выдержку при 640°С можно не делать, а длительность отжига на 660°С сократить на 1 ч.

#### Выводы

1. Изотермический отжиг в интервале температур 710–690°С обеспечивает требуемое снижение твердости отливок, полученных литьем по газифицируемым моделям.

2. В тех случаях, когда по высоте или ширине садки имеется перепад температур, режим отжига должен содержать несколько температурных ступенек, последовательно обеспечивающих распад аустенита во всем объеме садки.

3. В работе приведены несколько аргументов в пользу теории Пикеринга, по которой основной вклад в прочность ферритно-перлитной структуры стали 35Л создаёт феррит.

#### Список литературы

1. Корягин, Ю.Д. Влияние термической обработки на твердость изделий, полученных методом литья по газифицированным моделям / Ю.Д. Корягин, Д.А. Мирзаев, А.А. Куликов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. №2. С. 55-58
2. Башнин, Ю.А. Технология термической обработки: учебник для вузов / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. М.: Металлургия, 1986. 424 с.
3. Попова, Л.Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: справочник термиста / Л.Е. Попова, А.А. Попов. М.: Металлургия, 1991. 503 с.
4. Гер, А.Э. Поверхность раздела фаз и механические свойства перлитных структур / А.Э. Гер // Металловедение и термическая обработка металлов. 1956. № 5. С. 15-18.
5. Салтыков, С.А. Стереометрическая металлография / С.А. Салтыков. М.: Металлургия, 1970. 376 с.
6. Пикеринг, Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей / Ф.Б. Пикеринг. М.: Металлургия, 1982. 184 с.
7. Мирзаев, Д.А. Образование перлита в сталях / Д.А. Мирзаев, К.Ю. Окишев // Фазовые и структурные превращения в стали: сб. науч. трудов. Вып. 3 / под ред. В.Н. Урцева. Магнитогорск, 2003. С. 294-334.

#### Bibliography

1. Koryagin, Yu.D. Effect of heat treatment on the hardness of consumable pattern castings / Yu.D. Koryagin, A.A. Kulikov, D.A. Mirzaev // Vestnik MGTU named after G.I. Nosov. 2012. №2. P. 55-58.
2. Bashnin, Yu.A. Steel heat treatment technology / Yu.A. Bashnin, B.K. Ushakov, A.G. Sekey. M.: Metallurgia, 1986. 424 pp.
3. Popova, L.E. Transformation diagrams of austenite in steels and beta solid solution in titanium alloys / L.E. Popova, A.A. Popov. M.: Metallurgia, 1991. 503 pp.
4. Ger, A.E. Interphase interface and mechanical properties of pearlitic structures / A.E. Ger // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. 1956. No. 5. Pp. 15-18.
5. Saltykov, S.A. Stereometric metallography / S.A. Saltykov. M.: Metallurgia, 1970. 376 pp.
6. Pickering, F.B. Physical metallurgy and the design of steels: Materials science series / F.B. Pickering. Applied science publishers Ltd., 1978.
7. Mirzaev, D.A. Pearlite formation in steels / D.A. Mirzaev, K.Yu. Okishev // Phase and structural transformations in steel. Issue 3 / ed. by V.N. Urtsev. Magnitogorsk, 2003. Pp. 294-334.

УДК 621.791.051

Емелюшин А.Н., Сычков А.Б., Шекшеев М.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ К56

Проведены комплексные исследования свариваемости стали класса прочности К56. Свариваемость оценивали на основе решения параметрических уравнений, характеризующих склонность стали к образованию «горячих» и «холодных» трещин. Проводилась оценка влияния способа и режимов дуговой сварки на структуру и свойства металла зоны термического влияния по методу валиковой пробы.

**Ключевые слова:** трубная сталь, свариваемость, холодные трещины, горячие трещины, зона термического влияния, твердость, ударная вязкость.

Carried out the complex investigation of weldability of steel class K56. Weldability evaluated on the basis of the decision of parametric equations describing the tendency of steel to the formation of «hot» and «cold» cracks. Evaluating the impact of the ways and modes of arc welding on the structure and properties of metal zone of thermal influence on the method of final layer samples.

**Keywords:** steel pipe, weldability, cold cracks, hot cracks, zone of thermal influence, hardness, impact resistance.

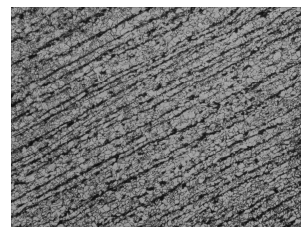
Прошедшее десятилетие для России охарактеризовалось рядом крупных проектов по строительству магистральных трубопроводов. Существующие тенденции повышения производительности перекачки нефти и газа определили необходимость перехода на

более высокий уровень давления в трубопроводе (свыше 9,8 МПа), а также использования электросварных труб с наибольшими для магистральных трубопроводов диаметрами: 1420 мм для газопроводов и 1220 мм для нефтепроводов. Указанные обстоятель-

Таблица 2

Механические свойства листового проката  
толщиной 12 мм исследуемой плавки

| Предел прочности $\sigma_b$ , МПа | Предел текучести $\sigma_T$ , МПа | KCV <sub>-20</sub> , Дж/см <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Нормативные требования            |                                   |   |
| 550–679                           | 440–560                           | 90–500                                  |
| Результаты испытаний              |                                   |   |
| 565                               | 495                               | 282                                     |

Рис. 1. Структура стали в состоянии поставки,  $\times 200$ 

ства обусловили применение высокопрочных труб, выполненных из листовых сталей (штрипса) классов прочности K56 – K70 [1]. В химический состав вышеуказанных сталей, преимущественно, входят углерод в количестве до 0,13%; марганец – до 1,6 – 1,8%; кремний – до 0,16 – 0,50%; ванадий до 0,08%; ниобий – до 0,08%, который, в основном, определяет способность такого металла к свариваемости. При этом структура листового проката представляет собой ферритоперлит или ферритобейнит.

В 2009 году в ОАО «ММК» был пущен в строй реверсивный широкополосный стан горячей прокатки 5000, основу выпускаемого сортамента которого составили трубные стали, поставляемые по различным классам прочности.

Эффективность применения высокопрочных трубных сталей для строительства магистральных трубопроводов определяется рациональными технологическими процессами их сварки, обеспечивающими требуемый уровень механических свойств и сопротивления хрупкому разрушению сварных соединений. Разработка оптимальной технологии сварки должна базироваться на современных методах и подходах к оценке свариваемости сталей данной группы.

Под свариваемостью понимается комплексная технологическая характеристика металла, которая зависит от технологии его производства и технологии сварки, отражает реакцию данного металла на процесс сварки и определяет пригодность металла для изготовления конструкций, удовлетворяющих условиям их эксплуатации [2].

Целью данной работы является исследование свариваемости высокопрочной трубной стали класса прочности K56.

Рассматриваемая сталь (табл. 1, 2) относится к низколегированным марганцевым сталям. Их отличительной особенностью, по сравнению с традиционными марганцевыми сталями, является дополнительное микролегирование сильными карбидо- и нитридообразующими элементами (V, Nb, Ti, Al), что в сочетании с процессом термомеханической прокатки обеспечивает их высокие прочностные характеристики, в первую очередь за счет механизма дисперсионного твердения. В целом, эту марку стали можно обозначить как 10Г2ФБТЮ.

Таблица 1

## Химический состав исследуемой плавки, %

| C     | Si    | Mn    | S     | P     | Cr    | Ni     | Cu    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 0,11  | 0,37  | 1,59  | 0,003 | 0,009 | 0,02  | 0,03   | 0,05  |
| Al    | N     | V     | Ti    | Nb    | Mo    | B      | Sn    |
| 0,037 | 0,007 | 0,039 | 0,022 | 0,029 | 0,002 | 0,0004 | 0,003 |

Для исследования свариваемости использовали фрагменты листового проката толщиной 12 мм. Микроструктура стали исследуемой плавки, в состоянии поставки, представляет собой феррит (размер зерна – №7–8 по ГОСТ 5639–82) с включениями строчечного перлита (рис. 1).

Анализ свариваемости исследуемой стали класса прочности K56 включал в себя косвенную оценку склонности к образованию горячих и холодных трещин и исследование структуры стали в зоне термического влияния (ЗТВ) после воздействия сварочных термических циклов, в частности объектом исследований являлся металл участка перегрева. Принято считать, именно на этом участке ЗТВ наблюдается наиболее неудовлетворительный уровень механических свойств [3].

Оценку склонности стали к образованию горячих трещин проводили на основе расчета показателей трещиностойкости HCS (показатель К. Итамурэ) и UCS по следующим уравнениям [4]:

$$HCS = \frac{C \cdot (S + P + Si / 25 + 0,01 \cdot Ni) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V}, \quad (1)$$

при HCS < 4 не склонна;

$$UCS = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb + 12,3 \cdot Si - 5,4 \cdot Mn - 1, \quad (2)$$

при UCS > 30 склонна.

Результаты расчета данных параметров показали, что для исследуемого химического состава HCS = 0,617, UCS = 22,82, что ниже критических значений и свидетельствует о пониженной склонности этой стали к образованию горячих трещин.

Стойкость стали против образования холодных трещин оценивали на основе значения параметра стойкости к образованию трещин  $P_{CM}$  [5] и определения углеродного эквивалента  $C_{эkv}$ .

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo + V}{15} + 5 \cdot B. \quad (3)$$

На сегодняшний день существует множество зависимостей, применяемых для расчета  $C_{эkv}$ . Согласно ГОСТ 27772–88 для низколегированных сталей эквивалент углерода вычисляется по следующей формуле:



$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}. \quad (4)$$

Для сталей дополнительно легированных карбидообразующими элементами применяют формулу [6]

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \Sigma(V + Ti + Nb)}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} + 15 \cdot B. \quad (5)$$

Стали, у которых  $C_{\text{ЭКВ}} \geq 0,35\%$ , считаются потенциально склонными к образованию холодных трещин. При  $C_{\text{ЭКВ}} \geq 0,40\%$  при сварке становится возможным образование закалочных структур в металле сварного соединения [5].

Из сопоставления полученных данных для исследуемого химического состава (по формуле (4)  $C_{\text{ЭКВ}} = 0,407\%$ , по формуле (5)  $C_{\text{ЭКВ}} = 0,409\%$ ,  $P_{\text{см}} = 0,21\%$ ) с критическими значениями ( $C_{\text{ЭКВ}} = 0,40\%$ ,  $P_{\text{см}} = 0,23\%$ ) следует различие в оценке стойкости анализируемой стали против образования холодных трещин. Если учитывать значения  $C_{\text{ЭКВ}}$ , то сталь имеет несколько повышенную склонность к образованию холодных трещин. При учете параметра  $P_{\text{см}}$  склонность к образованию холодных трещин немного ниже. В этом случае возможность появления холодных трещин следует оценивать на основе влияния сварочного нагрева на структурное состояние сварного соединения, обеспечивающее требуемый уровень механических свойств.

Процессы структурообразования в исследуемой стали, в зависимости от способа и погонной энергии сварки, изучали по методу валиковой пробы ГОСТ 13585–68. Наплавку валиков производили на составные пластины, собранные в зажимном приспособлении (рис. 2). Пластина состояла из тринадцати брусков размером 12×16×200 мм при механизированной сварке в среде защитного газа (МП) и 12×18×200 мм при автоматической сварке под слоем флюса (АФ), валик наплавлялся на поверхности реза брусков, по оси симметрии пластины.

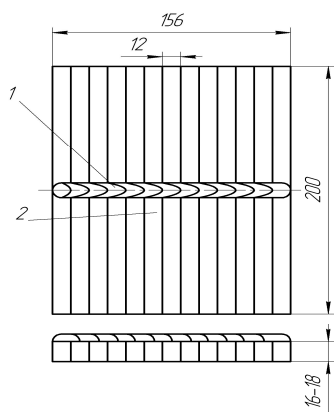


Рис. 2. Составная пластина для валиковой пробы: 1 – валик; 2 – бруски

После наплавки пластины освобождали, и окончательное охлаждение происходило на воздухе. Затем бруски поочередно отделяли один от другого в

тисках. Из брусков изготавливали образцы для испытания на ударный изгиб, измерение твердости и металлографические исследования. Образцы на ударную вязкость изготавливали согласно ГОСТ 6996–66 размерами 10×10×55 мм, V-образный надрез наносился таким образом, чтобы дно надреза располагалось в ЗТВ. Твердость металла ЗТВ измеряли по методу Виккерса, согласно ГОСТ 2999–75, микротвердость – по ГОСТ 9450–76. Три крайних бруска с каждой стороны пластины в испытаниях не участвовали.

Металлографический анализ показал, что в результате сварочного нагрева металл ЗТВ, на участке перегрева, характеризуется существенным огрублением структуры (рис. 3, 4).

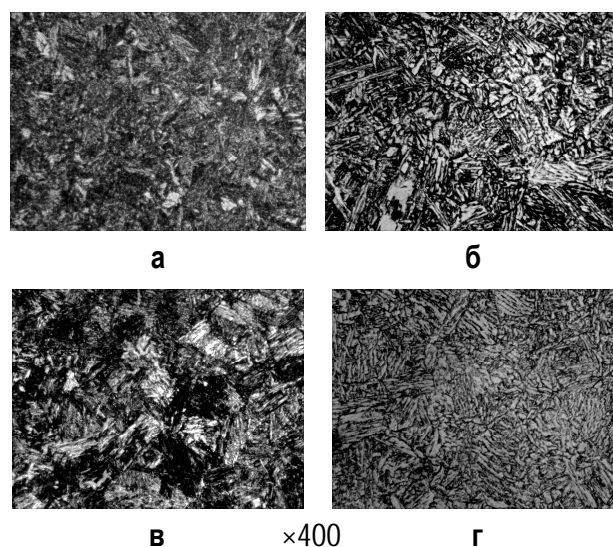


Рис. 3. МП, структура участка перегрева при погонных энергиях сварки, кДж/см: а – 1,32; б – 5,6; в – 7,14; г – 24,8

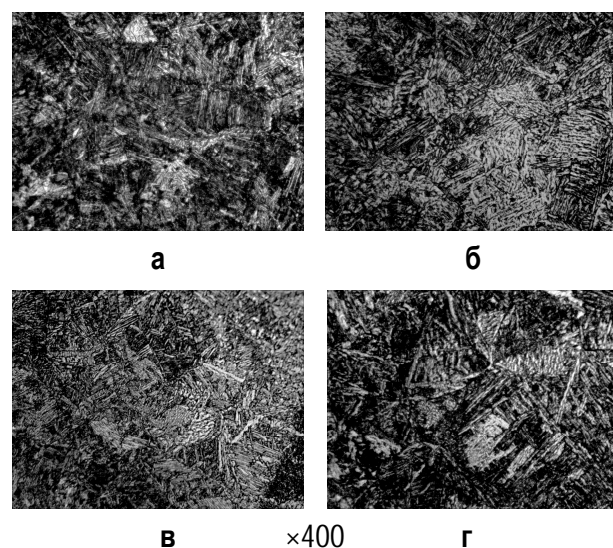


Рис. 4. АФ, структура участка перегрева при погонных энергиях сварки, кДж/см: а – 3; б – 8,5; в – 19,3; г – 53,5



Наблюдаются характерные включения в виде пластинчатых и разветвленных образований, расположенные в объеме первичных зерен. Измерения микротвердости показали, что металл на участке перегрева состоит из перлита и феррита видманштеттовой ориентировки.

Закалочных структур в металле ЗТВ в рассмотренном диапазоне погонных энергий сварки не наблюдается. Слабая закалкаемость при термических циклах сварки может быть объяснена тем, что ниобий, являясь карбидообразующим элементом, связывает углерод в карбид ниобия и тем самым смещает распад аустенита в области более высоких температур [7].

Изменение механических свойств металла участка перегрева (рис. 5, б) – твердости и ударной вязкости, связано с дисперсностью образующихся видманштеттовых структур [8]. В нашем случае толщина видманштеттовых ферритных пластин изменяется от 2–3 мкм при МП и  $q/V = 1,3$  кДж/см до 8–9 мкм при АФ и  $q/V = 53,5$  кДж/см.

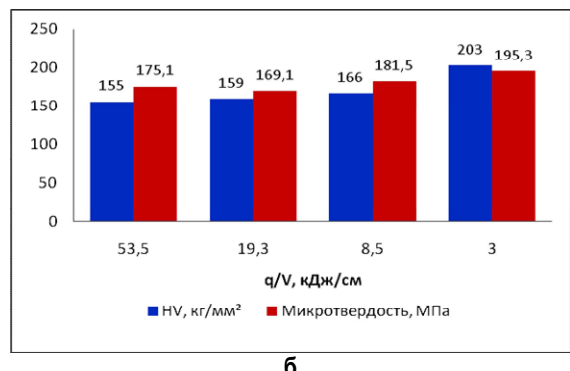
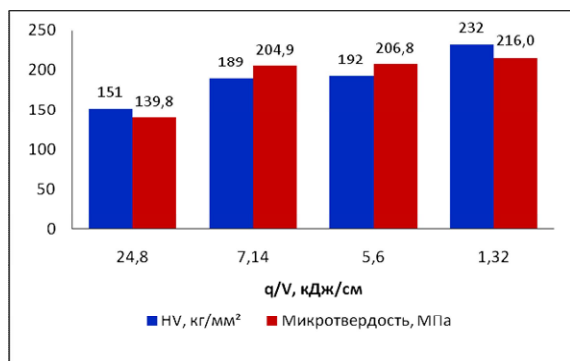


Рис. 5. Изменение твердости и микротвердости металла участка перегрева в зависимости от способа сварки и уровня погонной энергии: а – МП, толщина пластины  $\delta = 16$  мм; б – АФ, толщина пластины  $\delta = 18$  мм

При этом значения твердости изменяются в пределах от 151 до 232 HV при МП (рис. 5, а) и от 155 до 203 HV при АФ (рис. 5, б). Если ориентироваться на нормативные требования документов ОАО «Газпром», то твердость металла ЗТВ для труб из сталей класса прочности от К56 до К60 не должна превышать 325 HV. Из чего следует, что сварку стали К56 можно производить во всем рассмотренном в работе

диапазоне погонных энергий, применительно к соответствующим способам сварки.

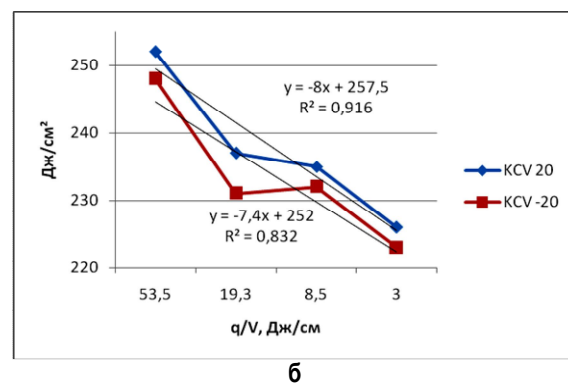
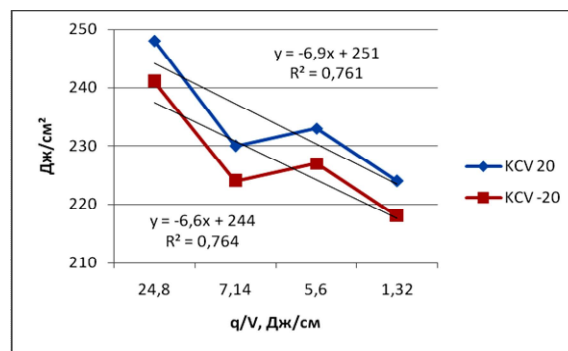


Рис. 6. Изменение ударной вязкости металла участка перегрева в зависимости от способа сварки и уровня погонной энергии: а – МП, толщина пластины  $\delta = 16$  мм; б – АФ, толщина пластины  $\delta = 18$  мм

Испытания на ударную вязкость проводили на маятниковом копре при температуре образцов  $20^{\circ}\text{C}$  и  $-20^{\circ}\text{C}$ . Результаты испытаний приведены на рис. 7 и 8. Из анализа данных следует, что металл ЗТВ обладает меньшим уровнем ударной вязкости, в сравнении с основным металлом, что, видимо, связано со значительным огрублением структуры. Однако полученные значения удовлетворяют нормативным требованиям, уровень ударной вязкости металла ЗТВ должен быть не менее  $50$  Дж/см<sup>2</sup> при температуре испытания  $20^{\circ}\text{C}$ .

Следовательно, опираясь на полученные данные, можно сказать, что сварку высокопрочной трубной стали класса прочности К56 при способах механизированной сварки в среде защитных газов и автоматической сварки под слоем флюса можно свободно выполнять в рассмотренном диапазоне погонных энергий.

### Выводы

1. Структура ЗТВ, участка перегрева стали класса прочности К56 характеризуется наличием перлита и феррита видманштеттовой ориентировки различной дисперсности.

2. Уровень механических свойств металла ЗТВ при МП и АФ в диапазоне погонных энергий сварки  $1,32$ – $24,8$  кДж/см и  $3$ – $53,5$  кДж/см соответственно удовлетворяет требованиям, установленным нормативными документами.

3. Вышеуказанные условия сварки обеспечивают отсутствие в ЗТВ сварного шва предпосылок для образования «горячих» и «холодных» трещин.

#### Список литературы

1. Макаров Г.И. Нормативные требования к вязкости разрушения трубных сталей // Сварочное производство. 2010. №5. С. 36-39.
2. Шоршоров М.Х., Чернышова Т.А., Красовский А.И. Испытания металлов на свариваемость. М.: Металлургия, 1972. 240 с.
3. Емелюшин А.Н., Шекшеев М.А. Исследование влияния термических циклов на структуру основного металла при сварке стали категории прочности K56 // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Т.1. С. 150-153.
4. Хакимов А.Н. Электродуговая сварка с регулированием термического цикла. М.: Машиностроение, 1984. 208 с.
5. Сварка. Резка. Контроль: справочник. В 2 т. / под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. М.: Машиностроение, 2004. Т.1. 624 с.: ил.
6. Ефименко Л.А., Елагина О.Ю., Вышемирский Е.М. Особенности подхода к оценке свариваемости низкоуглеродистых высокопрочных трубных сталей // Сварочное производство. 2010. №5. С. 5-11.
7. Грабин В.Ф., Денисенко А.В. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей. К.: Наук. думка, 1978. 276 с.
8. Тодоров Р.П., Христов Хр.Г. О видманштеттовых структурах углеродистых сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2004. №2. С. 3-7.

#### Bibliographic

1. Makarov G.I. Regulatory requirements for fracture toughness of pipe steels // Welding production. 2010. №5. P. 36-39.
2. Shorshorov M.H., Chernyshova T.A., Krasovsky A.I. Metal testing on weldability. M.: Metallurgy, 1972. 240 p.
3. Emeljushin A.N., Shecsheev M.A. Investigation of the influence of thermal cycles on the structure of the base metal in welding of steel category K56 / Actual problems of modern science, technology and education: materials of the 69-th scientific-technical conference. Magnitogorsk: publ. Magnitogorsk. State Technical University. G.I. Nosova, 2011. Vol.1. 268 p.
4. Hakimov A.N. Electroslag welding with the regulation of the thermal cycle. M.: Mechanical engineering, 1984. 208 p.
5. Welding. Cutting. Control: A Handbook. In 2 volumes / Under the agg. Ed. N.P. Aleshin, G.G. Chernyshov. M.: Machinery, 2004. Vol.1. etc. 624 p.
6. Efimenko L.A., Elagina O.U., Vishemirskiy E.M. Features of the approach to the evaluation of weldability of high-strength low-carbon pipe steels // Welding production. 2010. №5. P. 5-11.
7. Grabin V.F., Denisenko A.V. Physical metallurgy of welding of low and medium alloy steels. To the.: Naukova Dumka, 1978. 276 p.
8. Todorov R.P., Christov Xr. G. About vidmanshtet structures of carbon steels // Metal science and thermal treatment of metals. 2004. №2. P. 3-7.

УДК 621.785.797

Нестеренко А.М., Сычков А.Б., Сухомлин В.И.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАТАНКИ ИЗ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ СТАЛЕЙ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ СТАРЕНИИ

В результате проведенных исследований установлено, что при микролегировании бором факторами уменьшения концентрации твердорастворного азота в результате его связывания бором в борсодержащие соединения, повышения предельной растворимости С в феррите стали и снижения степени блокировки дислокаций атомами С «деактивируется» развитие процессов статического и динамического деформационного старения в углеродистых и низколегированных сталях. Показано, что более высокая технологичность при переделе волочением катанки из микролегированной бором стали Св-08Г2, предназначенной для изготовления сварочной проволоки, по сравнению с таковой из аналогичной стали без бора обусловлена меньшей степенью развития динамического деформационного старения.

**Ключевые слова:** статическое и динамическое деформационное старение, низкоуглеродистая легированная сталь, микролегирование бором, блокировка дислокаций, азот.

The studies found that when mikrolegirova-Research Institute of factors reduce the concentration of boron oxide solid solution as a result of its binding to the boron-boron-containing compounds enhance the solubility limit C in ferrite steel and reduce the blocking of dislocations with atoms of the «deactivated» the development process of static and dynamic strain aging in the Raman carbon and low alloy steels. It is shown that the more high tech in the redistribution of the drawing rod with boron microalloyed steel Sv-08G2, intended for the manufacture of welding wire, as compared with that of the same steel without boron is due to a lower degree of dynamic strain aging.

**Keywords:** static and dynamic strain aging, alloy low-carbon steel, microalloying with boron, the lock dislocations and nitrogen.

Исследования и разработки, проведенные Институтом чёрной металлургии НАН Украины (г. Днепрпетровск) совместно с Молдавским металлургическим заводом (г. Рыбница), позволили установить, что микролегирование углеродистых, низко- и среднелегированных сталей массового назначения бором повышает их пластичность и деформируемость при холодном волочении [1-4]. Причина «пластифицирующего» влияния введенных в сталь микродобавок бора до настоящего времени не находила объяснения. Поэтому исследования и разработки, выполняемые в этом направлении, представляются актуальными.

Известно [5, 6], что холодное волочение и, в целом, производство катанки на ме-тизном переделе сопряжено с развитием в ней процессов динамического (д.д.с.) и

статического (с.д.с.) деформационного старения. В основе механизмов процесса деформационного старения лежат закономерности взаимодействия атомов углерода (С) и азота (N) с дислокациями, которые введены в металл при деформации [6]. На основании проведенного анализа размерно-геометрических факторов в [7] показано, что при микролегировании сталей бором его атомы занимают в ОЦК-решётке  $\alpha$ -Fe (феррита) позиции замещения. Вызванные этим изменения размерно-геометрических параметров тетраэдрических пор в ОЦК-решётке  $\alpha$ -Fe и взаимодействия между атомами С, N, В и Fe могут существенным образом сказываться на развитии процессов с.д.с. и д.д.с.

Влияние микролегирования бором на развитие с.д.с. исследовалось на образцах катанки из углероди-

стой стали 70. Установлено, что при «остаривающей» обработке, включающей деформацию растяжением с остаточным удлинением 6% и отпуск при температуре 200°C в течение 1 ч, прирост прочностных свойств, обусловленный с.д.с., в катанке из борсодержащей стали намного ниже, чем в стали без бора. Более выраженное различие по приросту прочностных свойств для стали с бором и без бора наблюдается при этом для временного сопротивления разрыву  $\sigma_b$ :  $\Delta\sigma_b = -52 \text{ Н/мм}^2$ . Прирост по пределу текучести менее выражен:  $\Delta\sigma_T = -11 \text{ Н/мм}^2$ .

Результаты этого эксперимента свидетельствуют о том, что в сталях с бором с.д.с. феррита развивается менее интенсивно, чем в сталях без бора.

С.д.с. при производстве проволоки на метизном переделе осуществляется, в основном, в ходе постдеформационных процессов при волочении или при охлаждении готовой проволоки в шпулях и оказывает существенное влияние на формирование конечного уровня её механических и служебных свойств.

Ещё более важным с точки зрения определения способности катанки из сталей разного марочного состава к деформации волочением и установления тем самым ресурса технологической пластичности является изучение особенностей развития д.д.с. непосредственно в процессе деформации при температурах 100-500°C и имеющих место в процессе этого передела.

Приведенные в [6] данные фундаментальных работ свидетельствуют о том, что температурная зависимость д.д.с. в углеродистых сталях характеризуется двумя температурными интервалами экстремального изменения механических свойств, которые проявляются практически для всех структурных состояний этих сталей (горячекатаное, нормализованное, закаленное, после нормализации с отпуском и закалки с отпуском). Аномальное изменение свойств в интервале температур 150-300°C авторы [6] связывают, как это и общепринято, с синеломкостью стали, вызванной развитием д.д.с. Аномальное изменение механических свойств (повышение прочностных и снижение пластических свойств) в предрекристаллизационном интервале температур 400-500°C общепринятого названия не имеет. По мнению авторов [6], оно обусловлено перераспределением дислокаций и примесных атомов, прежде всего углерода и азота, в феррите сталей и динамической сфероидизацией цементита, приводящей на начальных стадиях к обогащению границ субзерен углеродом.

Применительно к развитию процессов д.д.с. проведено исследование катанки диаметром 5,5 мм из стали Св-08Г2С без бора (плавка 283684) и с микродобавкой (0,005%) бора (плавка 285378) производства ОАО «Молдавский металлургический завод» (ОАО «ММЗ»). Химический состав исследованных плавки стали Св-08Г2С приведен в таблице.

Испытания на растяжение при комнатной температуре (для определения исходного уровня механических свойств исследованных образцов катанки) и при температурах 100-500°C проводили на разрывной машине ЦД 10/90 (шкала 2 т), оснащенной высокотемпературной приставкой. Время выдержки при температуре испытания составляло 15 мин. Скорость

растяжения образцов при проведенных испытаниях образцов на растяжение составила 2 мм/мин.

#### Химический состав исследованных плавки

| Номер плавки | Массовая доля элементов, % |      |      |       |       |       |       |
|--------------|----------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|              | C                          | Mn   | Si   | S     | P     | B     | N     |
| 283684       | 0,07                       | 1,87 | 0,78 | 0,003 | 0,010 | –     | 0,005 |
| 285378       | 0,04                       | 1,79 | 0,75 | 0,002 | 0,010 | 0,005 | 0,005 |

Температурная зависимость изменения механических свойств катанки из исследованных сталей при испытаниях в интервале температур 100-500°C отличалась от вышеприведенных данных работы [6]. Вместо характерного для углеродистых сталей подъема уровня прочностных свойств в указанном интервале температур в катанке из стали Св-08Г2С без и с микродобавкой бора наблюдается устойчивое снижение прочностных свойств с фактической минусовой убылью практически для всех температур испытаний, более выраженное для стали с бором (исключение – плюсовые по сравнению с исходным состоянием значения  $\sigma_b$  для температуры испытания 350°C в катанке из стали Св-08Г2С без бора, рис. 1).

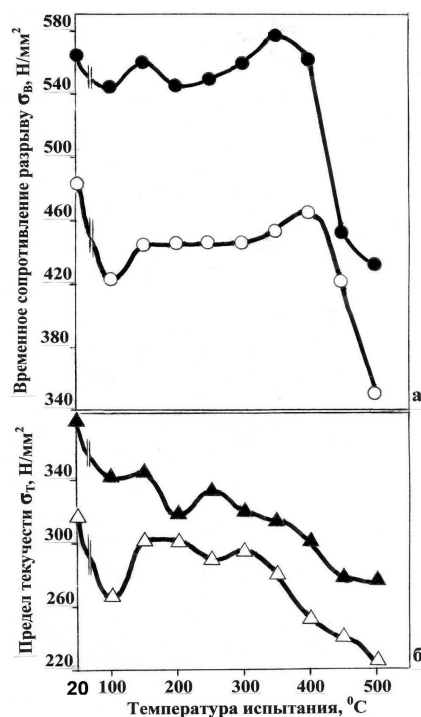
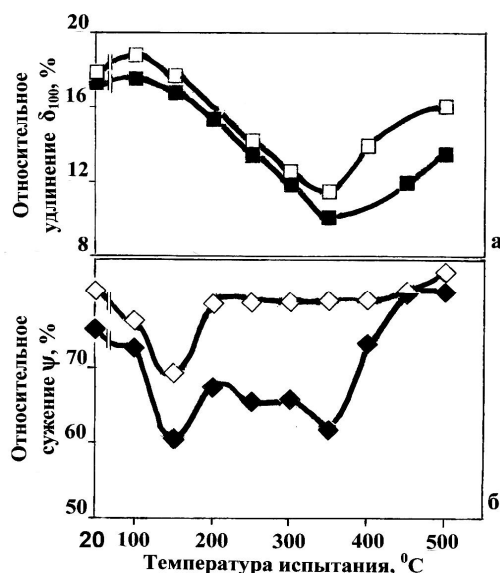


Рис. 1. Изменение прочностных свойств – временного сопротивления разрыву  $\sigma_b$  (а) и предела текучести  $\sigma_T$  (б) катанки диам. 5,5 мм из стали Св-08Г2С с бором и без бора (светлые и зачерненные обозначения соответственно) в зависимости от температуры при испытаниях на растяжение

Интересными представляются особенности изменения пластических свойств. Представленные на рис. 2 температурные зависимости изменения  $\delta_{100}$  и  $\psi$  для катанки из стали Св-08Г2С без бора и с бором существенно различаются. При этом наблюдающийся для

катанки из стали Св-08Г2С с бором стабильный уровень значений  $\psi$  на уровне 77–80% в интервале температур 200–450°C (рис. 2, б), наиболее опасном с точки зрения снижения технологической пластичности металла при волочении (до этих температур и нагреваются поверхностные зоны катанки при волочении), как раз и является тем важнейшим фактором, который объясняет наблюдающуюся на практике, в процессе переработки промышленных партий, высокую способность к деформационному формоизменению катанки из указанной стали.



**Рис. 2. Изменение пластических свойств (а, б – относительного удлинения и сужения соответственно) в образцах катанки диам. 5,5 из стали Св-08Г2С с бором и без бора (светлые и зачерненные обозначения соответственно) в зависимости от температуры при испытаниях на растяжение**

Как следует из рис. 2, б, для катанки из стали Св-08Г2С без бора в интервале температур 200–450°C наблюдается пониженный уровень значений  $\psi$ .

Согласно данным проведенного в [8] анализа, катанка из стали Св-08Г2С без бора и с бором характеризуется так называемой мультифазной исходной структурой, в ферритной матрице которой с полигональным зерном феррита 9-го номера по ГОСТ 5639 равномерно распределяются островковые участки перлита, бейнита и мартенсита [8]. Можно предположить, что наблюдающееся уже при температурах 100–150°C устойчивое снижение прочностных свойств связано с перераспределением напряжений между составляющими этой мультифазной структуры. Более существенное снижение прочностных свойств и достаточно стабильный уровень  $\psi$  в интервале температур 200–450°C катанки из стали Св-08Г2С, микролегированной бором, связаны с факторами уменьшения концентрации твердорастворного азота в результате его связывания бором в боросодержащие соединения, повышения предельной растворимости С в феррите

стали и снижения степени блокировки дислокаций атомами С. Последнее обстоятельство может быть вызвано, как указано выше, увеличением объема тетраэдрических пор в ОЦК решетке феррита стали в результате замещения в ней атомов железа атомами бора и изменения характера межатомного взаимодействия С, N, В и Fe.

Полученные данные позволяют, таким образом, утверждать, что микролегирование бором дезактивирует развитие процессов с.д.с. и д.д.с. в углеродистых и низ-колегированных сталях. Показано, что менее выраженная степень развития д.д.с. как раз и определяет более высокую технологичность при переделе волочением катанки из микролегированной бором стали Св-08Г2С по сравнению с катанкой из аналогичной стали без бора.

#### Список литературы

1. Структура и свойства канатной катанки-проволоки из непрерывнолитой стали 70, микролегированной бором / В.В.Парусов, А.М.Нестеренко, И.В.Деревянченко, А.Б.Сычков, Л.И.Демьянова, Р.В.Старов. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. науч. трудов*. Киев: Наук. думка, 1998. С. 383-388.
2. Структура и свойства катанки из боросодержащих сталей, предназначенной для изготовления сварочной проволоки/В.В.Парусов, А.М.Нестеренко, А.Б.Сычков, М.А.Жигарев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. № 3. С. 48-51.
3. Структура и свойства катанки для изготовления электродов и сварочной проволоки / А.Б.Сычков, В.В.Парусов, А.М.Нестеренко, С.Ю.Жукова и др. Бендеры: Полиграфист, 2009. 608 с.
4. Высокоуглеродистая катанка для изготовления высокопрочных арматурных канатов / А.Б.Сычков, М.А.Жигарев, А.М.Нестеренко, С.Ю.Жукова, А.В.Перегудов. Бендеры: Полиграфист, 2010. 280 с.
5. Фетисов В.П. Деформационное старение стали при волочении проволоки. Минск: Белгостанкинпромпиздат, 1996. 121 с.
6. Бабич В.К., Гуль Ю.П., Долженков И.Е. Деформационное старение стали. М.: Металлургия, 1972. 320 с.
7. Нестеренко А.М., Сычков А.Б. Размерно-геометрические аспекты легирования стали бором и медью // *Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии: сб. науч. трудов*. Днепропетровск: Видеон, 2004. Вып. 7. С. 181-183.
8. Тонкая микроструктура катанки из стали Св-08Г2С повышенной деформируемости / Нестеренко А.М., Сычков А.Б., Жукова С.Ю., Сухомлин В.И. // *Металлург*. 2008. № 9. С. 48-51.

#### Bibliography

1. Structure and properties of rod-wire cable from continuous steel 70, microalloyed with boron/V.V. Parusov, A.M. Nesterenko, I.D. Derevyanchenko, A.B. Sychkov, L.I. Demyanova, R.V. Starov. *Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy. Sat scientific papers*. Kiev: Naukova Dumka, 1998. S. 383-388.
2. Structure and properties of boron-containing steel rods, designed for the manufacture of welding wire / V.V. Parusov, A.M. Nesterenko, A.B. Sychkov, M.A. Zhigarev. *Metals and Mining Industry*. 2000. № 3. S. 48-51.
3. Structure and properties of wire rod for the manufacture of electrodes and welding wire/ A.B. Sychkov, V.V. Parusov, A.M. Nesterenko, S.Yu. Zhukova etc. Bender: Polygraphist, 2009. 608s.
4. High-rod for the manufacture of high-strength reinforcing ropes / A.B. Sychkov, M.A. Zhigarev, A.M. Nesterenko, S.Yu. Zhukova, A.V. Peregudov. Bender: Polygraphist, 2010. 280 p.
5. Fetisov V.P. Strain aging of steel in wire drawing. Minsk: Belgorstandkinpromizdat, 1996. 121 p.
6. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.E. Strain aging of steel. Moscow: Metallurgiya, 1972. 320.
7. Nesterenko A.M., Sychkov A.B. Size-geometric aspects of steel alloying with boron and copper. *Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy. Sat scientific papers*. Dnepropetrovsk: Vision, 2004. Vol. 7. P. 181-183.
8. Microstructure of a thin rod of steel Sv-08G2S high deformability / Nesterenko A.M., Sychkov A.B., Zhukov S.Yu., Sukhomlin V.I. // *Metallurg*. 2008. № 9. P. 48-51.



УДК 620.179.16

Ильясов Р.С., Бабкин С.Э., Вострокнутова О.Н.

## ВЛИЯНИЕ ОДНООСНЫХ И ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Получены экспериментальные данные, демонстрирующие влияние упругого растяжения на эффективность ЭМАП в модельных образцах поликристаллических ферромагнетиков с различным знаком магнитострикции насыщения в зависимости от их магнитного состояния при наличии и отсутствии внутренних напряжений и дано качественное описание полученных зависимостей на основе феноменологической модели ЭМАП.

**Ключевые слова:** электромагнитно-акустическое преобразование (ЭМАП), электродвижущая сила (ЭДС), электромагнитно-акустический (ЭМА), магнитострикция, анизотропия, полевые зависимости, скин-слой, никель, пермендюр, пермаллой.

Experimental data show effect of elastic strain on the effectiveness of the EMAT in the standart samples of polycrystalline ferromagnetic materials with different signs of saturation magnetostriction, depending on their magnetic state in the presence and absence of internal stress and it given a qualitative description of the dependences obtained on the basis of the phenomenological model of EMAT.

**Keywords:** electromagnetic-acoustic transformation (EMAT), electromotive force (emf), electromagnetic-acoustic (EMA), magnetostriction, anisotropy, field dependence of the, skin depth, nickel, permendur, permalloy.

Влияние приложенных  $\sigma_0$  и внутренних  $\sigma_i$  напряжений на статическую магнитострикцию  $\lambda$  от в 3d-металлах исследовано достаточно полно как экспериментально, так и теоретически [1]. Магнитострикцию, как правило, измеряют методом тензометрии, поэтому для практических приложений этот параметр неудобен, особенно в сложных и протяженных технических системах, когда есть необходимость сканирования, при наличии динамических нагрузок и вариации температуры. В этих случаях целесообразно обратиться к бесконтактным методам, основанным на электромагнитно-акустическом преобразовании (ЭМАП). Действительно, в ферромагнитных металлах электромагнитная генерация ультразвука осуществляется за счет взаимодействия магнитной, упругой и магнитоупругой подсистем. Наряду с внешним магнитным полем и температурой, напряжения, приложенные к магнетику, определяют состояние указанных подсистем и характеристики их взаимодействия, а следовательно, закономерности ЭМАП.

Несмотря на то, что связь ЭМАП с приложенными и внутренними напряжениями очевидна и экспериментально продемонстрирована в нескольких работах, например в [2-4], целостного представления о закономерностях этого явления нет. Сведения о влиянии приложенных напряжений на основной параметр ЭМАП – эффективность преобразования, которая при двойном преобразовании определяется как ЭДС, наводимая в приемной катушке, порой противоречат друг другу. В работах [2, 3] в качестве параметра оценки статических напряжений  $\sigma_0$  предлагаются некие критические поля, являющиеся производными от полевых зависимостей эффективности ЭМАП, а не само значение эффективности. Например, в работе [2] это значение напряженности магнитного поля, при котором достигается установленный уровень сигнала ЭМАП относительно максимума полевой зависимости. В работе [4] приводятся экспериментальные данные, указывающие на неоднозначный характер изменения эффективности ЭМАП от приложенных напряжений

в зависимости от магнитного состояния материала при неизменном знаке произведения  $\lambda_s \sigma_0$  ( $\lambda_s$  – магнитострикция насыщения). Аналитическое описание поведения ЭДС двойного ЭМАП как функции  $\sigma_0$  и  $\sigma_i$ , предпринятое в этой же работе, согласуется с экспериментом только в части изотропно распределенных внутренних напряжений. Остается открытым ряд вопросов: почему, например, в никеле при упругом растяжении сигнал ЭМАП в слабых полях уменьшается, а в сильных полях растет [3, 4]; как влияет на характер подобных зависимостей изменение знака магнитострикции насыщения и изменение уровня внутренних напряжений.

Настоящая работа предпринята с целью попытаться разрешить имеющиеся противоречия и ответить на поставленные вопросы. В качестве объектов исследования были выбраны материалы, отличающиеся знаком и величиной  $\lambda_s$ : никель ( $\lambda_s < 0$ ), пермаллой 50НП, 65НП, 75НП, пермендюр 49К2Ф ( $\lambda_s < 0$ ), как в состоянии поставки, так и после отжига при 1000°C.

Образцы в форме пластин размерами 20×150 мм и толщиной от 0.35 до 1 мм намагничивались тангенциальным магнитным полем  $H$  соленоида. Одноосное упругое растяжение, совпадающее с направлением магнитного поля, создавалось с помощью специально изготовленного устройства. С помощью двух индуктивных преобразователей проходного типа (секционные катушки противофазной намотки), расположенных на некотором удалении друг от друга, возбуждалась и принималась симметричная нулевая мода Лэмба (геометрия  $k \parallel H \parallel h_{\parallel} \parallel \sigma_0$ , где  $k$  – волновой вектор  $s_0$  моды,  $h_{\parallel}$  – тангенциальная составляющая переменного магнитного поля). Во всех экспериментах использовалась импульсная методика (частота заполнения радиоимпульса 2,5 МГц), что позволило исключить влияние демпфирования образца захватывающими устройствами на результаты измерений. Измеряли два вида зависимостей – зависимости ЭДС двойного ЭМАП от поляризуемого поля при постоянной рас-

тягивающей нагрузке  $E(H)$  и зависимости этого же параметра от приложенных напряжений при постоянном поле  $E(\sigma_0)$ . Полученные зависимости сопоставлялись с кривыми статической магнитострикции  $\lambda(H)$ , измеренными методом тензометрии при постоянной величине  $\sigma_0$ , в том числе при  $\sigma_0 = 0$ .

Полевые зависимости ЭДС двойного ЭМАП для никеля и пермендюра в состоянии поставки, измеренные при различных нагрузках, приведены на рис. 1 и 2, относительное изменение  $E$  в зависимости от  $\sigma_0$  при различных значениях постоянного поля – на рис. 3, 4 (кривые 1-3 и 1-4 соответственно).

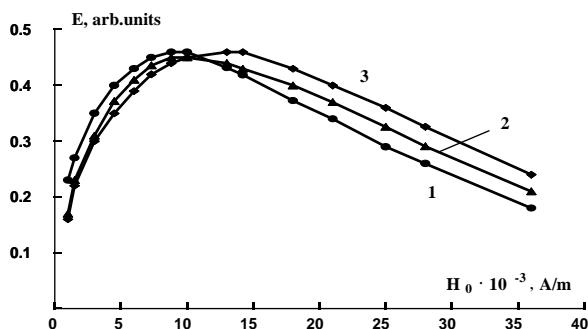


Рис. 1. Полевые зависимости ЭДС двойного ЭМАП в никеле в состоянии поставки при различных напряжениях растяжения: 1 – 0; 2 – 29; 3 – 50 МПа

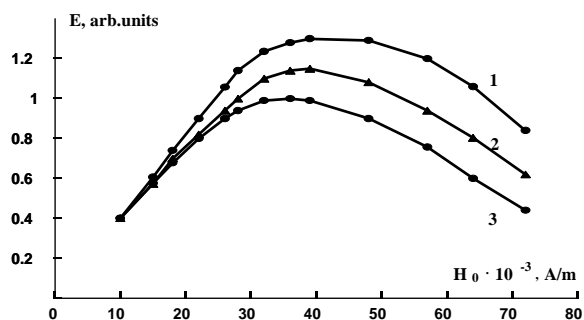


Рис. 2. Полевые зависимости ЭДС двойного ЭМАП в пермендюре 49K2F в состоянии поставки при различных напряжениях растяжения: 1 – 0; 2 – 50; 3 – 90 МПа

Сравнение результатов для никеля и пермендюра показывает, какие отличия зависимостей  $E(H)$  и  $E(\sigma_0)$  связаны со знаком  $\lambda_s$ . В никеле ( $\lambda_s < 0$ ) при увеличении растягивающих напряжений ЭДС двойного ЭМАП в слабых магнитных полях уменьшается, в сильных полях растет, а в области максимума кривой  $E(H)$  поведение  $E$  неоднозначно. При этом максимум ЭДС смещается в область сильных полей (поле, соответствующее максимуму,  $H_{max}$ , увеличивается). В пермендюре ( $\lambda_s > 0$ ) практически во всем диапазоне полей с ростом  $\sigma_0$  сигнал уменьшается и лишь в очень малых полях  $E$  имеет тенденцию к увеличению (рис. 4, кривая 1), при этом  $H_{max}$  уменьшается. Подобные же зависимости получены для сплавов 50НП, 65НП, 75НП.

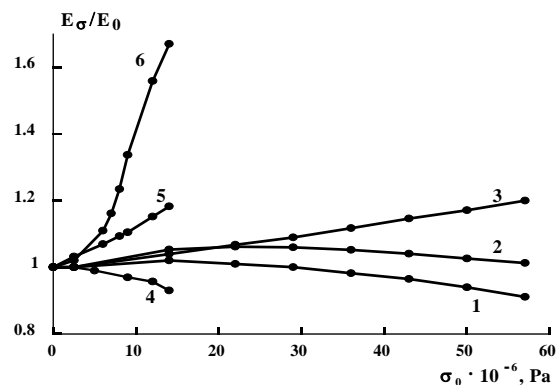


Рис. 3. Зависимость относительного изменения ЭДС двойного ЭМАП от напряжений растяжения в никеле в различных поляризующих полях (1, 2, 3, – в состоянии поставки; 4, 5, 6 – после отжига): 1 – 2.9; 2 – 7.2; 3, 6 – 21.6; 4 – 1.4; 5 –  $4.3 \times 10^3$  А/м

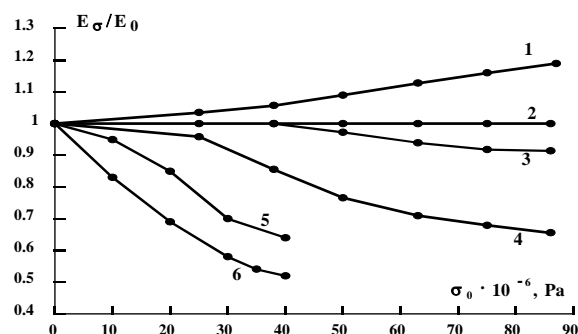


Рис. 4. Зависимость относительного изменения ЭДС двойного ЭМАП от напряжений растяжения в никеле в различных поляризующих полях (1-4 – в состоянии поставки; 5, 6 – после отжига): 1 – 14.4; 2 – 21.6; 3 – 36; 4 – 72; 5 2.2; 6 –  $10.8 \times 10^3$  А/м

Качественно объяснить динамику полевых зависимостей ЭДС двойного ЭМАП под влиянием напряжений можно на основе модели явления двойного ЭМАП [5, 6]. Для данной геометрии эксперимента ЭДС двойного ЭМАП описывается следующим упрощенным выражением:

$$E \sim \frac{\delta^2 \chi_r^2}{\chi_d^2} \left( \frac{\partial \lambda}{\partial H} \right)^2 h, \quad (1)$$

где  $\chi_r$  – обратимая магнитная восприимчивость;  $\chi_d = \partial M / \partial H$  – дифференциальная магнитная восприимчивость;  $\delta = \sqrt{2} / \sqrt{\mu_0 \mu_r \sigma_e \omega}$  – толщина скин-слоя;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\mu_r = \chi_r + 1$  – обратимая магнитная проницаемость вдоль поляризующего поля;  $\sigma_e$  – электропроводность;  $\omega$  – циклическая частота;  $\lambda$  – продольная магнитострикция,  $h$  – амплитуда переменного магнитного поля.

Вклады отдельных характеристик ферромагнетика в формирование полевой зависимости ЭДС двойного ЭМАП неравнозначны. В области полей, приле-

гающих к максимуму эффективности преобразования, ЭМАП реализуется за счет обратимых процессов вращения. В этой области обратимая и дифференциальная восприимчивости ведут себя одинаково и слабо зависят от поля, поэтому основную роль в формировании ЭМА сигнала играет магнитоупругая постоянная  $\partial\lambda/\partial H$  (далее используется обозначение  $d = \partial\lambda/\partial H$ ). Влияние дифференциальной магнитной проницаемости на зависимость ЭМАП в слабых полях будет рассмотрено ниже.

Проанализируем изменение магнитоупругой постоянной  $d$  исходя из того, что основную роль в формировании ЭМАП играют обратимые процессы вращения (слабый вклад процессов смещения экспериментально показан и проанализирован в целом ряде работ, в том числе в [7]). Для обратимых процессов из принципа Лешателье следует  $(\partial\lambda/\partial H)_\sigma \approx \mu_o(\partial M/\partial\sigma)_H$ . Для отдельного кристаллита равновесное направление намагниченности насыщения  $M_s$  и, соответственно, проекции  $M_s$  на направление  $H$  и  $\sigma_0 - M = M_s \cos\theta$  ( $\theta$  – угол между  $M_s$  и  $H$ ) находится из условия минимума полной энергии ферромагнетика, состоящей из суммы энергии магнитокристаллической анизотропии  $F_k$ , магнитной  $F_H$  и магнитоупругой  $F_\sigma$  энергий [1]:

$$F_k = \frac{1}{8}K(1 - \cos 4\phi); \quad (2)$$

$$F_H = -\mu_o H M_s \cos\theta; \quad (3)$$

$$F_\sigma = -\frac{3}{2}\lambda_s \sigma_o \cos^2 \theta, \quad (4)$$

где  $K$  – константа анизотропии;  $\phi$  – угол между  $M_s$  и легкой осью.

Вильямсом и Бозортом с учетом случайного распределения направлений легкого намагничивания по отношению к направлению поля и приложенного напряжения получено следующее выражение параметра  $d$  кубического поликристаллического ферромагнетика [1]:

$$d \sim \frac{\lambda_s \mu_o M_s}{K} \frac{M}{M_s} \left(1 - \frac{M^2}{M_s^2}\right). \quad (5)$$

Как следует из (5), параметр  $d$ , определяющий эффективность ЭМАП в поле, соответствующем  $M \approx 0,58M_s$  имеет максимальное значение, а при  $M \rightarrow 0$  и  $M \rightarrow M_s$  обращается в нуль.

Теперь рассмотрим зависимость  $d$  от приложенных напряжений. Введем обозначение  $\eta = M/M_s$ . Увеличение приложенного напряжения на  $\Delta\sigma$  приводит к изменению  $\theta$  и, как следствие, параметров  $\eta$  и  $d$ . Приращения этих параметров по отношению к равновесным значениям  $d_o$  и  $\eta_o$  обозначим  $\Delta d$  и  $\Delta\eta$ , причем, будем полагать, что  $d_o \gg \Delta d$ ,  $\eta_o \gg \Delta\eta$ . Из выражения (5) с учетом введенных обозначений следует:

$$d = d_o + \Delta d \sim \eta(1 - \eta^2) = (\eta_o + \Delta\eta) \left[1 - (\eta_o + \Delta\eta)^2\right]. \quad (6)$$

Знак приращения  $\Delta\eta$  под действием приложенных напряжений нетрудно определить из анализа выражений для магнитной (3) и магнитоупругой (4) энергий. При условии  $\lambda_s \sigma_o > 0$  действие напряжения эквивалентно приложению добавочного магнитного поля, что способствует дополнительному вращению векторов  $M_s$  в направлении  $H$  и  $\sigma_o$ , то есть к увеличению  $M = M_s \cos\theta$ . Такая ситуация соответствует растяжению ферромагнетика с положительной магнитострикцией. В случае, когда  $\lambda_s \sigma_o < 0$ , упругое растяжение приводит к вращению  $M_s$  в обратном направлении и к уменьшению  $M$ , что эквивалентно уменьшению эффективного поля.

В области слабых полей  $\eta \ll 1$ . Это дает простое соотношение для приращения магнитоупругой постоянной при нагружении

$$\Delta d \sim \Delta\eta \sim \lambda_s \Delta\sigma. \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что в слабых полях упругое растяжение в материале с  $\lambda_s > 0$  (пермендюр) должно привести к увеличению параметра  $d$ , а в материале с  $\lambda_s < 0$  (никель) к его уменьшению. Экспериментальные зависимости для никеля качественно совпадают с прогнозируемыми (см. рис. 4, кривая 1, рис. 3, кривые 1, 4), в то время как для пермендюра можно говорить лишь о тенденции увеличения ЭДС двойного ЭМАП при растяжении (см. рис. 2, рис. 4, кривая 1).

Для значений  $\eta$ , сопоставимых с единицей (сильные поля), из (6) несложно получить соотношение

$$\Delta d \sim \Delta\eta(1 - 3\eta_o^2). \quad (8)$$

Из выражения (8), в свою очередь, следует, что при условии  $3\eta_o^2 > 1$  ( $M > 0,58M_s$ ) знак приращения магнитоупругой постоянной меняется на противоположный (по сравнению со слабыми полями):

$$\Delta d \sim -\Delta\eta \sim -\lambda_s \Delta\sigma. \quad (9)$$

Это означает, что упругое растяжение в сильных полях при  $\lambda_s < 0$  (никель) должно привести к увеличению параметра  $d$ , а при  $\lambda_s > 0$  (пермендюр) – к его уменьшению, что хорошо согласуется с экспериментальными данными (см. рис. 1-4).

Подобным образом можно объяснить и смещение максимума сигнала ЭМАП по полю. Как уже говорилось выше, в случае  $\lambda_s \sigma_o > 0$  влияние растяжения эквивалентно приложению добавочного поля в том же направлении, что и внешнее поле. Поэтому магнитное состояние  $M \approx 0,58M_s$ , соответствующее максимуму  $d$ , достигается при меньших значениях внешнего поля (пермендюр, см. рис. 2). Обратная зависимость наблюдается в случае  $\lambda_s \sigma_o < 0$ . Поскольку упругое растяжение противодействует повороту намагниченности вдоль  $H$  и  $\sigma_o$ , для достижения максимума сигнала ЭМАП необходимо увеличить внешнее поле (никель, см. рис. 1).

Таким образом, выражение (5), полученное при допущении, что намагничивание осуществляется только за счет процессов вращения, дает хорошее качественное объяснение экспериментальных зависимостей в области полей, превышающих  $H_{\max}$ . В слабых полях, где преобладают процессы смещения, совпадение экспериментальных данных с выводами, следующими из анализа выражения (5), наблюдается не во всех случаях. Так, увеличение  $E$  при растяжении в области  $H < H_{\max}$  в пермендюре выражено слабо, а в сплавах Fe-Ni оно вообще не проявляется. Причина расхождения в том, что в формировании сигнала ЭМАП участвуют не только магнитоупругие, но и магнитные характеристики ферромагнетика, изменяющиеся под действием поля и напряжений. Рассмотрим их подробнее.

Из входящих в выражение (1) магнитных восприимчивостей основную роль играет дифференциальная восприимчивость  $\chi_d$ . На наиболее крутом участке кривой намагничивания, где  $\chi_d$  имеет максимум, обратимая восприимчивость  $\chi_r$  изменяется незначительно, к тому же по порядку величины она существенно меньше, чем  $\chi_d$  [1]. Поскольку  $E \sim 1/\chi_d^2$  (см. формулу (1)), ее влияние в отсутствии напряжений проявляется в ослаблении сигнала ЭМАП в слабых полях и в существенном сдвиге максимума сигнала (относительно максимума  $d$ ) в область больших индукции. По данным работы [7], максимум сигнала ЭМАП объемных волн в никеле и армо-железе наблюдается при индукциях  $B \approx 0,8 - 0,9 B_s$ .

Рассмотрим влияние  $\chi_d$  на упругие напряжения. В работе [1] на примере 68 – пермаллоя и никеля показано, что растяжение ферромагнетиков с положительной магнитоупругостью приводит к значительному увеличению угла наклона начального участка кривой намагничивания (к увеличению  $\chi_d$ ), а растяжение ферромагнетиков с отрицательной магнитоупругостью – к уменьшению  $\chi_d$ . Следовательно, в соответствии с (1) рост  $\chi_d$  должен в какой-то степени компенсировать увеличение  $\partial\lambda/\partial H$  при  $\lambda_s\sigma_o > 0$  и усиливать эффект от уменьшения  $\partial\lambda/\partial H$  при  $\lambda_s\sigma_o < 0$ . Действительно, измерения показали, что в области  $H < H_{\max}$  в никеле наблюдается четко выраженное уменьшение ЭДС двойного ЭМАП, в то время как в пермендюре ожидаемое увеличение  $E$ , следующее из анализа поведения  $d$ , проявляется слабо. В области процессов вращения  $\chi_d$  резко снижается до уровня сравнимого с величиной  $\chi_r$ , поэтому поведение сигнала ЭМАП адекватно описывается магнитоупругой постоянной  $d$ .

Сопоставление результатов, полученных на образцах в состоянии поставки и на образцах, подвергнутых отжигу, позволяет выяснить основные закономерности влияния внутренних напряжений на эффективность ЭМАП и на характер ее изменения при

упругом растяжении. Зависимости относительного изменения ЭДС двойного ЭМАП от  $\sigma_o$  в никеле и до и после отжига приведены на рис. 3 и 4. Полевые зависимости  $E(H)$  в никеле для этих ситуаций приведены на рис. 5.

Это влияние не зависит от знака  $\lambda_s$  и сводится к тому, что внутренние напряжения создают добавочное поле анизотропии (энергия которого оценивается порядком величины  $\lambda_s \sigma_i$  [1]), препятствующее перемагничиванию ферромагнетика в направлении внешнего поля. Амплитуда сигнала двойного ЭМАП после отжига возрастает в обоих случаях почти в 3 раза (эффективность прямого и обратного ЭМАП возрастает в  $\sqrt{3}$  раз), а максимум сигнала смещается в область слабых полей. Эти данные согласуются с ранее полученными экспериментальными результатами по влиянию внутренних напряжений, возникающих при закалке и последующем отпуске сталей, на параметры ЭМАП [4, 8]. В этих работах показано, что ЭДС двойного ЭМАП обратно пропорциональна внутренним напряжениям ( $E \sim 1/\sigma_i$ ). Смещение полевого максимума происходит в соответствии с выражением  $H_{\max} \sim \lambda_s \sigma_i / M_s$ , полученным в работе [8].

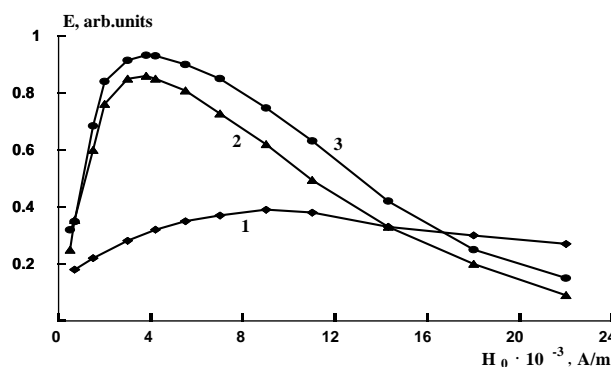


Рис. 5. Полевые зависимости ЭДС двойного ЭМАП в никеле в состоянии поставки (1) и после отжига (2, 3): 1, 2 – 0; 3 – 17 МПа

Как видно из рис. 3 и 4, чувствительность эффективности ЭМАП к упругому растяжению  $\Delta E(\sigma_o)/\Delta\sigma_o$  в исходном состоянии существенно меньше, чем после отжига. Снижение чувствительности также связано с тем, что внутренние напряжения увеличивают «магнитную жесткость» (эффективную константу анизотропии), и поворот  $M_s$  на угол  $\Delta\theta$  требует приложения больших напряжений.

После отжига тенденции изменения ЭДС двойного ЭМАП от  $\sigma_o$  в никеле и в слабых, и в сильных полях сохраняются (см. рис. 3), а в пермендюре область увеличения  $E$  при растяжении в полях  $H < H_{\max}$  практически исчезает (см. рис. 4). Мы объясняем это преобладающим вкладом дифференциальной восприимчивости в ЭДС двойного ЭМАП (см. формулу (1)), которая в результате отжига существенно увеличивается.



Таким образом, получены экспериментальные данные, демонстрирующие влияние упругого растяжения на эффективность ЭМАП в модельных образцах поликристаллических ферромагнетиков с различным знаком магнитострикции насыщения в зависимости от их магнитного состояния при наличии и отсутствии внутренних напряжений и дано качественное описание полученных зависимостей на основе феноменологической модели ЭМАП.

*Работа проведена при поддержке РФФИ-Урал (грант 07-08-96042).*

#### Список литературы

1. Бозорт Р. Ферромагнетизм. М.: ИЛ, 1956. 784 с.
2. Thompson R.B. Strain Dependence of Electromagnetic Generation Ultrasonic Surface Waves in Ferrous Metals // Appl. Phys. Lett. 1979. V. 28. №9. P. 483-485.
3. Кулеев В.Г., Кононов П.С., Телегина И.А. Влияние растягивающих нагрузок на электромагнитно-акустическое преобразование в никеле // Дефектоскопия. 1980. № 4. С. 39-49.
4. Комаров В.А. Квазистационарное электромагнитно-акустическое преобразование в металлах. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 235 с.
5. Комаров В.А., Ильясов Р.С., Шакшин Н.И. Исследование закономерностей возбуждения объемных акустических волн в ферромагнетиках квазистационарным электромагнитным полем // Дефектоскопия. 1983. № 4. С. 83-92.
6. Комаров В.А., Ильясов Р.С., Шакшин Н.И. Преобразование волн Лэмба нулевых мод в электромагнитное поле в ферромагнитных металлах // Дефектоскопия. 1982. №12. С. 38-45.
7. Ильясов Р.С., Комаров В.А. Электромагнитно-акустическое преоб-

зование объемных волн в ферромагнетиках накладными преобразователями. I. Экспериментальное изучение основных закономерностей // Дефектоскопия. 1983. № 11. С. 53-60.

8. Ильясов Р.С., Величко В.В., Бабкин С.Э. Особенности электромагнитно-акустического преобразования в стали 30ХГСА, подвергнутой термической обработке // Дефектоскопия. 2001. № 9. С. 34-45.
9. Белов К.П. Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнитных металлах. М.: Наука, 1957. 256 с.

#### Bibliography

1. Bozorth R. Ferromagnetism. M.: 1956. 784 p.
2. Thompson R.B. Strain Dependence of Electromagnetic Generation Ultrasonic Surface Waves in Ferrous Metals // Appl. Phys. Lett. 1979. V. 28. №9. p. 483-485.
3. Kuleev V.G., Kononov P.S., Telegina I.A. The influence of tensile stress on the electromagnetic-acoustic transformation in nickel // Defektoskopia 1980. №4. p. 39-49.
4. Komarov V.A. Quasi-stationary electromagnetic-acoustic transformation in metals // Sverdlovsk: USC AS USSR, 1986. 235 p.
5. Komarov V.A., Ilyasov R.S., Shakshin N.I. Investigation of the laws of the excitation of bulk acoustic waves in ferromagnetic quasi-stationary electromagnetic field // Defektoskopia 1983. № 4. p. 83-92.
6. Komarov V.A., Ilyasov R.S., Shakshin N.I. The transformation of zero modes of Lamb waves in the electromagnetic field in ferromagnetic metals // Defektoskopia 1982. № 12. p. 38-45.
7. Ilyasov R.S., Komarov V.A. Electromagnetic-acoustic transformation of body waves in ferromagnets patch transducers. Experimental study of the basic laws // Defektoskopia 1983. № 11. z. 53-60.
8. Ilyasov R.S., Velichko V.V., Babkin S.E. Peculiarities of electromagnetic-acoustic transformation in the steel 30XGCA subjected to heat treatment // Defektoskopia 2001. № 9. p. 34-45.
9. Belov K.P. Elastic, thermal and electrical phenomena in ferromagnetic metals. Moscow: Nauka, 1957. 256 p.

УДК 669.58:621.198

Стеблянко В.Л., Пономарев А.П.

## УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО СТРУКТУРЫ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ

В работе представлены результаты сравнительного анализа основных эксплуатационных свойств металлоизделий с защитными цинковыми покрытиями, полученными различными способами. Показано преимущество плазменно-электролитного цинкования перед традиционными способами по качеству формируемого покрытия и обеспечиваемым им свойствам металлопродукции (коррозионным, пластическим и др.). Приведены результаты исследования структур покрытий.

**Ключевые слова:** плазменно-электролитная обработка, электроразрядная плазма, горячее цинкование, гальваническое цинкование, поверхностная плотность, адгезия покрытия, временное сопротивление, относительное удлинение после разрыва, скорость коррозии, дифференциальная сканирующая калориметрия.

The paper presents the results of comparative analysis of the basic metal goods service properties with protective zinc coatings formed by different methods. It is shown the advantage of plasma-electrolytic zinking over traditional methods in quality of the formed coating and metal products properties provided by it (corrosive, plastic, etc). It is given the results of coatings structures research.

**Keywords:** plasma-electrolytic treatment, electric discharge plasma, hot-dip galvanizing, electrolytic zinking, surface density, adhesion of coating, ultimate strength, percent elongation after rupture, corrosion rate, differential scanning calorimetry.

Повышение срока службы металлопродукции и сокращение потерь металла от коррозии является одной из ключевых задач современной промышленности. Значительную роль в решении этой задачи играют защитные покрытия, применение которых позволяет повысить долговечность металлических изделий. По объёму и номенклатуре защищаемой продукции ведущее место среди металлических покрытий занимают цинковые. Причинами их широкого использо-

вания являются надёжность и эффективность защиты, невысокая стоимость, относительная простота нанесения. В последние годы в России отмечается устойчивый рост производства и потребления металлоизделий с цинковым покрытием (рис. 1) [1]. В 2009 году наблюдался некоторый спад, вызванный мировым финансовым кризисом. Но уже в следующем году докризисный уровень потребления был превышен, и рост продолжился.

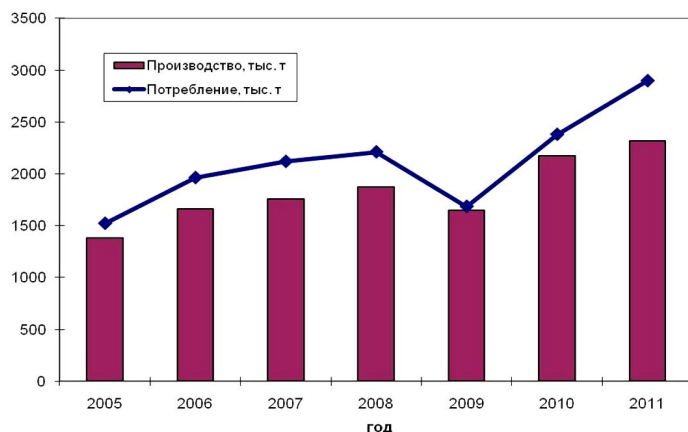


Рис. 1. Производство и потребление оцинкованного металлопроката в России

Существуют различные виды цинкования: гальваническое, из расплава цинка (горячее), термодиффузионное, газотермическое, холодное. У каждого из этих видов есть свои преимущества и недостатки.

Для получения цинковых покрытий высокого качества важной является подготовка и активация поверхности металла перед нанесением покрытия. Использование электроразрядной плазмы для получения металлических покрытий позволяет совместить процессы высококачественной подготовки поверхности и непосредственно нанесения покрытия. В МГТУ им. Г.И. Носова под руководством профессора Стеблянюк В.Л. на протяжении ряда лет осуществляются теоретические и экспериментальные исследования по применению электроразрядной плазмы для модифицирования поверхности металлических изделий с целью создания принципиально новых технологий, совмещающих в единый процесс очистку поверхности, формирование покрытий и получение требуемых структурно-механических свойств материалов [2-7]. В Лаборатории слоистых композиционных материалов и покрытий был создан ряд устройств для решения таких задач. В частности, была создана установка по нанесению металлических покрытий, в том числе и цинковых, на металлическую ленту из раствора соответствующего электролита с помощью электроразрядной плазмы. На этой установке были получены образцы ленты с цинковым покрытием, которые подверглись испытаниям для сопоставления полученных свойств с наиболее распространёнными способами цинкования: горячим и гальваническим.

Для исследований использовались образцы со следующими значениями поверхностной плотности покрытия (массы покрытия, отнесённой к площади покрываемой поверхности) (табл. 1).

Таблица 1

Поверхностная плотность покрытия исследуемых образцов

| Вид покрытия            | Поверхностная плотность покрытия М, г/м <sup>2</sup> |
|-------------------------|--|
| Горячее                 | 235  |
| Гальваническое          | 112  |
| Плазменно-электролитное | 117  |

Качество цинкового покрытия, оцениваемое по ГОСТ 792-67 [8], определялось как показатель стойкости покрытия к стравливанию его в растворе медного купороса. Образцы с гальваническим покрытием выдержали 3 погружения, с горячим покрытием – 6 погружений, с плазменно-электролитным покрытием – 12 погружений. Это говорит о том, что благодаря использованию электроразрядной плазмы было получено покрытие более высокого качества, чем при применении традиционных способов. Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что требуемое высокое качество цинкового покрытия может быть обеспечено покрытием нового вида с существенно меньшей поверхностной плотностью. Это следует рассматривать как эффективное направление экономии дефицитного цветного металла. Улучшение качества образцов с плазменно-электролитным покрытием объясняется образованием в его структуре различных соединений, в частности оксида цинка, которые препятствуют стравливанию покрытия раствором медного купороса, о чём свидетельствуют проведённые металлографические исследования и спектральный анализ состава образцов с покрытием. Спектральный анализ (рис. 2) показал, что в покрытии, полученном плазменно-электролитным способом, содержится большое количество кислорода (13,22% по массе) (табл. 2). Учитывая условия образования этого покрытия (высокая температура), можно утверждать, что в нём присутствуют мощные оксидные плёнки, повышающие стойкость покрытия к химическим воздействиям.

Спектральный анализ (рис. 2) показал, что в покрытии, полученном плазменно-электролитным способом, содержится большое количество кислорода (13,22% по массе) (табл. 2). Учитывая условия образования этого покрытия (высокая температура), можно утверждать, что в нём присутствуют мощные оксидные плёнки, повышающие стойкость покрытия к химическим воздействиям.

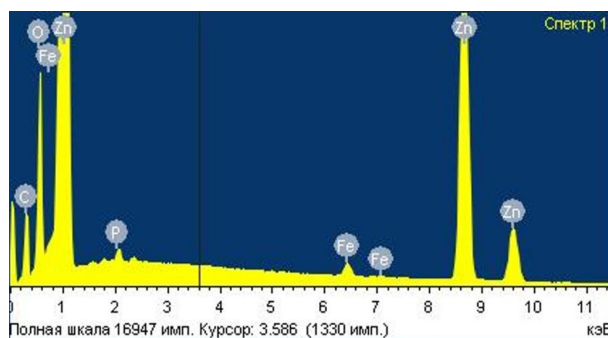


Рис. 2. Спектрограмма плазменно-электролитного покрытия

Таблица 2

Содержание элементов в плазменно-электролитном покрытии

| Элемент | Содержание элемента, % (по массе) | Содержание элемента, % (ат) |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------|
| С       | 15.17                             | 39.55                       |
| О       | 13.22                             | 25.89                       |
| Р       | 0.33                              | 0.34                        |
| Fe      | 0.83                              | 0.46                        |
| Zn      | 70.45                             | 33.76                       |
| Итого   | 100.00                            |                             |

Для определения адгезии металлического покрытия к основе было проведено испытание образцов на изгиб на  $180^\circ$  по ГОСТ 14019-2003 «Материалы металлические. Метод испытания на изгиб» [9]. Лента с гальваническим покрытием испытания не выдержала. Образцы с покрытиями, полученными горячим и плазменно-электролитным способами, испытание выдержали [10].

Механические испытания образцов на растяжение по ГОСТ 11701-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент» [11] показали, что после плазменно-электролитного цинкования относительное удлинение после разрыва выросло с 19% для необработанной ленты до 26%, при этом временное сопротивление осталось на уровне до нанесения покрытия. Механические свойства ленты после нанесения гальванического покрытия практически не изменились. В случае горячего покрытия наблюдается некоторое снижение относительного удлинения после разрыва по сравнению с лентой без покрытия. Полученные результаты отражают объективные данные об использовании, в частности бронекабельной ленты с цинковым покрытием, сформированным из расплава цинка, так как у потребителей такой ленты часто возникают проблемы с её применением из-за обрывов при укладывании на кабели. Рост пластичности в случае плазменно-электролитной обработки может быть вызван увеличением числа вероятных направлений скольжения внутри и вдоль границ зёрен металла вследствие снижения энергий активации образования дефектов и их миграции. Одновременно с этим идёт процесс дробления зёрен (рис. 3), сопровождающийся ростом количества и общей протяжённости их границ, что способствует упрочнению металла и сохранению значения временного сопротивления на уровне до нанесения покрытия.



Рис. 3. Микроструктура образца с плазменно-электролитным покрытием,  $\times 200$

Защитная способность покрытий оценивалась по ГОСТ 9.308-85 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний» [12] (метод испытаний при воздействии нейтрального соляного тумана). Длительность испытания составила 720 часов. Результаты представлены в табл. 3. Образцы выдержали испытание (отсутствует коррозия основного металла). Но, вместе с тем, площадь и скорость коррозии у гальванического покрытия

была значительно выше, чем у горячего и плазменно-электролитного. Степень поражения коррозией цинка (белой коррозией) для плазменно-электролитного покрытия значительно меньше, чем для горячего покрытия, при этом скорости их коррозии различаются не так существенно. Это связано с тем, что глубина проникновения коррозии в случае плазменно-электролитного покрытия выше, чем для образцов с горячим покрытием. Резервом улучшения коррозионных свойств плазменно-электролитного покрытия может служить пластическое деформирование металла с покрытием.

Таблица 3

Результаты коррозионных испытаний образцов с цинковым покрытием

| Вид покрытия            | Степень поражения белой коррозией, % | Потеря массы на единицу площади $\Delta m$ , г/м <sup>2</sup> | Скорость коррозии $K$ , г/м <sup>2</sup> ·ч |
|-------------------------|--------------------------------------|---|---|
| Горячее                 | 11,6                                 | 25,8  | 0,036                                       |
| Гальваническое          | 32,4                                 | 72,5  | 0,101                                       |
| Плазменно-электролитное | 6,7                                  | 21,7  | 0,030                                       |

С целью изучения структуры получаемых покрытий проведено их исследование методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3. Согласно этому методу измеряется количество энергии, поглощенной образцом или выделившейся из образца при непрерывном повышении или понижении температуры или при выдержке материала при постоянной температуре [13]. Были получены кривые (рис. 5, 7, 9). Затем проводился их анализ, результаты которого сопоставлялись с диаграммой состояния системы Fe-Zn (рис. 4) [14].

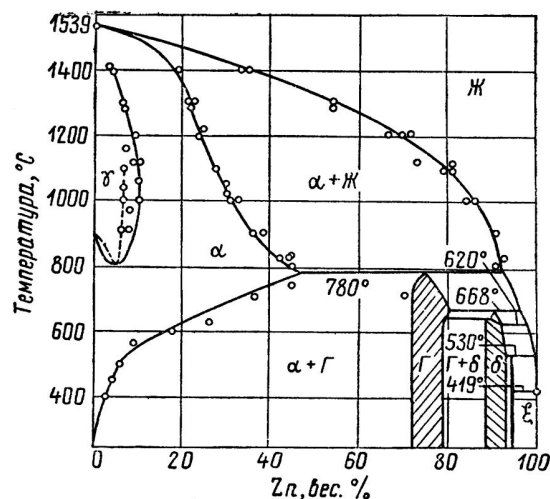


Рис. 4. Диаграмма состояния системы Fe-Zn

На графике, полученном для горячего покрытия (см. рис. 5), есть несколько эндотермических пиков, соответствующих определённым фазам в данном покрытии. Первый пик ( $414,6^\circ\text{C}$ ) соответствует наличию в покрытии чистого цинка. Пик при температуре  $573,8^\circ\text{C}$  указывает на присутствие  $\zeta$ -фазы, которая



имеет столбчатую структуру. Следующая –  $\delta$ -фаза. Она обнаруживается в покрытии по наличию на кривой ДСК пика при  $672,6^{\circ}\text{C}$ . Эта фаза содержит от 7 до 11,5% железа. Пик при  $781,6^{\circ}\text{C}$  свидетельствует о  $\Gamma$ -фазе в покрытии, являющейся наиболее твёрдой из железоцинковых фаз. Следующий пик ( $815,5^{\circ}\text{C}$ ) отвечает переходу всего покрытия в жидкое состояние. Исходя из его значения, можно считать, что процентное содержание цинка (по массе) в покрытии, полученном горячим способом, равно 91%. Пики при более высоких температурах соответствуют различным превращениям в основном металле и испарению цинка. Наличие в покрытии, полученном из расплава цинка, железоцинковых фаз подтверждается металлографическими исследованиями (рис. 6).

Гальваническое покрытие полностью состоит из чистого цинка, поскольку на кривой ДСК (рис. 7) есть пик только при температуре  $416,9^{\circ}\text{C}$  и отсутствуют пики, соответствующие различным железоцинковым фазам. Отсутствие в этом случае химического взаимодействия цинка со стальной основой снижает адгезию такого покрытия к основе. Микроструктура гальванического покрытия представлена на рис. 8.

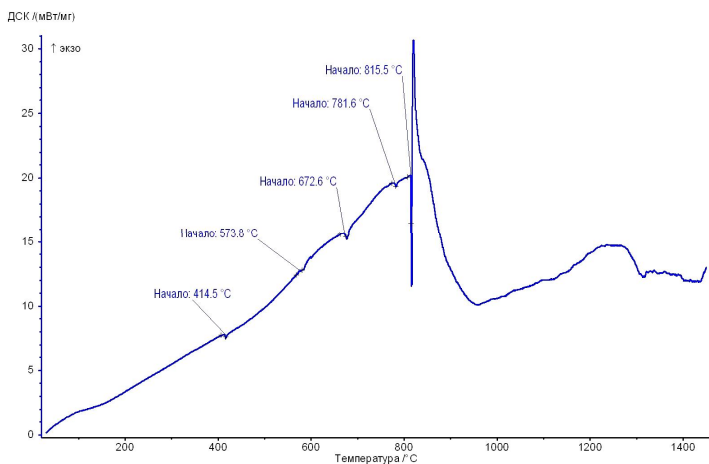


Рис. 5. Кривая ДСК для образца с горячим покрытием

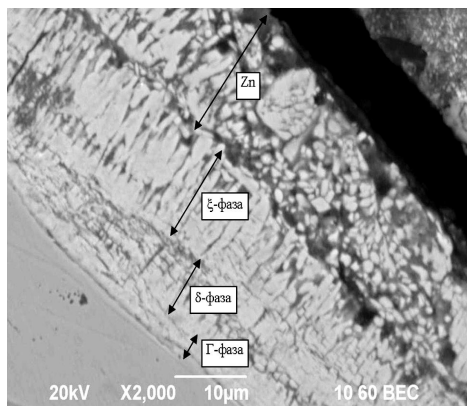


Рис. 6. Микроструктура покрытия, полученного из расплава цинка,  $\times 2000$

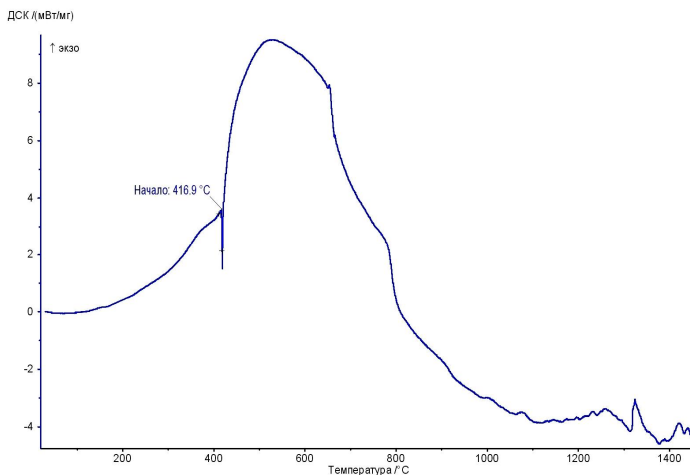


Рис. 7. Кривая ДСК для образца с гальваническим покрытием

Покрытие, полученное с помощью электроразрядной плазмы (рис. 9), также преимущественно состоит из чистого цинка (пик при температуре  $414,7^{\circ}\text{C}$ ), но на границе покрытие – стальная основа имеет место железоцинковое соединение ( $\zeta$ -фаза (пик при температуре  $527,9^{\circ}\text{C}$ )), что обуславливает прочное соединение покрытия с основой. Микроструктура плазменно-электролитного покрытия представлена на рис. 10.

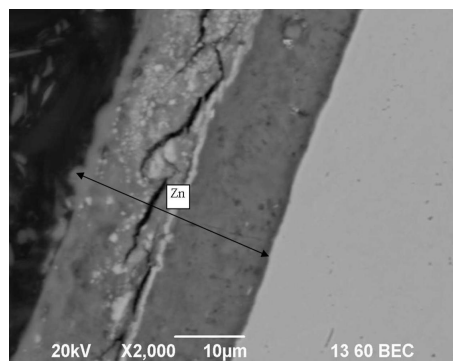


Рис. 8. Микроструктура гальванического покрытия,  $\times 2000$

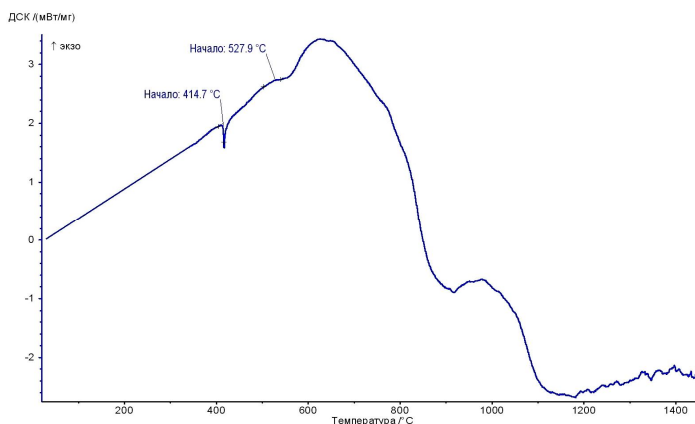


Рис. 9. Кривая ДСК для образца с плазменно-электролитным покрытием



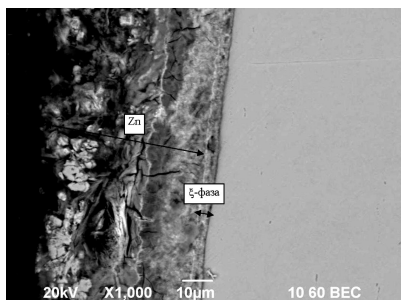


Рис. 10. Микроструктура плазменно-электролитного покрытия,  $\times 1000$

Таким образом, можно говорить об уникальности свойств цинкового покрытия, получаемого способом плазменно-электролитной обработки. Он даёт возможность создавать универсальные компактные агрегаты, позволяющие наносить покрытия из различных металлов на одном и том же агрегате.

#### Список литературы

1. Пикалов С.Л. Развитие производства и сбыта оцинкованного и окрашенного проката в ОАО ММК. Основные тенденции и перспективы // *Материалы 7-й Международной конференции «Рынок оцинкованного и окрашенного проката - 2012»*. М., 2012.
2. Пат. 2008109 Российской Федерации, МПК<sup>6</sup> В 21 С 23/22, В 23 К 35/40, В 23 К 20/04. Способ очистки поверхности металлического изделия / Стеблянко В.Л., Бухиник Г.В. и др. Опубл. 28.02.94, Бюл. № 4.
3. Пат. 2055947 Российской Федерации, МПК<sup>6</sup> С 25 F 1/00. Способ изготовления биметаллической проволоки / Стеблянко В.Л., Рябков В.М. и др. Опубл. 10.03.96, Бюл. № 7.
4. Пат. 2077611 Российской Федерации, МПК<sup>6</sup> С 25 D 5/00, С 25 D 17/00. Способ обработки поверхности и устройство для его осуществления / Стеблянко В.Л., Рябков В.М. - Опубл. 20.04.97, Бюл. № 11.
5. Пат. 5.700366 США, МПК<sup>6</sup>. Electrolytic Process for Cleaning and Coating Electrically Conducting Surfaces / Steblianko V.L., Riabkov V.M. Опубл. 23.12.97.
6. Стеблянко В.Л. Создание технологии получения биметаллической проволоки и покрытий на основе процессов, совмещённых с пластическим деформированием: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05. Магнитогорск, 2000.
7. Стеблянко В.Л., Пономарев А.П., Адаев А.Р. Повышение качества обработки и эксплуатационных свойств металлической поверхности на основе контроля и управления её электрическим потенциалом // *Чёрные металлы / Издательский дом «Руда и металлы»*. 2011. Июнь (специальный выпуск). С. 47-50.
8. ГОСТ 792-67. Проволока низкоуглеродистая качественная. Технические условия. Взамен ГОСТ 792-41; введ. 1968-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 6 с.
9. ГОСТ 14019-2003. Материалы металлические. Метод испытания на изгиб. Взамен ГОСТ 14019-80; введ. 2004-09-01. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
10. Пономарев А.П., Стеблянко В.Л. Электролитно-плазменное цинкование как перспективный метод модифицирования свойств металлоизделий // *Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов:*

11. материалы XXI Уральской школы металловедов-термистов. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. С. 189-190.
12. ГОСТ 11701-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент. Взамен ГОСТ 11701-66; введ. 1986-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1985. 12 с.
13. ГОСТ 9.308-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний. Взамен ГОСТ 9.012-73; введ. 1987-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 21 с.
14. Principles and Applications of Thermal Analysis / Paul Gabbott. Oxford: Blackwell Publishing, 2008. 484 с.
15. Алисова С.П., Будберг П.Б. Диаграммы состояния металлических систем. М.: Производственно-издательский комбинат ВНИИТИ, 1975. 268 с.

#### Bibliography

1. Pikalov S.L. The development of production and distribution of zinc-coated and painted rolled metal in JSC MMK. The main trends and prospects / S.L. Pikalov // *Materials of the 7-th International conference «The market of zinc-coated and painted rolled metal 2012»*. М., 2012.
2. Pat. 2008109 of The Russian Federation, IPC<sup>6</sup> B 21 C 23/22, B 23 K 35/40, B 23 K 20/04. Method of surface cleaning of metal product / Steblianko V.L., Buhinik G.V. et al. Publ. 02/28/94, Bull. № 4.
3. Pat. 2055947 of The Russian Federation, IPC<sup>6</sup> C 25 F 1/00. Method of bimetallic wire fabrication / Steblianko V.L., Riabkov V.M. et al. Publ. 03/10/96, Bull. № 7.
4. Pat. 2077611 of The Russian Federation, IPC<sup>6</sup> C 25 D 5/00, C 25 D 17/00. Method of surface cleaning and device for its realization / Steblianko V.L., Riabkov V.M. Publ. 04/20/97, Bull. № 11.
5. Pat. 5.700366 of The USA, IPC<sup>6</sup>. Electrolytic Process for Cleaning and Coating Electrically Conducting Surfaces / Steblianko V.L., Riabkov V.M. Publ. 12/23/97.
6. Steblianko V.L. Creation of technology of bimetallic wire and coatings production on the basis of the processes combined with plastic forming: thes. ... Dr.Sci.Tech.: 05.16.05. Magnitogorsk, 2000.
7. Steblianko V.L., Ponomarev A.P., Aadaev A.R. Improving the quality of processing and performance properties of the metal surface through the control and management of its electric potential // *Ferrous metals / Publishing house «Ore and Metals»*. 2011. June (special issue). P. 47-50.
8. GOST 792-67. Low-carbon wire of quality. Specifications. In return for GOST 792-41; intr. 1968-01-01. М.: PPC Standards Publishing house, 2003. 6 p.
9. GOST 14019-2003. Metallic materials. Bend test method. In return for GOST 14019-80; intr. 2004-09-01. М.: Standartinform, 2006. 7 p.
10. Ponomarev A.P., Steblianko V.L. Electrolytic-plasma zincing as a promising method of metal goods properties modification // *Topical problems of physical metallurgy of steels and alloys: materials of the XXI Ural school of metallographers-heat-treaters*. Magnitogorsk: MSTU named after G.I. Nossou Publishing house, 2012. P. 189-190.
11. GOST 11701-84. Metals. Methods of tensile testing of thin sheets and strips. In return for GOST 11701-66; intr. 1986-01-01. М.: Standards Publishing house, 1985. 12 p.
12. GOST 9.308-85 Unified system of corrosion and ageing protection. Metal and non-metal inorganic coatings. Procedures for accelerated corrosion tests. In return for GOST 9.012-73; intr. 1987-01-01. М.: Standards Publishing house, 1986. 21 p.
13. Principles and Applications of Thermal Analysis / Paul Gabbott. Oxford: Blackwell Publishing, 2008. 484 p.
14. Alisova S.P., Boodberg P.B. The phase diagrams of metal systems. М.: Production and publishing complex of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information, 1975. 268 p.

УДК 621.64

Кусков К.В., Ковенский И.М.

## МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ 09Г2С

Исследовано влияние допустимых дефектов сварного шва на малоцикловую усталость стали 09Г2С. При испытаниях варьировались максимальное напряжение растяжения и амплитуду изменения напряжения. Получено квадратичное уравнение регрессии, связывающее число циклов до разрушения, максимальное напряжение растяжения и амплитуду изменения напряжения.

**Ключевые слова:** малоцикловая усталость, сталь 09Г2С, сварной шов, дефект.

The influence of valid weld trouble on the low cycle fatigue of the steel 09G2S had been studied. The maximum stress of tension and the amplitude of stress excursion ranged during testing. The quadratic regression equation relating the number of cycles to failure, the maximum stress of tension and the amplitude of stress excursion had been obtained.

**Keywords:** low cycle fatigue, steel 09G2S, weld, trouble.

Низколегированная сталь 09Г2С широко используется в сварных конструкциях при температурах от -70 до 425°C и повышенном давлении: в химическом, нефтяном и пищевом машиностроении, судо-, вагоно- и мостостроении, при изготовлении трубопроводов [1]. В случае эксплуатации стали в условиях переменных нагрузок, в отличие от статических, происходит накопление необратимых микропластических деформаций в структурно-неоднородных объемах металла, перераспределение атомов углерода и примесей, которые приводят к увеличению прочности, твердости и одновременно к уменьшению пластичности и ударной вязкости, а следовательно, к снижению сопротивляемости разрушению [2–4]. Сварной шов и зона термического влияния вблизи него являются наиболее протяженным структурно-неоднородным объемом металлоконструкции, в котором вероятно зарождение очага усталостного разрушения.

Усталостные испытания сварных соединений проводились неоднократно [5, 6], но при этом тестировалась конструкция в целом без учета характера присутствовавших дефектов. В настоящей работе исследовали влияние допустимых (согласно нормативно-технологической документации [7, 8]) дефектов сварного шва на малоцикловую усталость.

Пластины из стали 09Г2С размером 500×150×8 мм (длина × ширина × толщина) сваривали встык механизированной сваркой в среде углекислого газа. Исходную пластину разрезали на образцы размером 300×30×8 мм, причем участки пластины, где начинался и заканчивался сварной шов, для испытаний не использовали. Подготовленные образцы в зависимости от наличия выявленных при рентгенографическом контроле допустимых дефектов делили на два условных типа:

*А* – с визуально различимыми допустимыми дефектами сварного шва (непровары, несплавления и подрезы глубиной до 0,4 мм);

*Б* – без выявленных дефектов сварного шва.

Для сравнения испытывали образцы без сварного шва (тип *В*). Материал образцов по результатам испытаний на растяжение показал следующие механические характеристики: предел прочности  $\sigma_B = 490,2$  МПа, условный предел текучести  $\sigma_{02} = 367,7$  МПа, относительное удлинение  $\delta = 29,8\%$ .

Усталостные испытания проводили на универсальной машине ЦД-20 с пульсатором Пу-10. Переменная растягивающая нагрузка от максимального напряжения растяжения  $\sigma_{max}$  до минимального  $\sigma_{min}$  действовала вдоль оси образца (перпендикулярно сварному шву). Частота циклов нагружения составляла 10 Гц. В каждой серии использовали по 7 образцов. Результаты испытаний приведены в **таблице**.

На **рис. 1** представлены характерные примеры разрушенных образцов с визуально различимыми допустимыми дефектами сварного шва. Поверхность разрушения представляет собой классический усталостный излом, на котором выделяются зона усталости и зона долома. Усталостные трещины наблюдаются как в корневом шве (**рис. 1, а**), так и в зоне термического влияния на верхней поверхности образца вблизи облицовочного шва (**рис. 1, б**). Их зарождение

происходит вблизи непроваров (**рис. 1, в**), несплавлений и подрезов. В дальнейшем трещина может ветвиться в нескольких направлениях, с возникновением новых трещин вблизи других концентраторов напряжения.

Параметры усталостных испытаний

| Номер серии | Тип образцов   | Максимальное напряжение растяжения $\sigma_{max}$ , МПа | Минимальное напряжение растяжения $\sigma_{min}$ , МПа | Амплитуда изменения напряжения $A_\sigma$ , МПа | Количество циклов до разрушения N |
|-------------|--|---|--|---|-----------------------------------|
| 1           | А – с визуально различимыми допустимыми дефектами сварного шва | 330   | 294  | 36  | 16000                             |
| 2           |  | 330   | 303  | 27  | 35000                             |
| 3           |  | 330   | 312  | 18  | 125000                            |
| 4           |  | 330   | 314  | 16  | 150000                            |
| 5           |  | 283   | 260  | 23  | 97000                             |
| 6           |  | 250   | 214  | 36  | 50700                             |
| 7           |  | 250   | 223  | 27  | 97600                             |
| 8           |  | 250   | 232  | 18  | 250300                            |
| 9           |  | 205   | 169  | 36  | 57200                             |
| 10          |  | 205   | 187  | 18  | 323500                            |
| 11          | Б – без выявленных дефектов сварного шва                       | 330   | 294  | 36  | 83000                             |
| 12          |  | 330   | 312  | 18  | 348000                            |
| 13          |  | 250   | 214  | 36  | 95700                             |
| 14          |  | 250   | 232  | 18  | 433200                            |
| 15          |  | 205   | 169  | 36  | 126800                            |
| 16          | В – без сварного шва   | 430   | 384  | 46  | 17300                             |
| 17          |  | 330   | 284  | 46  | 64100                             |
| 18          |  | 330   | 294  | 36  | 198200                            |
| 19          |  | 330   | 303  | 27  | 346000                            |
| 20          |  | 330   | 312  | 18  | 497000                            |
| 21          |  | 250   | 214  | 36  | 239000                            |
| 22          |  | 205   | 169  | 36  | 322900                            |

Сравнение серий 1 – 11, 3 – 12, 4 – 14, 6 – 13, 9 – 15 (см. **таблицу**) показывает, что образцы без выявленных перед испытаниями дефектов сварного шва выдерживали в 2–5 раз большее число циклов изменения нагрузки до разрушения, чем образцы с дефектами. Причем наибольшее повышение выносливости наблюдается при «жестких» условиях испытания: максимальном напряжении растяжения 330 МПа и амплитуде изменения напряжения 36 МПа. После испытаний в изломе образцов типа *Б* обнаружены внутренние и приповерхностные дефекты размером до 200 мкм, вблизи которых и зарождались усталостные трещины.

Во всех случаях разрушение носит вязкий характер, область разрушения деформирована, удлинение составляет не более 1,5% относительно рабочей длины образца.

Испытания при максимальном напряжении растяжения  $\sigma_{max}$ , превышающем предел текучести стали 09Г2С (серия 16 в **таблице**), показали заметное уменьшение длительности сопротивления образцов усталостному разрушению, по сравнению с другими образцами типа *В*.

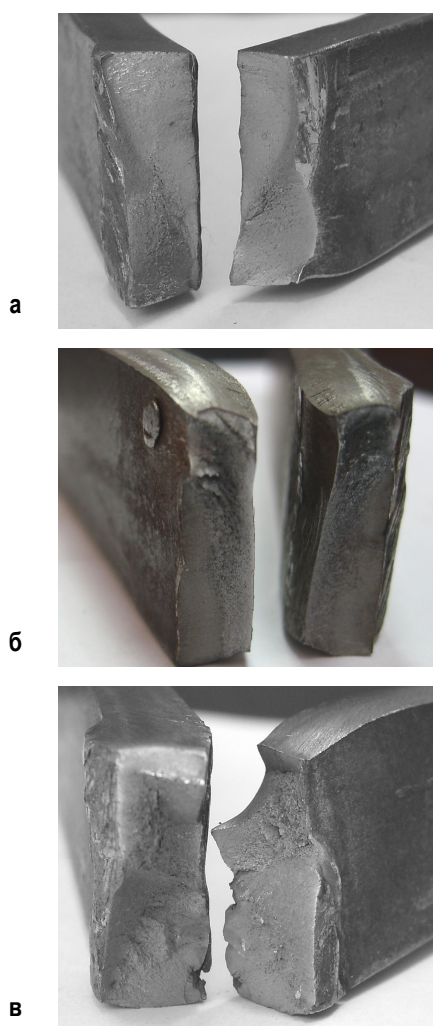


Рис. 1. Излом сварного соединения после усталостных испытаний (а – образец серии №9; б – образец серии №12; в – образец серии №11)

Сравнение результатов усталостных испытаний серий образцов *Б* и *В* свидетельствует, что наличие даже качественного сварного шва уменьшает длительность сопротивления металла усталостному разрушению в 1,4–2,4 раза. Особенно заметно количество циклов до разрушения уменьшается при повышенных значениях  $\sigma_{\max}$  и амплитуды изменения напряжения  $A_{\sigma}$ . Это обусловлено повышенной неоднородностью структуры литого металла и зоны термического влияния, а также наличием даже мельчайших концентраторов напряжений, которые могут стать очагами зарождения усталостной трещины.

Соотношение между количеством циклов до разрушения образца и параметрами испытаний для наиболее опасного типа образцов *А* описывает уравнение регрессии второго порядка:

$$N = 1,6461 \cdot 10^6 - 3701,8660 \cdot \sigma_{\max} - 59681,4092 \cdot A_{\sigma} + 1,4576 \cdot \sigma_{\max}^2 + 72,3891 \cdot A_{\sigma} \cdot \sigma_{\max} + 561,0847 \cdot A_{\sigma}^2.$$

Уравнение получено с помощью программы STATISTICA 6.1 (коэффициент корреляции 0,87 при доверительной вероятности 0,95; все коэффициенты

регрессии значимы). Геометрически оно интерпретируется плоскостью, показанной на рис. 2.

Анализ уравнения и рис. 2 показывает значительное влияние исследованных амплитуд изменения напряжения (18–36 МПа) на количество циклов до разрушения образцов: увеличение  $A_{\sigma}$  приводит кратно уменьшению  $N$ . Этот вывод подтверждают данные экспериментальных исследований при сравнении результатов испытаний серий образцов различных типов: 1 – 4, 6 – 8, 9 – 10, 11 – 12, 13 – 14 и т.д. (см. таблицу). Снижение амплитуды изменения напряжения до 6 – 8% от  $\sigma_{\max}$  практически перестает влиять на количество циклов до разрушения образца, которое может составлять более  $10^5$ . Повышение максимального напряжения растяжения снижает количество циклов до разрушения сварного соединения, что особенно заметно при малых значениях амплитуды изменения напряжения (см. рис. 2).

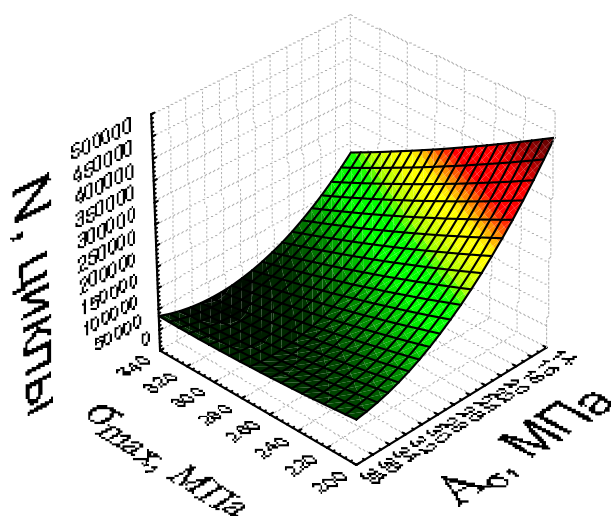


Рис. 2. Графическая интерпретация уравнения корреляции количества циклов до разрушения образца с максимальным напряжением растяжения  $\sigma_{\max}$  и амплитудой изменения напряжения  $A_{\sigma}$

Полученное уравнение корреляции позволяет оценить остаточный ресурс металлоконструкции, который еще достаточно велик, так как с момента зарождения трещины до разрушения сталь 09Г2С выдерживает примерно 6–10 тысяч циклов в зависимости от амплитуды изменения напряжения. В течение этого периода зарождающийся очаг разрушения может быть выявлен, что позволит принять своевременные меры для ремонта дефектного участка.

#### Выводы

1. Оценено влияние сварного шва на длительность сопротивления стали 09Г2С переменным растягивающим нагрузкам. Количество циклов до разрушения образцов с качественным сварным соединением уменьшается более чем на 40% по сравнению с цельными образцами, а при наличии допустимых дефектов до 0,4 мм – в 5 – 12 раз.
2. Получено уравнение регрессии второго порядка, свидетельствующее о корреляции количества

циклов до разрушения образца от максимального напряжения растяжения и амплитуды изменения напряжения усталостных испытаний.

3. Установлено существенное влияние амплитуд изменения напряжения при растяжении в диапазоне от 18 до 36 МПа на количество циклов до разрушения образца. Уменьшение  $A_{\sigma}$  до 6–8% от  $\sigma_{max}$  перестает влиять на количество циклов до разрушения образца, которое может составлять более  $10^5$  при испытаниях образцов с визуально различимыми допустимыми дефектами сварного шва.

**Список литературы**

1. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. ; под общ. ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
2. Гумеров А.Г., Зайнуллин Р.С., Ямалеев К.М. Старение труб нефтепроводов. М.: Недра, 1995. 222 с.
3. Трещиностойкость металла труб нефтепроводов / А.Г. Гумеров, К.М. Ямалеев, Г.В. Журавлев, Ф.И. Бадиков. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. 231 с.
4. Ямалеев К.М. Старение металла труб в процессе эксплуатации нефтепроводов. М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1990. 64 с.
5. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е. Усталость сварных конструкций. М.: Машиностроение, 1976. 270 с.

6. Худяков М.А., Рафикова Г.С. Исследование механических свойств основного металла и сварных соединений длительно эксплуатируемых нефтепроводов // Транспорт и подземное хранение газа. 2000. №6. С. 20-33.
7. ВСН 012-88\* (Миннефтегазстрой). Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемка работ. Ч.1. М., 1998. 60 с.
8. СНиП III-42-80\*. Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ. М., 2001. 33 с.

**Bibliography**

1. Database of steels and alloys / V.G. Sorokin, A.V. Volosnikova, S.A. Vyatkin etc.; edited by V.G. Sorokin. M.: Mechanical Engineering, 1989. 640 p.
2. Gumerov A.G. Zainullin R.S., K.M. Yamaleev. Aging oil pipes wires. M. Nedra, 1995. 222 p.
3. Fracture toughness of the metal pipe oil / A.G. Gumerov, K.M. Yamaleev, G.V. Zhuravlev, F.I. Badikov. M.: LLC «Nedra-business centers», 2001. 231 p.
4. Yamaleev K.M. Aging of the metal pipes in the operation of pipelines. M. Publishing House of the VNIIOENG, 1990. 64 p.
5. Kudryavtsev I.V., Naumchenko N.E. Fatigue of welded structures. M. Mechanical engineering, 1976. 270 p.
6. Khudyakov M.A., Rafikov G.S. The study of the mechanical properties of the base metal and welded joints of long exploited pipelines // Transport and underground storage. 2000. № 6. Pp. 20-33.
7. VSN 012-88\* (Minneftegazstroj). Construction of main and field pipelines. Quality control and acceptance. Part 1. M., 1998. 60 p.
8. SNIP III-42-80\*. Pipelines. Rules of production and acceptance. M., 2001. 33 p.



# СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 621.778: 658.652

Корчунов А.Г., Лысенин А.В.

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Предложена схема управления показателями качества металлических изделий в условиях неопределенности. В качестве меры оценки неопределенности технологической информации приведен критерий энтропии. Показано использование энтропии в многооперационных процессах производства метизной продукции.

**Ключевые слова:** металлические изделия, неопределенность, энтропия, показатели качества, параметры управления, технологические операции, математические модели, многооперационное производство.

The scheme of control quality metrics metal products under of indetermination. As a measure to assess indetermination of technological information is an entropy criterion. The use of entropy in the processes of production multioperational hardware products is shown.

**Keywords:** hardware, indetermination, entropy, quality metrics, control parameter, production operation, mathematical model, multioperation production.

Металлические изделия промышленного назначения являются традиционным и пользующимся постоянным спросом на рынке видом продукции метизного производства. Создание все более сложных узлов, агрегатов и механизмов с новым уровнем потребительских свойств, стремление к минимизации затрат на переработку и максимальной продолжительности эксплуатационного срока продукции определяют тенденцию постоянного ужесточения требований потребителей к показателям качества металлических изделий.

Для эффективного решения задач по управлению показателями качества необходимо иметь математические модели, формально описывающие взаимосвязи между параметрами управления процессом обработки и показателями качества изделий, на основе которых возможно определять результативные режимы производства. На рис. 1 представлена классификация математических моделей для управления показателями качества металлических изделий.

Математические модели, описывающие процессы формирования показателей качества изделий в технологиях метизного производства можно разделить на однозначно определенные (детерминированные) и находящиеся в условиях неопределенности. Метизная продукция характеризуется большим количеством показателей качества. Процессы формирования

качества металлических изделий включают множество технологических операций, которые базируются на взаимодействии методов обработки различной физической природы: холодная пластическая деформация, горячая пластическая деформация, термическая обработка, химические методы и др. Это обуславливает значительную немонотонность и разнонаправленность пооперационного изменения показателей качества продукции в ходе технологической обработки [1,2].

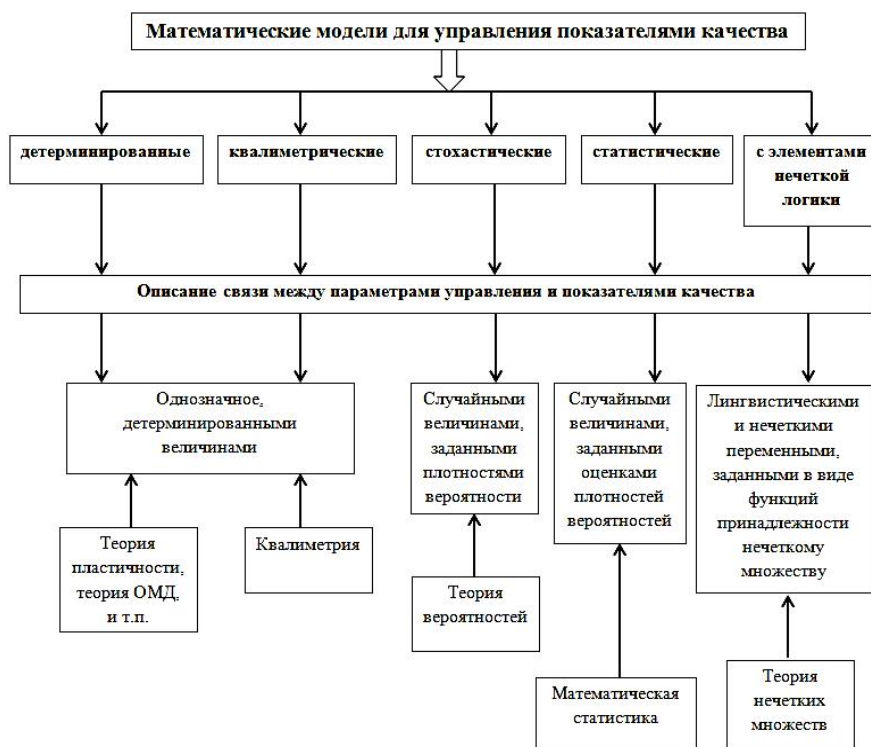


Рис. 1. Математические модели управления показателями качества металлических изделий

При исследовании многооперационных процессов всегда присутствует неопределенность технологической информации, которую необходимо учитывать. При построении модели управления показателями качества метизной продукции описание неопределённости может быть осуществлено следующими способами: стохастическое, статистическое, интервальное и нечеткое и др. Выбор методов формализации технологической информации зависит главным образом от типа неопределенности, к которому относится решаемая задача.

На рис.2 представлена формализация процесса управления показателями качества метизной продукции.

В формализованной схеме управления показателями качества металлических изделий входные и выходные показатели качества, а также показатели качества металла и параметры управления после j-й технологической операции представлены в виде универсальных множеств:

- Показатели качества исходной заготовки:

$$Y^0 = (Y_1^0, Y_2^0, \dots, Y_n^0), \quad (1)$$

где  $n$  – общее количество показателей качества металлического изделия.

- Фактические показатели качества продукции, полученные в результате реализации технологической обработки:

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n). \quad (2)$$

- Требуемые показатели качества готовой продукции согласно нормативно-технической документации:

$$Y^H = (Y_1^H, Y_2^H, \dots, Y_n^H). \quad (3)$$

- Показатели качества полупродукта после j-й технологической операции:

$$Y^j = (Y_1^j, Y_2^j, \dots, Y_n^j), \quad (4)$$

где  $j=1 \dots k$ ,  $k$  – общее число технологических операций.

- Параметры управления на j-й технологической операции:

$$ПУ_j = (ПУ_{j1}, ПУ_{j2}, \dots, ПУ_{jl}), \quad (5)$$

где  $l$  – общее количество параметров управления.

С учетом неопределённости в математических моделях множества (1)–(5) могут задаваться различным образом. С позиции стохастической модели – величинами, заданными плотностями вероятностей. При использовании статистических моделей – величинами, заданными оценками плотностей вероятностей. В моделях с элементами нечеткой логики – лингвистическими и нечеткими переменными, заданными в виде функций принадлежности нечеткому множеству. В таких моделях очень сложно оценивать неопределенность технологической информации, возникающей в процессе производства металлических изделий, поэтому необходимым становится разработка критериев, учитывающих данную неопределённость.

Для оценки неопределенности технологической информации в формализованной схеме управления показателями качества металлических изделий (см. рис. 2) введем ряд критериев, отражающих конечные результаты процессов формирования качества продукции. Данные критерии, по аналогии со множествами (1)–(5), объединим в единое универсальное множество и назовем целевыми функциями объекта исследования:

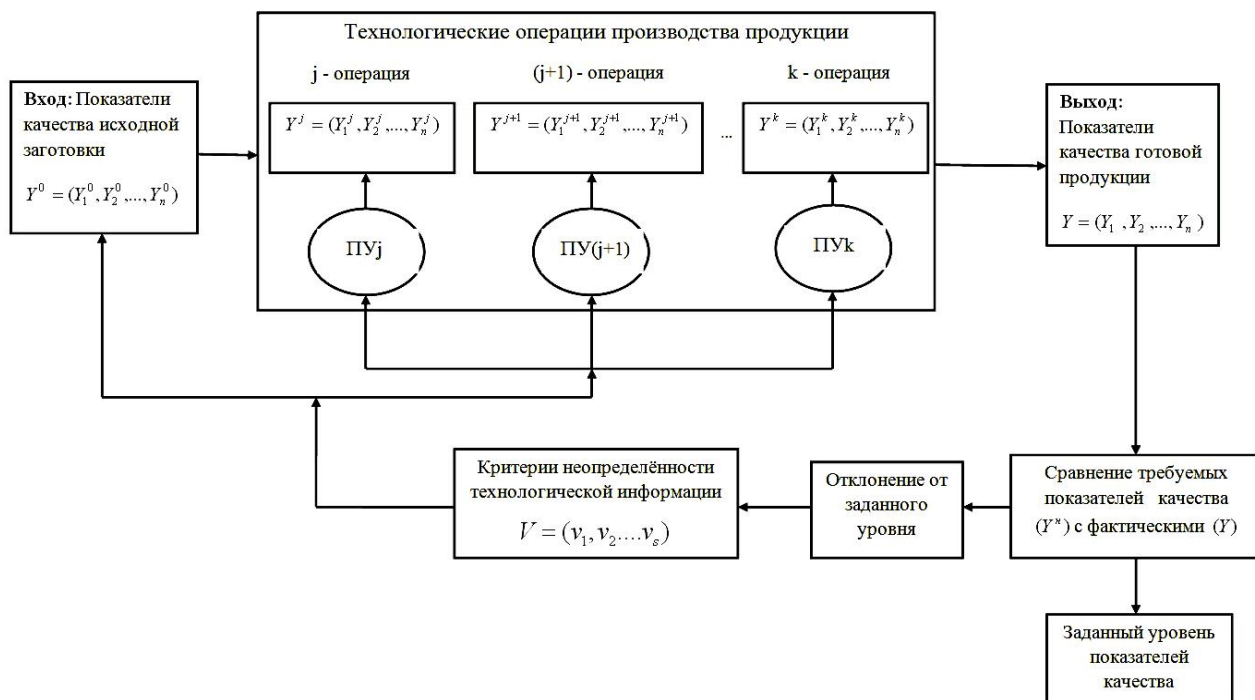


Рис. 2. Схема управления показателями качества металлических изделий

Множество целевых функций, характеризующих неопределенность технологической информации в управлении показателями качества:

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_s), \tag{6}$$

где  $s$  – общее количество критериев оценки неопределенности технологической информации.

В качестве примера целевой функции неопределенности технологической информации в управлении показателями качества метизной продукции приведем критерий энтропии. В теории информации К. Шеннон ввел понятие энтропии в качестве меры количества информации, которое выражается через распределение вероятностей. Энтропия случайной величины является мерой ее неопределенности, т.е. количество информации, которое приобретается при устранении этой неопределенности (при выяснении случайной величины) [3]. Энтропия конкретно для производства металлических изделий характеризует неопределенность параметров управления технологии и показателей качества продукции. Чем меньше неопределенность технологического процесса, тем он результативнее в плане получения готовой продукции с заданным набором потребительских свойств. Энтропия – это просто число, благодаря чему возможны измерения и сравнения неопределенностей множества показателей качества металлических изделий. Энтропию можно представить как преобразователь, то есть на входе задается множество показателей качества, а на выходе формируется скалярная оценка неопределенности, связанной со всеми значениями этих показателей [4].

Энтропия случайной величины может быть оценена величиной:

$$H_\xi = -\sum_{\xi} p(\xi) \ln p(\xi), \tag{7}$$

где  $\xi$  – случайная величина;  $p(\xi)$  – распределение ее вероятностей.

В зависимости от математической модели, используемой для управления показателями качества, формула энтропии может видоизменяться. С использованием нечетких множеств формула энтропии имеет вид:

$$H(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_R) = -\frac{1}{\ln R} \sum_{i=1}^R \mu_i \ln \mu_i, \tag{8}$$

где  $\mu_r$  – функция принадлежности показателя качества на интервале его значений;  $R$  – количество интервалов значений показателя качества.

Энтропия принимает значения в интервале от 0 и 1.

Так как производство металлических изделий является многооперационным процессом и формирование качества идет на каждой технологической стадии, то энтропия показателей качества после  $j$ -й

технологической операции может быть записана, следуя А.Н. Колмогорову [5], в виде:

$$H_j = \ln \sqrt{\det R_Y^j}, \tag{9}$$

где  $\det R_Y^j$  – определитель ковариационной матрицы.

Разброс значений показателей качества, отклонение фактических значений показателей относительно их средних значений после  $j$ -й технологической операции характеризуется ковариационной матрицей  $R_Y^j$ :

$$R_Y^j = \begin{bmatrix} \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_{11}^j)] [Y_{q1}^j - \mu(Y_{11}^j)] \} & : & \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_{11}^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_{n1}^j)] \} \\ \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_{11}^j)] [Y_{q2}^j - \mu(Y_{21}^j)] \} & : & \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q2}^j - \mu(Y_{21}^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_{n1}^j)] \} \\ \dots & & \dots \\ \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_{11}^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_{n1}^j)] \} & : & \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{qn}^j - \mu(Y_{n1}^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_{n1}^j)] \} \end{bmatrix}, \tag{10}$$

где  $\mu(Y_n^j)$  – средние значения показателей качества после  $j$ -й технологической операции;

$Q^j$  – множество измеренных значений показателей качества после  $j$ -й технологической операции.

$$\mu(Y_n^j) = \frac{1}{Q^j} \sum_{q=1}^{Q^j} Y_{qn}^j. \tag{11}$$

С помощью соотношения (9) каждой ковариационной матрице, характеризующей разброс множества показателей качества после  $j$ -й технологической операции, ставится в соответствие скалярная величина – энтропия, которая служит мерой разброса или неопределенности всех величин показателей качества в целом.

Изменение энтропии показателей качества на  $j$ -й технологической операции производства определяется в виде:

$$\Delta H = \frac{H_{j+1} - H_j}{H_j} \cdot 100\%, \tag{12}$$

где  $H_{j+1}$  – энтропия показателей качества на  $j+1$  технологической операции;  $H_j$  – энтропия показателей на  $j$ -й технологической операции.

Уменьшение разброса значений показателей качества металлических изделий от каждой предыдущей технологической операции к последующей говорит об уменьшении неопределенности, поэтому накладывается требование минимизации энтропии, а именно:  $\Delta H \rightarrow \min$ .

Уменьшение энтропии показателей качества от операции к операции свидетельствует о снижении отклонения значений показателей качества относительно их средних значений. Это благоприятно вли-

яет на конечные свойства готовой продукции. Рост энтропии, наоборот, свидетельствует об увеличении отклонений значений показателей качества. На тех технологических операциях, где энтропия возрастает, должны корректироваться параметры управления с целью уменьшения неопределенности показателей качества. Если увеличение энтропии наблюдалось на всех технологических операциях, то необходимо изменять технологические режимы обработки или требования к показателям качества исходной заготовки.

При исследовании всего многооперационного процесса производства метизной продукции энтропия позволяет сравнивать качество партий продукции, реализации различных режимов технологической обработки при производстве того или иного вида металлических изделий.

*Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 13G25.31.0061).*

*Работа выполнена по гранту в форме субсидии на поддержку научных исследований (соглашение №14.В37.21.0068).*

Список литературы

1. Корчунов А.Г. Моделирование трансформации показателей качества металлических изделий в процессах обработки // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. №1. С. 76-78.
2. Применение адапционных механизмов для повышения качества продукции с глубокой степенью переработки / Голубчик Э.М., Корчунов А.Г., Лысенин А.В., Пивоварова К.Г. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. №5. Т.7. С. 131-134.
3. Шеннон К.Э. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике: пер. с англ. / под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. М. : ИЛ, 1963. 653 с.
4. Кузнецов Л.А. Обобщенная мера оценки качества // Методы менеджмента качества. 2007. №4. С. 42-47.
5. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М. : Наука, 1987. 304 с.

Bibliography

1. Korchunov A.G. Modeling the transformation of quality metal products in the processing // Vestnik MSTU named after G. I. Nosov. 2009. № 1. P. 76-78.
2. The use of adaptive mechanisms to improve the quality of products with a deep level of processing / Golubchik E.M., Korchunov A.G., Lysenin A.V., Pivovarova K.G. // Vestnik of Voronezh State Technical University. 2011. № 5. Volume 7. P. 131-134.
3. Shannon K.E. Mathematical Theory of Communication // Works on the theory of information and cybernetics, trans. from English. / Ed. R.L. Dobrushin and O.B. Lupanov. M. : 1963. 653 p.
4. Kuznetsov L.A. A generalized measure of quality assessment // Methods for quality management. 2007. № 4. P. 42-47.
5. Kolmogorov A.N. Information theory and the theory of algorithms. M.: Science, 1987. 304 p.



# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 536.24

Видин Ю.В., Иванов Д.И., Федоров Г.В., Федюкович А.К.

## ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ СТЕНКИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ

С использованием широкоизвестных аналитических зависимостей для прямолинейных цилиндрических систем получены соотношения к расчету теплопередачи криволинейных (тороидальных) участков, позволяющие с высокой степенью точности оценить тепловые потери с учетом геометрических особенностей рассматриваемых участков трубопроводов.

**Ключевые слова:** тепловая изоляция, энергосбережение, стационарный теплообмен, криволинейные поверхности.

Relationships for calculation of heat transfer for the curvilinear (toroidal) sites are obtained using the well-known analytical dependences for straight cylindrical systems, allowing to estimate with high accuracy the thermal losses taking into account geometric features considered pipeline sections.

**Keywords:** thermal insulation, energy efficient, stationary heat transfer, curved surfaces.

Криволинейные участки являются неотъемлемыми элементами современных трубопроводов тепловых сетей. В общей протяженности тепловых сетей суммарная доля непрямолинейных участков может составлять значительную величину. Наиболее распространенным из таких элементов выступают повороты, в частности П-образные компенсаторы. С геометрической точки зрения их можно рассматривать как некоторые части тора.

На рис. 1 изображена поверхность тороидального трубопровода с нанесенной на неё тепловой изоляцией, причем она является коаксиальной. Изоляция в общем случае может быть неоднородной.

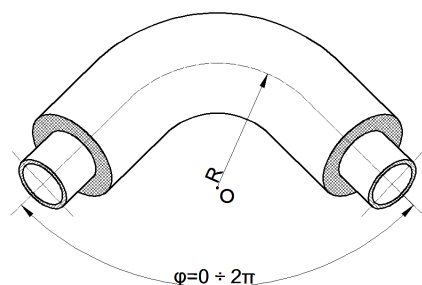


Рис. 1. Поверхность тороидального трубопровода с нанесенной на неё тепловой изоляцией

При аналитическом исследовании процессов теплопередачи через многослойные стенки прямолинейных трубопроводов используется математическая модель, записанная в цилиндрической системе координат [1, 2]. Если же рассматривать фасонный участок трубопровода, изображенный на рис. 1, то необходимо применить тороидальные координаты [3, 4], которые в частном случае вырождаются в цилиндрические, когда  $R \rightarrow \infty$  (рис. 2).

В математическом отношении тороидальные координаты существенно сложнее прямоугольных и цилиндрических.

Оператор Лапласа в тороидальной системе координат может быть записан в виде [5-7]

$$\Delta u = \frac{\partial}{\partial \alpha} \left( \frac{\text{sh} \alpha}{\text{ch} \alpha - \cos \beta} \frac{\partial u}{\partial \alpha} \right) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{\text{sh} \alpha}{\text{ch} \alpha - \cos \beta} \frac{\partial u}{\partial \beta} \right) + \frac{1}{(\text{ch} \alpha - \cos \beta) \text{sh} \alpha} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2}.$$

Следовательно, строгое решение представленной задачи оказывается громоздким и его будет затруднительно использовать в технических расчетах.

В этой связи для получения инженерного решения сформулированной задачи был предложен приближенный метод. Согласно ему расчет теплового потока через стенку фасонной части трубопровода осуществляется по зависимостям, справедливым для цилиндрической многослойной стенки [2], т.е. фасонный участок условно заменяется эквивалентным отрезком прямого трубопровода.

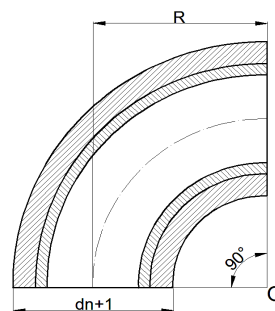


Рис. 2. Схематичное изображение теплоизолированного участка  $\phi = \pi/2$  с внешним диаметром  $d_{n+1}$

Тогда искомый тепловой поток  $Q$  (Вт) можно приближенно определить по выражению

$$Q = \pi k_l (t_{ж1} - t_{ж2}) L, \quad (1)$$

где  $t_{ж1}, t_{ж2}$  – температуры теплоносителя внутри и снаружи криволинейного трубопровода, °С;  $k_l$  – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/м·К;  $L$  – условная длина эквивалентного участка, м.

Коэффициент  $k_l$  находится по широко известному соотношению

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{n+1}}}, \quad (2)$$

где  $n$  – число слоев;  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи на внутренней и внешней поверхностях системы, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала  $i$ -го слоя, Вт/м·К;  $d_{n+1}$  – наружный диаметр многослойного тороидального участка, м.

Условную длину  $L$  находим из равенства объемов фасонного и замещающего его отрезка цилиндрического участка, т.е.

$$L = \frac{4V}{\pi d_{n+1}^2}, \quad (3)$$

$$V = \frac{\pi d_{n+1}^2}{4} \varphi R. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим

$$L = \varphi R, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – угол раскрытия поворота трубы в радианах.

Чаще всего в реальных тепловых сетях  $\varphi = \pi/2$ .

При соблюдении требования (3) одновременно выполняется условие равенства боковой поверхности теплообмена реального поворотного участка и замещающей его цилиндрической части.

Общий тепловой поток  $Q$  распределяется на две неравные части  $Q_1$  и  $Q_2$ , где  $Q_1$  – тепло, отдаваемое с внешней (выпуклой) стороны участка, а  $Q_2$  – тепло, отдаваемое с внутренней (вогнутой) поверхности. Таким образом, можно записать

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (6)$$

Соотношение между этими составляющими будет равно

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{S_2}{S_1}, \quad (7)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – площади наружных теплоотдающих тороидальных поверхностей с внешней и внутренней сторон криволинейного участка соответственно, м<sup>2</sup>.

Для тороидального тела эти площади приблизительно равны [3]

$$S_1 = \varphi(R + 0,2d_{n+1}) \frac{\pi d_{n+1}}{2}; \quad S_2 = \varphi(R - 0,2d_{n+1}) \frac{\pi d_{n+1}}{2}. \quad (8)$$

Очевидно, суммарная площадь составит

$$S = S_1 + S_2 = \varphi \pi R d_{n+1}. \quad (9)$$

Из (6), (7) и (9) следует, что

$$\frac{Q_1}{Q} = 0,5 \left( 1 + 0,2 \frac{d_{n+1}}{R} \right), \quad (10)$$

$$\frac{Q_2}{Q} = 0,5 \left( 1 - 0,2 \frac{d_{n+1}}{R} \right). \quad (11)$$

Тогда отношение составляющих суммарного теплового потока будет равно

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1 - 0,2 \frac{d_{n+1}}{R}}{1 + 0,2 \frac{d_{n+1}}{R}}. \quad (12)$$

Очевидно, что для прямолинейного трубопровода это отношение равно единице.

Таким образом, наибольшая часть тепловых потерь имеет место с выпуклой стороны тороидального участка трубопровода. Согласно формуле (12) при некоторых соотношениях между  $d_{n+1}$  и  $R$  значение  $Q_2/Q_1$  может оказаться существенно меньше единицы. В этом случае основное внимание должно быть уделено повышению эффективности тепловой изоляции со стороны выпуклой тороидальной части трубопровода. С этой целью целесообразно произвести перераспределение изоляционного материала в эту сторону, т.е. увеличить толщину изоляционного слоя с внешней стороны за счет её уменьшения на внутренней. Такое техническое решение было предложено в изобретении [4]. Очевидно, что в таком случае система будет представлять собой дезаксиальный тороидальный элемент [8].

Нетрудно показать, что при увеличении радиуса кривизны  $R$  рекомендуемые зависимости преобразуются в выражения, справедливые для прямолинейной многослойной цилиндрической конструкции трубопровода.

### Выводы

Предложен приближенный аналитический метод расчета процессов теплопередачи через многослойные стенки криволинейных участков трубопроводов. Изложенный способ является весьма простым в математическом отношении и обладает приемлемой точностью.

### Список литературы

- Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1975. 486 с.
- Видин Ю.В., Журавлев В.М., Колосов В.В. Теоретические основы теплотехники. Теплообмен. Красноярск: КГТУ, 2005. 344 с.
- Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1965. 608 с.
- Пат. 111243 Российская Федерация, МПК F16L59/16. Теплоизолирующее фасонное изделие / Д.И. Иванов, Ю.В. Видин, Ж.Л. Евтихов, А.К. Федюкович; заявитель и патентообладатель Д.И. Иванов. 2011127734/06; заявл. 06.07.2011; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. 2 с.
- Корн Г., Корн Н. Справочник по математике. М.: Наука, 1974. 532 с.
- Лебедев Н.Н., Скальская И.П., Уфлянд Я.С. Сборник задач по математической физике. М.: Гостехтеориздат, 1955. 420 с.
- Хэппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М.: Мир, 1976. 630 с.
- Иванов Д.И., Видин Ю.В. Оптимизация тепловой изоляции фасонного изделия // Сб. трудов Всерос. науч.-практ. конференции «Теплофизические основы энергетических технологий». Томск, 2011.

### Bibliography

- Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. The heat transfer. M.: Energy, 1975. 486 p.
- Vidin Y.V., Juravlev V.M., Kolosov V.V. Theoretical fundamentals of heat engineering. Heat-mass-exchange. Krasnoyarsk: KSTU, 2005. 344 p.
- Bronstein I.N., Semendyaev K.A. Handbook of mathematics for engineers and students of technical universities. M.: Science, 1965. 608 p.
- Pat. 111243 Российская Федерация, МПК F16L59/16. Thermal insulating fitting / D.I. Ivanov, Y.V. Vidin, G.L. Evtihov, A.K. Fedukovich; the applicant and the patentee D.I. Ivanov. 2011127734/06; sub. 06.07.2011; publ. 10.12.2011, Bul. № 34. 2 p.
- Korn G., Korn N. Handbook on mathematics. M.: Science, 1974. 532 p.
- Lebedev N.N., Skalskaya I.P., Uflyand Y.S. Collection of tasks on mathematical physics. M.: State publishing house of technical and theoretical literature, 1955. 420 p.
- Happel G., Brenner G. Hydrodynamics at low Reynolds numbers. M: World, 1976. 630 p.
- Ivanov D.I., Vidin Y.V. Optimization of thermal insulation of the fitting // Collection of papers of the all-Russian scientific-practical conference «Thermophysical fundamentals of energy technologies». Tomsk, 2011.

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 629.079.23

Кришан А.Л., Мельничук А.С.

## ПРОЧНОСТЬ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ

Статья содержит результаты анализа конечноэлементных моделей трубобетонных образцов квадратного поперечного сечения с различной толщиной оболочки. Расчет выполнен на ЭВМ в расчетном комплексе «Лира 9.6».

**Ключевые слова:** трубобетон, квадратное поперечное сечение, центральное сжатие, прочность, Лира 9.6.

Article contains results of the analysis of concrete filled steel tube columns with square cross-section with various thickness of a cover. The calculation was per-formed on a PC with «Lira 9.6» software.

**Keywords:** concrete filled steel tubes, square cross section, axial compression, durability, Lira 9.6.

Современное строительство все больше нуждается в прочных, надежных, экономичных строительных конструкциях. Для возведения протяженных мостов, большепролетных цехов, высотных зданий требуются вертикальные несущие конструкции, которые бы обладали всеми вышеперечисленными качествами. Примером таких несущих элементов служат трубобетонные колонны (ТБК), широко внедряемые на стройплощадках в экономически развитых странах мира.

ТБК представляют собой композитную конструкцию из стальной трубы, заполненной бетоном. Их достоинства и недостатки достаточно хорошо описаны в литературе [1].

В настоящее время наиболее изучены трубобетонные конструкции круглого поперечного сечения. В них особенно заметно проявляется эффект обоймы. Кроме того, стальные трубы круглого сечения в нашей стране наиболее доступны.

Однако область практического применения ТБК круглого сечения имеет свои ограничения. Так, с увеличением эксцентриситета приложения сжимающей нагрузки их несущая способность резко падает, что связано с геометрическими особенностями формы поперечного сечения. Кроме того, круглая поверхность колонны усложняет их применение с конструктивной точки зрения. Возникают дополнительные сложности при устройстве стыков колонн с несущими элементами перекрытий.

Применение ТБК квадратного сечения сдерживается отсутствием методики расчета таких конструкций, позволяющей учесть основные особенности их работы под нагрузкой. В Еврокоде и нормативных документах Китая, США, Японии для ТБК квадратного поперечного сечения работа бетона в условиях объемного сжатия не учитывается. Это приводит к недоиспользованию ресурса их несущей способности. В актуализированных строительных нормах России подобной методики вообще нет.

В связи с этим, основной целью данных исследований является разработка методики расчета прочности ТБК квадратного сечения, адекватно учитывающая основные особенности их напряженно-деформиро-

ванного состояния.

На первом этапе работы было выполнено экспериментально-теоретическое исследование прочности центрально сжатых ТБК квадратного поперечного сечения. Для численной оценки эффекта обоймы были испытаны шесть серий коротких ( $h/b = 4$ ) образцов таких конструкций при кратковременном сжатии.

Каждая серия включала в себя по 3 образца-близнеца. Размеры поперечного сечения образцов составляли 100×100, 160×160, 180×180 мм, толщины стенок оболочки – 4, 6, 8 мм соответственно. В качестве оболочки использовались трубы из стали 09Г2С с пределом текучести 360 МПа и стали Ст4сп с пределом текучести 305 МПа (для профиля сечением 180×180). В качестве ядра применялся тяжелый бетон на шлакопортландцементе М400.

Кроме того, были изготовлены две серии образцов с ядром из бетона на расширяющемся цементе «MACFLOW», а также серия с применением бетона, твердеющего под давлением. При изготовлении образцов последней серии использовалось длительное пресование бетонной смеси путем последовательного вдавливания в нее вдоль направляющего стержня, расположенного коаксиально внешней обойме, трех стальных трубок, имеющих увеличивающиеся диаметры. Более подробное описание такого способа изготовления приведено в монографии [1].

Образцы испытывались по стандартной методике и доводились до разрушения. В процессе испытания замерялись деформации стальной оболочки и бетонного ядра.

Основные результаты испытаний представлены в таблице, где обозначены:

$P$  – длительное прессующее давление;

$N_u^{exp}$  – максимальная величина нагрузки, полученная в ходе эксперимента;

$N_u^{th}$  – максимальная величина нагрузки, рассчитанная по предложенной ниже методике;

$N_{bs}$  – суммарное усилие несущих способностей бетонного ядра и трубы, испытанных отдельно ( $N_{bs} = R_b A + R_s A_s$ );

$R_b$  и  $A$  – призменная прочность исходного бетона и площадь сечения ядра;

$R_s$  и  $A_s$  – предел текучести и площадь сечения стальной оболочки.

Эффективность работы трубобетонных элементов оценивалось по отношению максимальной нагрузки и суммарной несущей способности бетонного ядра и трубы, испытанных отдельно ( $N_u/N_{bs}$ ).

Наибольшую эффективность показали образцы сечением 160×160 мм с ядром из бетона, твердеющего под давлением величиной 2,1 МПа. Прочность исследуемых элементов увеличилась в среднем на 51% в сравнении с несущей способностью бетонного ядра и оболочки, испытанных по отдельности.

| Серия | P, МПа | R <sub>b</sub> , МПа | N <sub>u</sub> <sup>exp</sup> , кН | N <sub>bs</sub> , кН | N <sub>u</sub> /N <sub>bs</sub> | N <sub>u</sub> <sup>th</sup> , кН | N <sub>u</sub> <sup>exp</sup> /N <sub>u</sub> <sup>th</sup> |
|-------|--------|----------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| ЦН100 | 0      | 44,3                 | 1070                               | 899                  | 1,19                            | 1074                              | 1,00  |
| ЦН160 | 0      | 24,3                 | 2466                               | 1843                 | 1,34                            | 2218                              | 1,11  |
| ЦН180 | 0      | 25,1                 | 3272                               | 2572                 | 1,27                            | 3145                              | 1,04  |
| ЦР100 | 1,6    | 48,2                 | 1190                               | 994                  | 1,20                            | 1136                              | 1,05  |
| ЦО160 | 2,1    | 24,3                 | 2796                               | 1843                 | 1,51                            | 2313                              | 1,20  |
| ЦР180 | 1,4    | 49,3                 | 3966                               | 3420                 | 1,16                            | 3872                              | 1,02  |

Несколько меньший (порядка 34%), но также весьма существенный рост прочности наблюдался и у образцов-аналогов из обычного бетона. Значительный эффект обоймы в образцах этих серий связан прежде всего с относительно высоким пределом текучести стали их оболочки.

В образцах с оболочкой из профиля 180×180 мм эффект обоймы оказался заметно меньшим по причине менее прочной оболочки.

В образцах сечением 100×100 мм, как отпрессованных, так и без прессования, прирост прочности за счет эффекта обоймы оказался наименее заметным (порядка 19–20%), что обусловлено относительно высокой прочностью исходного бетона. Примерно такие же данные были получены другими исследователями [2].

Полученные в ходе эксперимента данные по несущей способности были сопоставлены с несущей способностью круглых образцов, исследованных ранее [1]. Сравнение показало, что прочность образцов ТБК квадратного поперечного сечения примерно на 15–20% ниже прочности образцов круглого сечения с аналогичными параметрами, однако все еще остается достаточно высокой.

На втором этапе для качественной оценки распределения напряжений по сечению трубобетонной стойки квадратного сечения был выполнен анализ трех конечно-элементных моделей таких конструкций. Анализ выполнялся в компьютерном расчетном комплексе ЛИРА 9.6. Размеры смоделированных трубобетонных элементов рассматриваемой конструкции составляли 160×160×640 мм, толщины стенок оболочки 1, 6 и 10 мм. Расчетные модели были скомпонованы из изопараметрических физически нелинейных объемных

восьмиузловых конечных элементов 236 типа. В соответствии со схемами армирования и разбиения образца трубобетонного элемента на конечные элементы, последние имели два типа жесткости: 1 – КЭ с параметрами стальной оболочки; 2 – КЭ с параметрами бетонного ядра. Их жесткостные характеристики были аналогичны физико-механическим параметрам материалов лабораторных образцов, испытанных на первом этапе работы.

На узлы нижнего торца исследуемого элемента были наложены связи, запрещающие перемещения по всем координатным осям, а также вращение вокруг них. На узлы верхнего торца накладывались только связи, не допускающие перемещения в направлениях, перпендикулярных продольной оси образца. Перемещения узлов верхнего торца объединялись. В процессе загрузки на верхний торец была приложена равномерно распределенная по площади нагрузка. Загрузка образца осуществлялась ступенчатой нагрузкой равномерного шага по 5% от номинальной величины. Расчет выполнялся пошагово-итерационным методом с учетом физической нелинейности материалов.

В качестве критерия разрушения было выбрано достижение интенсивности напряжений в стальной оболочке величины предела текучести стали.

По результатам расчета были получены картины распределения напряжений по нормальному сечению смоделированных образцов. На рис. 1, 2 представлены мозаики главных напряжений N1 и N2 в бетонном ядре элемента с толщиной стенки 6 мм. Для двух других расчетных моделей главные напряжения распределялись аналогичным образом.

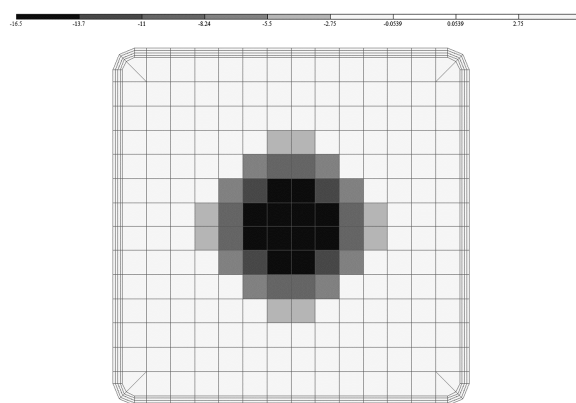


Рис. 1. Мозаика распределения главных напряжений N1 в бетонном ядре для образца с толщиной стенки 6 мм

Анализ полученных результатов показал, что главные сжимающие напряжения N1 сконцентрированы преимущественно в центре сечения образца. Аналогичные по знаку напряжения N2 образуют симметричную по всем направлениям крестообразную фигуру, «опирающуюся» на углы сечения (см. рис. 2).



Подобная картина распределения главных напряжений может свидетельствовать о том, что в процессе нагружения углы элемента выступают в качестве элементов с повышенной жесткостью по сравнению с элементами, располагающимися возле центральной части стенки. Аналогичная картина напряженного состояния в нормальном сечении ТБК получена другими авторами [3].

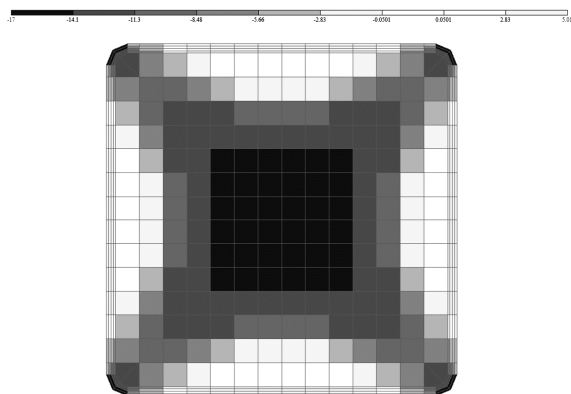


Рис. 2. Мозаика распределения главных напряжений N2 в бетонном ядре для образца с толщиной стенки 6 мм

В процессе последующего анализа было выполнено наложение мозаик напряжений N1 и N2 и определена зона поперечного сечения, где главные напряжения обоих направлений имели знак минус. С учетом главного сжимающего напряжения N3, для всех зон действующего по направлению, практически совпадающему с продольной осью рассматриваемого элемента, данная зона поперечного сечения соответствует области объемного сжатия бетонного ядра. Эта зона представляет собой квадрат с закругленными углами со стороной порядка  $(0,52 - 0,58)b_b$ , где  $b_b$  – ширина сечения бетонного ядра, и располагается в центральной части сечения образца (рис. 3). Причем в самом центре зоны объемного сжатия можно выделить участок с размерами, равными половине всей зоны, на котором главные сжимающие напряжения N1 и N2 равны между собой и соответствуют радиальным напряжениям трубобетонных колонн круглого поперечного сечения с аналогичными геометрическими и конструктивными параметрами. Эти напряжения предлагается вычислять по формуле

$$\sigma_{br} = \frac{\mu_p R_{s,p}}{k}, \quad (1)$$

в которой  $\mu_p$  – коэффициент армирования трубобетонной колонны;  $R_{s,p}$  – предел текучести стали оболочки;  $k$  – коэффициент бокового давления, определяемый по формуле

$$k = 7 - 1,2 \frac{\mu_p R_{s,p}}{R_b}, \quad (2)$$

где  $R_b$  – прочность бетона при одноосном сжатии.

Количественный и качественный анализ полученной картины распределения главных напряжений в бетонном ядре позволил предложить формулу для вычисления осредненной величины радиального напряжения по всему сечению в бетоне  $\sigma_{brm}$ , оказывающей определяющее влияние на его прочность при объемном сжатии  $R_{b3}$ . Эта прочность при известном наименьшем по величине боковом сжимающем напряжении с достаточной для практики точностью определяется простой зависимостью

$$R_{b3} = R_b + k\sigma_{brm}. \quad (3)$$

Учитывая, что часть поперечного сечения ТБК работает в условиях, близких к одноосному сжатию, примем для этой части предельное напряжение в бетоне равным  $R_b$ . На рис. 3, а это незаштрихованная часть сечения с площадью  $A_1 = b_b^2 - \xi^2 b_b^2$ , где  $\xi = 0,52 - 0,58$  – безразмерный параметр, определяющий размер стороны зоны объемного сжатия.

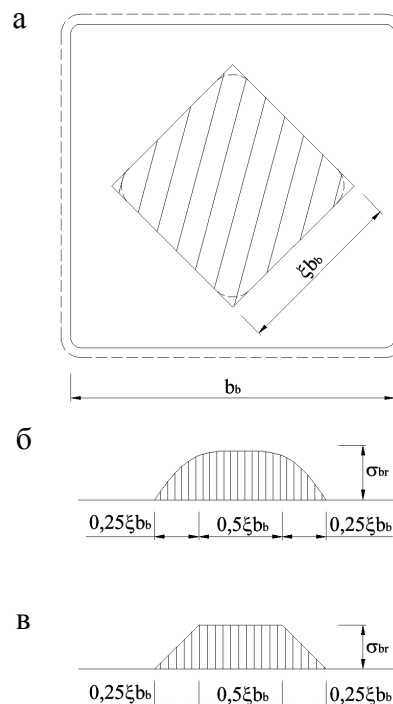


Рис. 3. Расчетная схема для определения осредненной величины бокового сжимающего напряжения (а – поперечное сечение с зоной объемного сжатия в центре; б – фактическая эпюра боковых сжимающих напряжений; в – принятая к расчету эпюра боковых сжимающих напряжений)

Как отмечалось выше, зона объемного сжатия состоит из двух равных по площади участков с различными закономерностями распределения главных сжимающих напряжений N1 (рис. 3, б). Суммарная площадь данных участков  $A_2 = \xi^2 b_b^2$ . Приняв рас-

пределение этих напряжений по рис. 3, в, получим следующее выражение для усилия, воспринимаемого бетоном:

$$N_b = R_b A_1 + R_b A_2 + 0,25k\sigma_{br}\xi b_b^2 + 0,5k\sigma_{br}\xi b_b^2, \quad (4)$$

которое после небольших преобразований может быть записано в виде

$$N_b = (R_b + 0,75\xi k\sigma_{br})A, \quad (5)$$

где  $A$  – площадь сечения всего бетона.

Если по результатам выполненного численного анализа принять наиболее осторожное значение  $\xi = 0,52$ , то с учетом (1) получаем следующую формулу для расчета прочности бетонного ядра:

$$R_{b3} = R_b + 0,4\mu_p R_{s,p}. \quad (6)$$

Тогда прочность короткого центрально сжатого трубобетонного элемента квадратного сечения может быть вычислена по формуле

$$N = R_{b3}A + 0,9R_{s,p}A_p. \quad (7)$$

где  $A_p$  – площадь сечения стальной оболочки.

Результаты сопоставления рассчитанных по фор-

муле (7) значений прочности исследованных образцов ТБК с полученными опытными данными свидетельствуют об их удовлетворительной сходимости. Немаловажно, что все полученные расхождения идут в запас прочности.

Таким образом, в результате выполненных экспериментально-теоретических исследований удалось предложить простую инженерную методику расчета прочности коротких центрально-сжатых трубобетонных колонн квадратного сечения, что должно позволить существенно увеличить масштабы их практического применения в строительстве.

#### Список литературы

1. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром: монография. Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. 372 с.
2. Сталебетонные фермы из гнутосваренных профилей / Людковский И.Г., Фонов В.М., Кузьменко С.М., Самарин С.И. // Бетон и железобетон. 1982. №7.
3. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 13–15.

#### Bibliography

1. Krishan A.L. 2011. Concrete filled tubes with pre-stressed concrete core. Rostov-on-Don: Rostov state building university. 372.
2. Lydkovskiy I.G., Fonov V.M., Kuzmenko S.M., Samarina C.I. Reinforced concrete truss with bent welded profiles. // Concrete and reinforced concrete. 1982. №7.
3. Chihladze E.D., Arslanov A.D. Calculation of steel-concrete elements of rectangular cross-section strength under axial compression // Concrete and reinforced concrete. 1993. № 1. P. 13–15.

# ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 622.7

Валеев В.Х., Сомова Ю.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКИ ЗАМАСЛЕННЫХ ШЛАМОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

Исследована возможность интенсификации процесса механической промывки замасленных шламов донных отложений в условиях гидродинамической кавитации. Полученные результаты будут использованы для разработки технологии переработки замасленных шламов металлургического производства.

**Ключевые слова:** замасленные шламы донных отложений, механическая промывка, гидродинамическая кавитация, число кавитации, мокрая магнитная сепарация.

The possibility of intensifying the process of mechanical washing Slime-coated bottom sediments in conditions of hydrodynamic cavitation. The results will be used for the development of oil-coated processing technology of steelmaking sludge.

**Keywords:** oiled mud bottom sediments, machining wash, hydrodynamic cavitation, number cavitation, magnetic separation.

Способы промывки минерального сырья являются способами мокрого механического обогащения, которыми можно воспользоваться как хорошо зарекомендовавшими себя при разработке различных технологий.

Одним из эффективных методов интенсификации химико-технологических процессов в жидкостях является кавитационное воздействие на обрабатываемую среду. Это легло в основу идеи использования гидродинамической кавитации на интенсификацию процесса промывки шламов донных отложений от нефтепродуктов.

Предполагалось, что интенсификация процесса механической промывки в условиях гидродинамической кавитации определяется следующими факторами:

- формой кавитации;
- изменением физико-химических свойств моющей среды;
- деструкцией углеводов;
- повышением температуры моющей среды.

Цель данной работы – исследование процесса механической промывки замасленных шламов донных отложений в условиях гидродинамической кавитации в лабораторных условиях.

Для реализации поставленной задачи была разработана и изготовлена лабораторная установка (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки

Лабораторная установка включала в себя: бак-мешалку, шламовый насос, два роторных импульсных аппарата (РПА), две флотомашины, трёхкомпонентный сепаратор и мокрый магнитный сепаратор. Наличие данных аппаратов позволяло создавать различные схемы при проведении исследований.

Основным аппаратом установки являлся двухступенчатый роторно-импульсный аппарат (РПА), который показан на рис. 2.

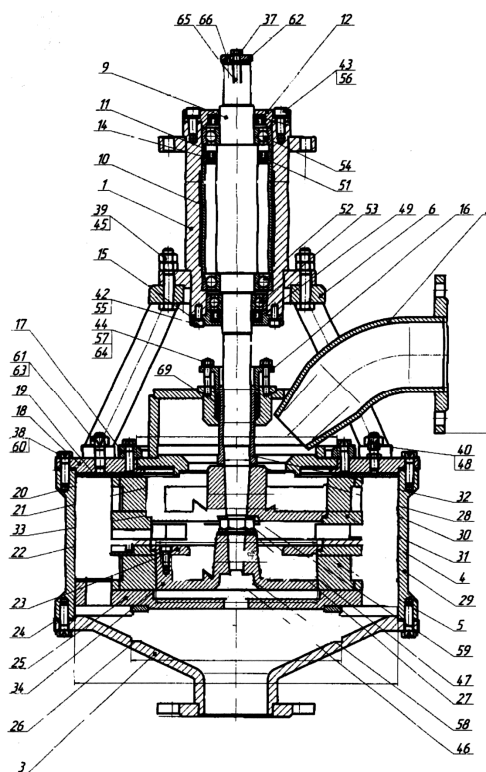


Рис. 2. Сборочный чертеж двухступенчатого РПА

Основными элементами РПА являются: 1 – стакан; 2 – входной патрубков; 3 – нижний конус корпуса; 4 – статор первой ступени; 5 – статор второй ступени; 21 – колесо рабочее первой ступени; 23 – колесо рабочее второй ступени; 29 – корпус; 33 – ротор первой ступени; 34 – ротор второй ступени; 65 – вал.

Исследования проводились в два этапа.

На первом этапе определялись оптимальные параметры работы РПА.

Для определения параметров начала и развитой кавитации в РПА были проведены исследования по активации водопроводной воды. Одним из показателей, характеризующих наличие гидродинамической кавитации, является изменение pH обрабатываемой среды.

В качестве рабочей среды использовались отстоянная водопроводная вода.

Исследовалось влияние числа оборотов ротора, расхода рабочей среды (скорость потока) и времени обработки на pH и температуру воды. Изменение числа оборотов ротора осуществлялось посредством сменных шкивов. Исследования проводились при оборотах 1500, 2000, 2500, 3000 и 3500 об./мин.

Расход рабочей среды варьировался в пределах

0,0037–0,0051 м<sup>3</sup>/с и соответственно скорости потока в пределах 0,921–1,250 м/с. Скорость (расход) потока измерялись при помощи переносного ультразвукового расходомера типа PORTAFLOW-PDFM-4. Для измерения pH рабочей среды осуществляли при помощи pH-метра типа pH-150M. Измерение температуры непосредственно в рабочей зоне РПА использовался тепловизор типа IRISYS серии 4000.

Результаты исследования по активации водопроводной воды (изменение pH) с использованием одного РПА представлены на графиках, изображенных на рис. 3 и 4.

Из анализа полученных данных следует, что началу гидродинамической кавитации в РПА соответствуют следующие параметры: обороты ротора – 2500 об./мин и скорость потока на входе в РПА – 1,044 м/с (что соответствует расходу воды 0,0043 м<sup>3</sup>/с). Развитая гидродинамическая кавитация имеет место соответственно при оборотах ротора 3000 – 3500 об./мин и скоростях потока на входе в РПА 1,127–1,250 м/с (что соответствует расходу воды 0,0046–0,0051 м<sup>3</sup>/с).

Изменение температуры обрабатываемой среды в условиях развитой кавитации представлены на рис. 5.

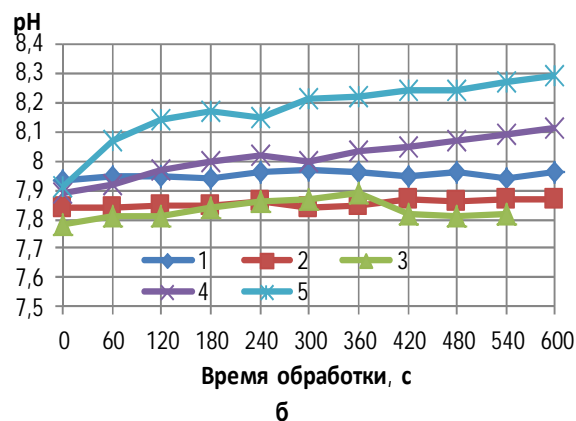
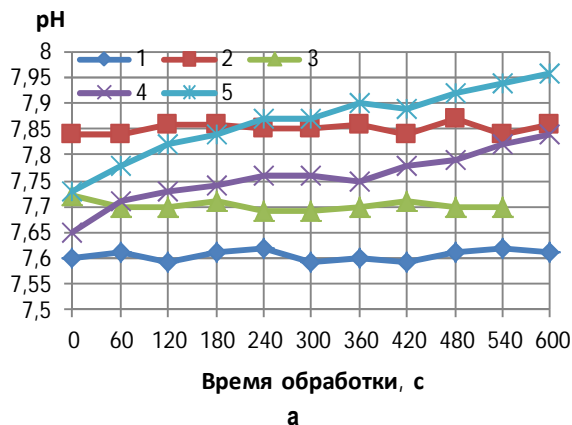


Рис. 3. Зависимость pH воды от времени обработки и числа оборотов ротора РПА при скорости потока на входе 0,921 м/с (а) и 1,044 м/с (б): 1 – 1500 об./мин; 2 – 2000 об./мин; 3 – 2500 об./мин; 4 – 3000 об./мин; 5 – 3500 об./мин

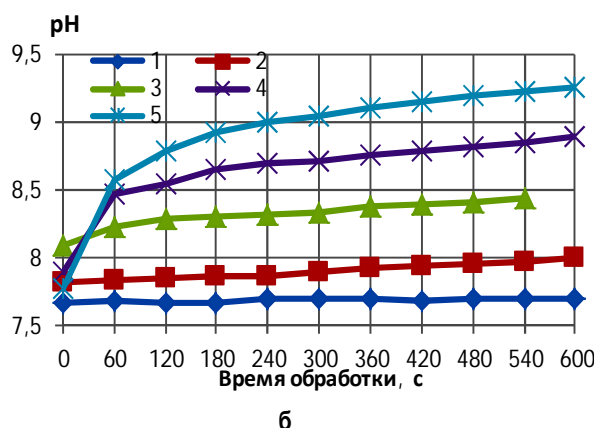
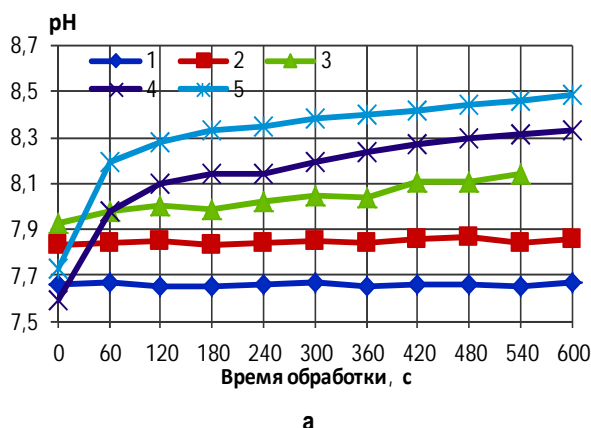


Рис. 4. Зависимость pH воды от времени обработки и числа оборотов ротора РПА при скорости потока на входе 1,127 м/с (а) и 1,250 м/с (б): 1 – 1500 об./мин; 2 – 2000 об./мин; 3 – 2500 об./мин; 4 – 3000 об./мин; 5 – 3500 об./мин



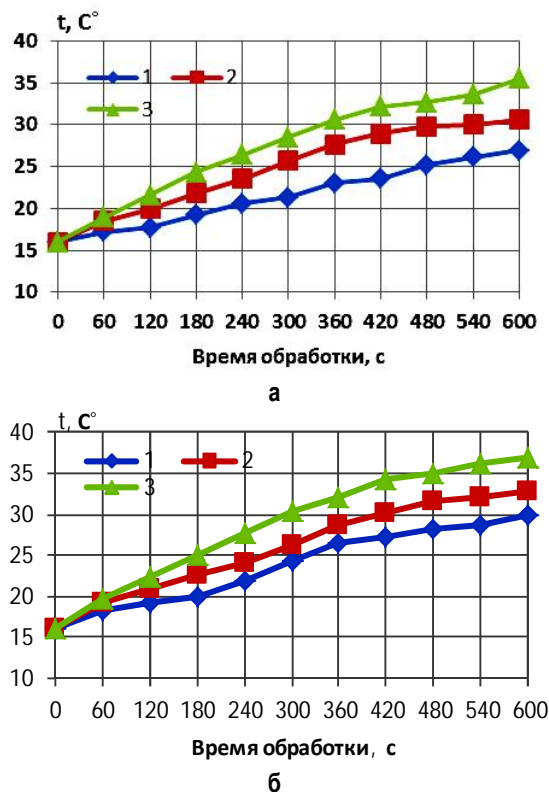


Рис. 5. Зависимость температуры воды от времени обработки и числа оборотов ротора РПА при скорости потока на входе 1,127 м/с (а) и 1,250 м/с (б): 1 – 2500 об./мин; 2 – 3000 об./мин; 3 – 3500 об./мин

Из приведенных данных следует, что гидродинамическое воздействие на рабочую среду приводит не только к изменению рН, но и температуры моющей среды и косвенно подтверждает, что в РПА данной конструкции имеет место гидродинамическая кавитация.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными авторов [1].

На втором этапе исследовалась механическая промывка шламов в условиях гидродинамической кавитации.

Исследования проводились на пробах № 3 и 4 (содержание нефтепродуктов соответственно 1,5 и 4,1%) [2].

Исследовалось влияние числа оборотов ротора, расхода рабочей среды (скорость потока) и времени обработки на остаточное содержание нефтепродуктов.

Изменение числа оборотов ротора осуществлялось посредством сменных шкивов. Исследования проводились при оборотах 2500, 3000 и 3500 об./мин.

Расход рабочей среды варьировался в пределах 0,0043–0,0051 м<sup>3</sup>/с и соответственно скорости потока в пределах 1,044–1,250 м/с. Скорость (расход) потока измерялись при помощи переносного ультразвукового расходомера типа PORTAFLOW-PDFM-4.

Содержание нефтепродуктов осуществлялось анализатором АН-2.

Исследования проводились на пульпе с содержанием 50% твердого вещества и 50% воды при содержании нефтепродуктов до 4,0%. Время промывки составляло 60–600 с в диапазоне температур 20–50°С. В

качестве моющей среды использовалась вода из Левобережного отстойника промливневых стоков. При проведении экспериментов рН моющей среды составляло 8,96.

Промывка пробы №3 осуществлялась по двум схемам. В первой схеме использовался один РПА, а во второй – два РПА. Результаты исследований по механической промывке представлены на рис.6 и 7.

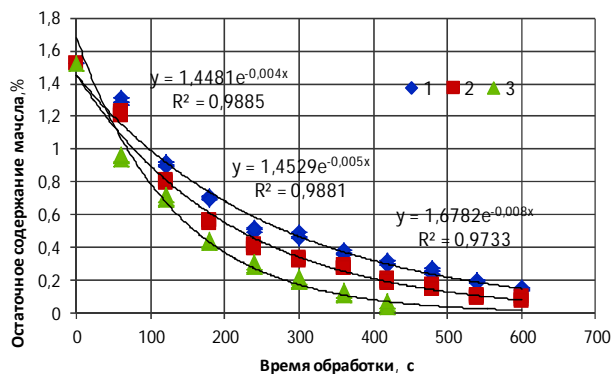


Рис. 6. Содержание нефтепродуктов в пробе № 3 в зависимости от скорости вращения ротора и времени обработки с одним РПА: 1 – 2500 об./мин; 2 – 3000 об./мин; 3 – 3500 об./мин

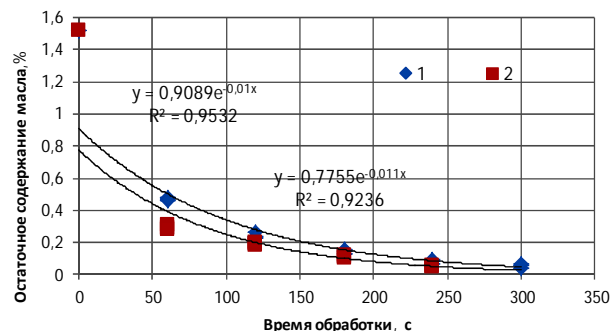


Рис. 7. Содержание нефтепродуктов в пробе № 3 в зависимости от скорости вращения ротора и времени обработки с двумя РПА: 1 – 3000 об./мин; 2 – 3500 об./мин

Из приведенных данных следует, что в случае одного РПА остаточное содержание масла в шламе менее 0,20% достигается через 540 с при оборотах ротора 2500 об./мин, через 420с при оборотах ротора 3000 об./мин и 280 с при оборотах ротора 3500 об./мин.

В случае двух РПА остаточное содержание масла в шламах менее 0,20% достигается через 180 с при оборотах ротора 3000 об./мин и 110 с при оборотах ротора 3500 об./мин.

Таким образом, эффективность промывки зависит от числа РПА и скорости вращения ротора.

После промывки в двух РПА в течение 150 с шлам направлялся в трёхкомпонентный сепаратор, а затем в магнитный сепаратор и был получен концентрат с содержанием железа до 63,35%.

Промывка пробы № 4 осуществлялась с использованием двух РПА. Результаты механической промывки представлены на рис. 8.

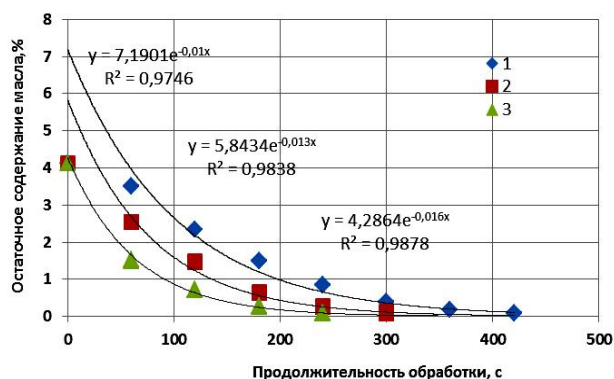


Рис. 8. Содержание нефтепродуктов в пробе № 4 в зависимости от скорости вращения ротора и времени обработки с двумя РПА: 1 – 25000 об./мин.; 2 – 3000 об./мин; 3 – 3500 об./мин

Полученные результаты аналогичны предыдущим. Остаточное содержание масла в шламах порядка 0,20% достигается при промывке с использованием двух РПА через 180 с.

Для сокращения времени промывки шламов, со-

державших масло порядка 4%, необходимо в схему устанавливать четыре РПА.

После промывки в двух РПА в течение 240 с шлам направлялся в магнитный сепаратор и был получен концентрат с содержанием железа 64,53%.

Полученные результаты лабораторных исследований показали эффективность использования гидродинамической кавитации для интенсификации процесса механической промывки замасленных шламов донных отложений в отсутствие химических реагентов.

Список литературы

1. Витенько Т.Н., Гумницкий Я.М. Механизм активации действия гидромеханической кавитации на воду // Химия и технология воды. 2007. Т.29. №5. С. 422-432.
2. Черчинцев В.Д., Валеев В.Х., Сомова Ю.В. Исследование замасленных шламов донных отложений металлургического производства // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 80-83.

Bibliography

1. Vitenko T.N., Gumnitsky J.M. Research mechanism of hydrodynamic cavitation activating actions on water // Chemistry and technology water. 2007. m. 29. №5. P. 422-432.
2. Chertintsv V.D., Valeev V. Kh., Somova U.V. Investigation of sludge greasy sediments of metal production // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. 2011. № 2. P. 80-83.

УДК 669.743.27: 669.054.83

Мишурина О.А., Муллина Э.Р.

## ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАРГАНЦА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД

Статья посвящена актуальному вопросу разработки ресурсосберегающей технологии переработки марганецсодержащих гидроминеральных ресурсов на основе химических способов выделения металлов из водных растворов, в частности марганца. Рассмотрены основные химические аспекты процесса селективного извлечения марганца из технических растворов.

Проанализировано влияние основных параметров электроокислительного и электрофлотационного процессов на эффективность извлечения марганца из технических растворов, а именно: плотности тока на электродах, времени проведения процесса, pH среды, ионного состава растворов, величины и знака заряда  $\xi$ -потенциала дисперсной фазы Mn (IV).

**Ключевые слова:** химические закономерности, марганец, селективное извлечение, параметры процесса.

The article is devoted to an urgent problem of the working out of saving resources technology of manganese containing hydro-mineral resources processing. View base chemical aspects of selective manganese reclaiming process out of technical a picture. In this article we have analyzed the influence of main parameters of electroflotation process to the efficiency extraction of manganese from the technical mortars, that is current density on the electrodes, the spending time of pH – medium process, ionic composition of mortars, size and sign of  $\xi$ -potential charge of manganese dispersed phase.

**Keywords:** chemicals conformities to law, manganese, of selective extraction, parameters process.

Накопленные и постоянно образующиеся на территории горных и металлургических предприятий техногенные водоемы по объемам и концентрациям тяжелых и цветных металлов можно классифицировать как техногенное гидроминеральное сырье. Переработка данного вида сырья позволит, с одной стороны, более полно использовать природные минеральные ресурсы и повысить рентабельность данных производств, а с другой – существенно улучшить экологическую ситуацию в регионах [1, 2]. Таким образом, извлечение ионов цветных металлов из техногенных вод горнопромышленных и металлургических комплексов в настоящее время является актуальной научно-технической задачей.

Целью работы являлось исследование процесса селективного извлечения Mn (II) из кислых техногенных вод ГОКов медно-колчеданных месторождений

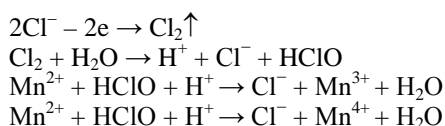
для разработки технологии их селективной переработки. Целесообразность комплексной переработки техногенных гидроресурсов с возможностью извлечения марганца в виде товарной продукции обусловлена тем, что после распада СССР основные источники марганцевого сырья остались за пределами России. В связи с этим, на сегодняшний день остро стоит вопрос о необходимости изыскания дополнительных альтернативных источников получения марганца, являющегося неотъемлемой составляющей при выплавке легированных сталей.

Для извлечения Mn (II) из водных растворов на практике применяются методы окислительного осаждения с последующим отделением образующейся дисперсной фазы от дисперсионной среды методами фильтрации или флотации. Для разделения металлосодержащих коллоидных растворов широко используют

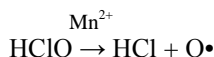
ся флотационные способы: пневматическая, напорная и электрофлотация. Наиболее перспективными в технологии водоочистки являются электрохимические методы, которые характеризуются максимальными показателями извлечения металлов из технических растворов [3, 4].

Исходя из количественного СГ анионного состава кислых рудничных вод ( $\text{Cl}^-$  до  $690 \text{ мг/дм}^3$ ), для извлечения марганца предлагается сочетание двух процессов: осаждение ионов  $\text{Mn}^{2+}$  под действием окислителя – «активного хлора» в виде нерастворимых форм  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$  и последующее извлечение скоагулированного осадка электрофлотационным способом [4].

В общем случае процесс окисления ионов  $\text{Mn}^{2+}$  «активным хлором» до соединений  $\text{Mn}^{+3}$ ,  $\text{Mn}^{+4}$  протекает по схеме:



Анализ опыта использования «активного хлора» в качестве окислителя при окислении переходных металлов показал, что процесс окислительного осаждения  $\text{Mn}$  (II) происходит под действием атомарного кислорода, образующегося при восстановлении «активного хлора» ионами  $\text{Mn}^{2+}$ . Причем ионы  $\text{Mn}^{2+}$  в окислительной системе выступают не только как восстановители, но и как катализаторы процесса, что значительно ускоряет время протекания реакции [5]:



Для извлечения образующейся в процессе электрокоагуляции дисперсной фазы  $\text{Mn}$  (III, IV) из водных растворов использовали метод электрофлотации. Выбор электрофлотационного метода обусловлен отличительными особенностями извлекаемых катионов марганца, а именно: хрупкостью коллоидных хлопьев марганца, их способностью к передиспергированию при интенсивном перемешивании суспензии, необходимостью проведения флотации при низкой скорости газового потока. С этой точки зрения электрофлотационный процесс, отличающийся высокой степенью дисперсности выделяющихся пузырьков, отсутствием в аппаратах движущихся частей, а также возможностью плавного регулирования скорости изменения степени насыщения пульпы газовыми пузырьками, имеет явные преимущества по сравнению с другими флотационными методами извлечения металловосодержащих осадков. Кроме того, сочетание комбинации процессов осаждение-флотация позволяет достигать высоких показателей извлечения марганца из растворов в виде кондиционного сырья [3, 6].

### Методики проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводили на бездиафрагменном двухкамерном электрофлотаторе, представленном на рис. 1.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: исходный раствор, содержащий ионы  $\text{Mn}^{2+}$  и ионы  $\text{Cl}^-$  ( $600 \text{ мг/дм}^3$ ), из емкости 1 с помощью насоса 2 подается в нижнюю часть первой камеры 3а электрофлотатора 3. Далее образованный дисперсный раствор через перегородку 4 переливается во вторую камеру 3в электрофлотатора 3. Во второй камере под действием электрического тока на катодах выделяется  $\text{H}_2$ , который поднимает дисперсные частицы вверх и образует пенный слой на поверхности раствора. Очищенная вода через патрубок 5 вытекает из аппарата. Пенный слой периодически сдвигается с поверхности раствора скребком-транспортером 6 в направлении камеры пеносборника 7 с конусным днищем, расположенную в торце аппарата. По окончании процесса электрофлотации из патрубка 5 отбиралась проба для определения остаточного содержания марганца в растворе фотометрическим методом с использованием персульфата аммония.

В первой камере аппарата протекает процесс окисления ионов  $\text{Mn}^{2+}$  до нерастворимых форм  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$ . Во второй камере протекает процесс электрофлотационного извлечения дисперсной фазы марганца из водных растворов.

В первой камере аппарата один электродный блок расположен в нижней части камеры и представляет собой 7 монополярно подключенных вертикальных электродов; соотношение анодов к катодам 1:2. Во второй камере аппарата четыре электродных блока расположены в нижней части камеры. В обеих камерах аппарата материал катода и анода одинаков: катоды – сталь ГОСТ 4986-90 толщиной 1 мм; аноды – листовая титан марки ВТ-1-0 толщиной 2 мм с покрытием оксида рутения толщиной 5 мкм. Электропитание каждой камеры флотатора осуществлялось автономно.

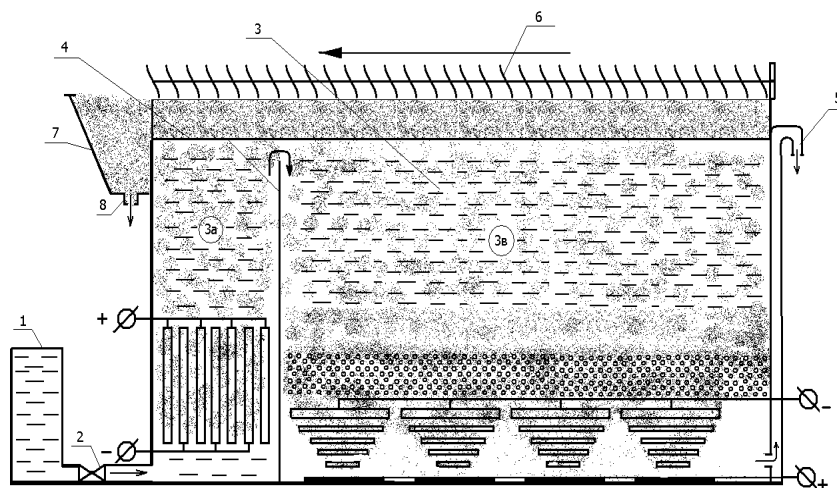


Рис. 1. Конструкция электрофлотатора: 1 – емкость для перерабатываемых растворов; 2 – насос; 3 – электрофлотатор; 3а, 3в – первая и вторая камеры аппарата; 4 – перегородка, разделяющая первую и вторую камеры; 5 – патрубок для стока отработанного раствора; 6 – скребок-транспортер; 7 – пеносборник; 8 – патрубок для удаления флотошлама



Для установления рациональных параметров процесса извлечения Mn (II) из кислых растворов методами окислительного осаждения и последующей электрофлотации были проведены комплексные исследования, в ходе которых установлено влияние на показатели извлечения Mn (II) таких параметров процесса, как: pH, анодная плотность тока, время электрообработки и фоновый ионный состав растворов. Исследования процесса электрокоагуляционно-осаждения ионов  $Mn^{2+}$  в виде дисперсной фазы Mn (III,IV) проводились в стационарном и в проточном режимах работы аппарата при плотности тока на анодах 100–500 А/м<sup>2</sup> и продолжительности электролиза 0,5–5 мин. Исследования процесса электрофлотационного извлечения дисперсной фазы Mn (III,IV) проводились в стационарном и в проточном режимах работы аппарата при плотности тока на катодах 60–120 А/м<sup>2</sup> и времени электролиза 4–14 мин.

Для растворов и извлекаемых технологических продуктов проводили химический анализ с использованием методик фотометрического определения – для катионов металлов и атомноадсорбционного определения – для получаемых по технологии продуктов. Фазовый состав образующихся осадков исследовали рентгенофазным методом с автоматической записью дифракционных максимумов на рентгеновском дифрактометре общего назначения с медным анодом ДРОН-1. Полученные данные обрабатывались с помощью программного обеспечения «Cristallographica Search-Match Example Template File».

### Результаты экспериментов

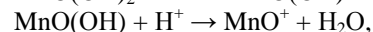
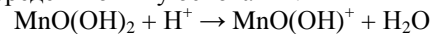
При проведении исследований было установлено, что в первой камере электрофлотационного аппарата полное извлечение ионов  $Mn^{2+}$  в виде осадка в результате электрохимических реакций с участием «активного хлора» наблюдается в интервале pH системы от 4,5 до 8,5. Однако следует учесть, что при электролизе хлоридсодержащих растворов на аноде возможно образование несколько активных форм хлорсодержащих окислителей:  $Cl_2$ ,  $HClO$ ,  $ClO^-$ , активность которых будет зависеть от pH растворов. Максимальная окислительная активность характерна для хлорноватистой кислоты ( $HClO$ ), накопление которой наблюдается в диапазоне pH от 3,5 до 7,5, т.е. в слабокислой и нейтральной областях. Следовательно, исходя из интервала pH, при котором возможно образование дисперсной фазы Mn, а также учитывая окислительную активность хлорсодержащих соединений при разных значениях pH, процесс электрокоагуляции Mn (II) рекомендуется осуществлять в диапазоне pH 4,5–7,5.

Экспериментальные исследования оптимальных параметров работы электролизера при электрокоагуляционно-осаждении Mn (II) позволили установить, что процесс электрокоагуляции в диапазоне pH 4,5–7,5 более эффективно и экономически оправданно проводить в течение 1 мин при концентрации ионов  $Cl^-$  в растворе не менее 600 мг/дм<sup>3</sup> и плотности тока на анодах 50–350 А/м<sup>2</sup> (в зависимости от исходной концентрации Mn (II) в растворе). При этом извлечение ионов  $Mn^{2+}$  в виде дисперсной фазы составит 99,9% [7].

Результаты исследований фазового состава продуктов электрокоагуляции в присутствии фоновых электролитов (ионов  $SO_4^{2-}$  и  $CO_3^{2-}$ ) позволили установить, что основными фазами образующегося осадка являются соединения типа  $MnO(OH)$  и  $MnO(OH)_2$  (86%), а также  $Mn(OH)SO_4$ ,  $Mn(OH)CO_3$ ,  $Mn(OH)SO_4(H_2O)_2$  (14%).

Изменение заряда  $\xi$ -потенциала поверхности частиц дисперсной фазы марганца при разных значениях pH (табл. 1) указывает на то, что соединения  $MnO(OH)$  и  $MnO(OH)_2$  в водных растворах проявляют свойства амфотерных электролитов. Следовательно, в зависимости от pH среды раствора гидроксида Mn (III,IV) диссоциирует по-разному:

– в кислой среде – по типу основания:



– в щелочной среде – по типу кислоты:

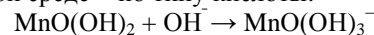


Таблица 1

### Изменение величины $\xi$ -потенциала поверхности дисперсной фазы марганца при разных значениях pH

| pH раствора                    | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 11,0 |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Величина $\xi$ -потенциала, мВ | +18 | +14 | +11 | +3  | -1  | -12  | -18  |

Оценка влияния pH на извлечение дисперсной фазы Mn (III, IV) показала, что максимальные показатели  $\epsilon$  марганца наблюдаются в интервале pH 5,5–7,5, т.е. в диапазоне положительных значений  $\xi$ -потенциала поверхности частиц дисперсной фазы Mn (III, IV), что указывает на электростатический механизм формирования флотокомплекса «дисперсная фаза – пузырьки».

Полученные кинетические зависимости показали, что процесс электрофлотации на фоне анионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  протекает довольно интенсивно, кинетические кривые выходят на горизонтальные участки после 6 мин флотации растворов; максимальные показатели извлечения осадка (в зависимости от концентрации анионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$ ) варьируются в пределах 98,6–99,2%.

Присутствие ионов  $CO_3^{2-}$  оказывает негативное воздействие на процесс флотации дисперсной фазы марганца – с увеличением исходной концентрации ионов  $CO_3^{2-}$  от 0,5 до 2,0 г/дм<sup>3</sup> эффективное время флотации возрастает до 14 мин, а извлечение марганца снижается с 90 до 68% (рис. 2).

При совместном присутствии хлорид-, сульфат- и карбонат-ионов наблюдается частичная нейтрализация негативного воздействия ионов  $CO_3^{2-}$  на процесс флотации – эффективное время флотации снижается до 10 мин, а извлечение марганца из растворов возрастает в диапазоне 96,4–98,9% (рис. 3). Нейтрализация негативного воздействия карбонат-ионов на процесс флотации связана с укрупнением флотируемых частиц марганца вследствие сжатия диффузионного слоя противоионов при введении в дисперсную систему ионов  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$ .



По результатам экспериментальных исследований влияния на процесс флотации токовой нагрузки, подаваемой на электроды, установлено, что в растворах, содержащих ионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ , в диапазоне плотностей тока на катодах ( $I_{\text{ск}}$ ) 80–100  $\text{A}/\text{м}^2$  после 10 мин проведения процесса электрофлотации наблюдается максимальное извлечение дисперсной фазы марганца – 98,9% (рис. 4).

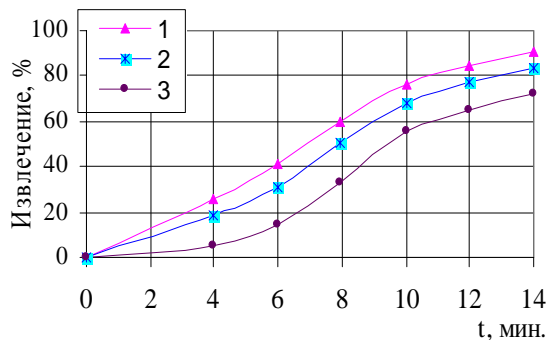


Рис. 2. Зависимости извлечения дисперсной фазы Mn от времени электрофлотации из растворов, содержащих ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ :  
1 – 0,5 г/дм<sup>3</sup>; 2 – 1,0 г/дм<sup>3</sup>; 3 – 2,0 г/дм<sup>3</sup>

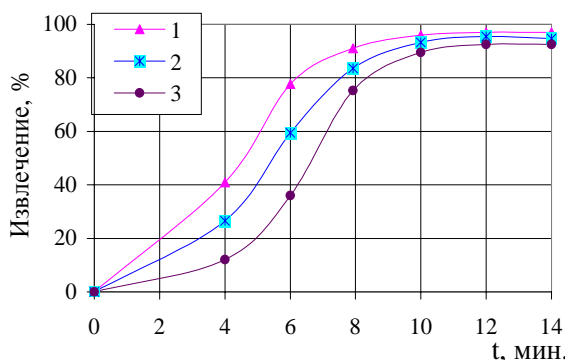


Рис. 3. Зависимости извлечения дисперсной фазы Mn от времени электрофлотации из растворов, содержащих ионы:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  (1:1):  
1 – 0,5 г/дм<sup>3</sup>; 2 – 1,0 г/дм<sup>3</sup>; 3 – 2,0 г/дм<sup>3</sup>

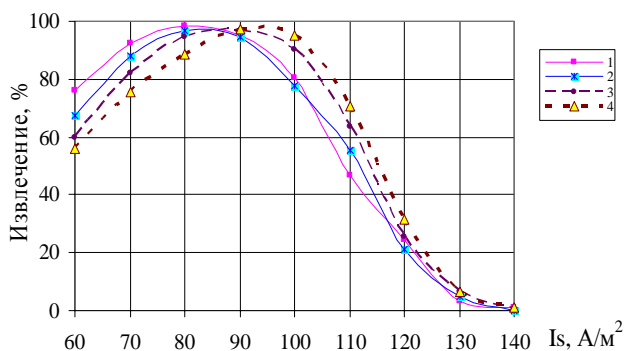


Рис. 4. Извлечение дисперсной фазы марганца при разных плотностях тока на электродах (катодах) из растворов: 1 –  $\text{C}_{\text{исх}} \text{Mn}^{2+} = 50$  мг/дм<sup>3</sup>; 2 –  $\text{C}_{\text{исх}} \text{Mn}^{2+} = 100$  мг/дм<sup>3</sup>; 3 –  $\text{C}_{\text{исх}} \text{Mn}^{2+} = 150$  мг/дм<sup>3</sup>; 4 –  $\text{C}_{\text{исх}} \text{Mn}^{2+} = 200$  мг/дм<sup>3</sup>

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать, что процесс электрофлотационного извлечения дисперсной фазы  $\text{MnO}(\text{OH})$  и  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  из растворов эффективно протекает при pH 5,5–7,5; времени флотации – 10 мин; плотности тока на катодах 80–100  $\text{A}/\text{м}^2$  [6].

Математическая обработка полученных результатов позволила получить математическую модель технологического процесса электрофлотационного извлечения марганца из техногенных растворов, в качестве факторов, от которых зависит процесс электрообработки марганецсодержащих техногенных вод, были приняты следующие:  $X_1$  – исходная концентрация  $\text{Mn}^{2+}$  в стоках, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_2$  – pH растворов;  $X_3$  – время контакта, мин;  $X_4$  – плотность тока на электродах,  $\text{A}/\text{м}^2$ .

Оценочным критерием являлось  $\hat{y}$  – извлечение Mn из растворов, % (табл. 2).

Таблица 2

Интервал варьирования и границы области исследования

| Уровни   | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| $X_0$    | 100   | 5,5   | 6     | 80    |
| + 1      | 120   | 6,5   | 8     | 100   |
| $\Delta$ | 20    | 1,0   | 2     | 20    |
| – 1      | 80    | 4,5   | 6     | 60    |
| + 2      | 140   | 7,5   | 14    | 120   |
| – 2      | 60    | 3,5   | 4     | 40    |

По полученным данным составлено уравнение регрессии относительно  $\hat{y}$ :

$$\hat{y} = 52,86 - 19,41x_1 - 2,33x_2 + 2,44x_3 + 3,70x_4 + 0,63x_1x_2 - 1,49x_1x_3 - 1,83x_1x_4 + 0,90x_2x_3 - 0,69x_2x_4 + 3,60x_3x_4 - 0,80x_1x_2x_3 + 2,26x_1x_2x_4 - 3,23x_1x_3x_4 + 2,86x_2x_3x_4 + 0,71x_1x_2x_3x_4.$$

Уравнения исследованы аналитически по критерию Стьюдента для уровня значимости  $p = 0,05$ . Адекватность уравнений проверялась по критериям Фишера. Из анализа уравнения регрессии следует, что при электрофлото-коагуляционной обработке марганецсодержащих технических растворов на показатели извлечения в большей степени влияют исходная концентрация  $\text{Mn}^{2+}$ , плотность тока на электродах, pH растворов и время электрообработки. Характер зависимостей  $\hat{y}$  от варьируемых факторов может объясняться механизмом и кинетическими закономерностями протекания процесса электрокоагуляции и электрофлотации. Результативный эффект определяется конкретными условиями. Оптимизация полученного уравнения регрессии показала что, увеличение концентрации ионов  $\text{Mn}^{2+}$  в обрабатываемых растворах приводит к смещению области совместной оптимальности в сторону больших значений плотности тока: на анодах – при электрокоагуляционной обработке и на катодах – при электрофлотационном процессе.

**Выводы**

Основные результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Выявлены закономерности протекания процесса окислительного осаждения ионов  $Mn^{2+}$  продуктами электролиза хлоридсодержащих растворов до нерастворимых форм  $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$ , позволившие установить эффективный способ извлечения  $Mn(II)$  из водных растворов – электрокоагуляционный, с использованием нерастворимых электродов.

2. Определены рациональные параметры осуществления процесса электрокоагуляционного извлечения  $Mn(II)$  из кислых техногенных вод ГОКов медноколчеданных месторождений.

3. По результатам рентгенофазного анализа установлен фазовый состав извлекаемой дисперсной фазы марганца – соединения типа  $MnO(OH)_2$  и  $MnO(OH)$  (86%), а также  $Mn(OH)SO_4$ ,  $Mn(OH)CO_3$ ,  $Mn(OH)SO_4(H_2O)_2$  (14%).

4. Выявлены основные закономерности и определены технологические параметры протекания процесса электрофлотационного извлечения дисперсной фазы  $Mn(III, IV)$  из кислых техногенных вод в условиях бездиафрагменного электролизера.

**Список литературы**

1. Домрачева В.А. Извлечение металлов из сточных вод и техногенных образований // ИГТУ. 2006. №6. С. 5-34.
2. Medyanik N.L., Mishurina O.A. Technology of Mn (II) extraction from acid mine waters of ore mining enterprises // Internationaler kongres fachmesse Euroeco. Hannover, 2009. P. 68-69.
3. Колесников В.А., Ильин В.И., Матвеева Е.В. Электрохимическая

технология очистки промышленных сточных вод // Наука – производству. 2004. № 7. С. 7.

4. Технология электрофлотационного извлечения марганца из техногенного гидроминерального сырья медноколчеданных месторождений Южного Урала / Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Медяник Н.Л., Мишурина О.А. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2010. № 3. С. 92-99.
5. Яковлев С.В., Краснородько И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. 312 с.
6. Мишурина О.А. Электрофлотационное извлечение марганца из гидро-техногенных ресурсов горных предприятий // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. № 3. С. 72-74.
7. Медяник Н.Л., Мишурина О.А. Комплексные исследования и технологические решения по извлечению марганца из гидротехногенных ресурсов ГОКов Южного Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 8. С. 198-203.

**Bibliography**

1. Domrachevova V.A. «Extraction of metals from the sewage and man-caused formation». IGTU.
2. Medyanik N.L., Mishurina O.A. Technology of Mn (II) extraction from acid mine waters of ore mining enterprises // Internationaler kongres fachmesse Euro-eco. Hannover. 2009. p. 68-69.
3. Kolesnikov V.A.; Iljin V.I., Varaksin S.O.; Kapustin U.I.; Matveyeva E.V. «Electrochemical technology of refinement of the industrial sewage». Sci-ens – production. 2004. № 7. С. 7.
4. Shanturiya V. A., Chadrunova I. V., Medyanik N.L., Mishurina O.A. Technology электрофлотационного extraction of manganese from technogenic hydromineral raw materials медноколчеданных deposits of Southern Ural Mountains // Physicotechnical problems of working out of minerals. 2010. № 3. С. 92-99.
5. Yakovlev S.V.; Krasnoborodko I.G.; Rogov V.M. «Technology of electrochemical water-refinement». Sroyizdat; Leningrad department, 1987. 312 с.
6. Mishurina O.A. Elektroflotatsionnoe extraction of manganese from hydro-technogenic resources of the mountain enterprises / O.A. Mishurina // The bulletin of MGTU of G. I. Nosova. 2009. № 3. С. 72-74.
7. Medyanik N.L., Mishurina O.A. Complex researches and technological decisions on extraction of manganese from hydrotechnogenic resources ГОКов of Southern Ural Mountains // The mountain information-analytical bulletin. 2009. № 8. С. 198-203.

# ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 338.46

Шорохов В.В.

## ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ МАЛОГО БИЗНЕСА СФЕРЫ УСЛУГ В РОССИИ

Статья посвящена актуальным проблемам состояния и современным технологиям развития малого предпринимательства сферы услуг в России. Проводится анализ форсайт-проекта по развитию малого бизнеса до 2020-2040 гг.

**Ключевые слова:** модернизация, малый бизнес, сфера услуг, форсайт, дорожная карта.

Article is devoted actual problems of a condition and the modern technologies of development of small business of sphere of services in Russia. The analysis foresight on development of small business to 2020-2040 is carried out.

**Keywords:** modernization, small business, sphere of services, foresight, road map.

Дальнейшее развитие отраслей, связанных с добычей сырьевых ресурсов и производством энергоносителей, не позволит России войти в число наиболее развитых в экономическом отношении стран, добиться существенного экономического роста, повышения благосостояния граждан.

Чтобы достичь желаемого превосходства российской экономики, требуется ее существенная трансформация, выражающаяся в переходе от сырьевой экономики к инновационной.

Решающую роль в процессе модернизации российской экономики может сыграть малое предпринимательство, выступив в качестве катализатора экономического роста, обеспечив увеличение валового продукта и решение острых социальных проблем: занятости, безработицы, уровня и качества жизни населения. Развитие малого бизнеса позволит создать нормальную конкурентную среду, противодействовать монополизму, повысить совокупный доход широких слоев населения и расширить потребительский спрос, взрастить предпринимательский дух как очень существенный институт гражданского общества. А главное, малое предпринимательство способно к созданию и распространению научно-технических инноваций, что и определяет его заметную роль в экономическом развитии страны.

По замыслам экспертов значительный вклад в процесс модернизации страны должен принести малый бизнес сферы услуг. Его ориентация на инновации, способность более динамично развиваться, реагируя на изменение запросов потребителей, возможности развиваться без крупных капиталовложений и проявить свою инициативу огромному числу людей могут позволить решить проблему увеличения количества малых предприятий и численности в них занятых.

Учитывая высокую значимость малого предпринимательства сферы услуг в обеспечении процессов интенсификации социально-экономического развития, необходимо усилить внимание государства к во-

просам формирования благоприятной среды функционирования указанного сектора экономики.

Проведенный анализ показывает, что существующая государственная политика в области развития малого бизнеса сферы услуг в России малоэффективна, и данный сегмент экономики продолжает оставаться сектором мощного нереализованного потенциала. На практике развитие малого бизнеса сферы услуг не стало приоритетным направлением государственной политики, и существует значительный дисбаланс между спросом со стороны бизнеса на качественные условия и тем, что государство сегодня может предложить. Необходимы качественно новые технологии, которые бы могли:

1. Выстроить стратегию прорыва в области развития малого предпринимательства сферы услуг.

2. Разработать новые продукты и способы решения задач, отсутствующие сегодня, но востребованные в будущем.

3. Включить в обсуждение темы малого бизнеса сферы услуг большое количество экспертов и заинтересованных игроков [2].

Фактически речь идет о необходимости реализации проекта по Форсайту малого предпринимательства сферы услуг. Форсайт (от англ. Foresight – «взгляд в будущее») – довольно-таки распространенная технология в США и во многих странах Европы. Ее основной смысл – мобилизация самых разных людей, организаций, возможностей государства и общества на достижение неких поставленных на десятилетия вперед общественно значимых задач.

В рамках Форсайта широкое распространение получают так называемые «дорожные карты» [3]. Во многих развитых странах технологическое картирование признано одним из самых эффективных методов планирования, прогнозирования и управления деятельностью как активно внедряющих нововведения компаний, так и отраслей и секторов промышленности. Под этим термином обычно подразумевают достаточно широкий класс различных аналитических

методик, позволяющих прогнозировать развитие инноваций и новых технологий.

Суть технологического картирования состоит в создании визуального представления плана-сценария развития технологий, на котором отражены возможные сюжеты развития и точки критических решений. Результатом исследования выступает технологическая дорожная карта (от англ. technologyroadmap или TRM), которая охватывает важнейшие узлы развития (пройденные, настоящие и будущие шаги в развитии науки и технологии), соединенные причинными и/или временными «цепочками». В рамках дорожного картирования разделяют две цели: первая – это предвидение и планирование развития ситуации на различных технологических, социальных, экономических и политических уровнях; вторая – это управление процессом достижения поставленных стратегических задач (конструирование будущего).

В общем случае дорожные карты нацелены на информационную поддержку процесса принятия управленческих решений по развитию объекта картирования. Но существуют специфические цели, которые выделяются некоторыми учеными, а именно: решение проблемы объекта (это локальные дорожные карты) или инновационное развитие объекта (эти дорожные карты носят, как правило, более масштабный, междисциплинарный характер).

Методика дорожного картирования позволяет сформировать видение развития субъекта картирования в установленное время в будущем, определить какие продукты и сервисы будут востребованы; какие технологии необходимы, чтобы произвести продукцию; возможности создания необходимых технологий; технологические альтернативы (дерево технологий); способы получения необходимых технологий; необходимые навыки для создания и использования данных технологий; образовательные программы, позволяющие приобрести необходимые навыки.

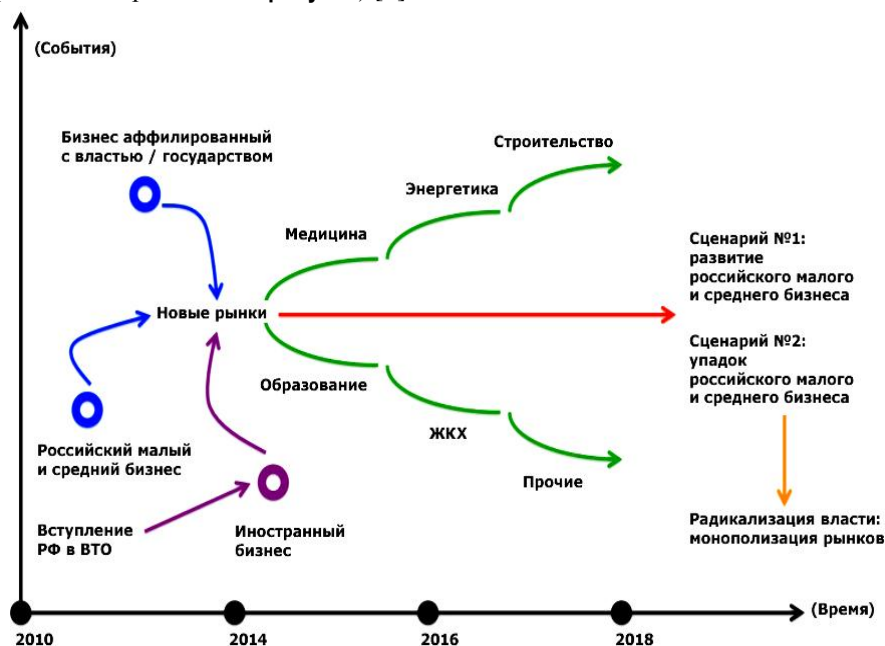
Формирование дорожных карт малого бизнеса сферы услуг в целом по России и в отдельных регионах в частности позволит выявить:

- возможные сценарии будущего малого бизнеса, в том числе показывающие возможности увеличения занятых в малом предпринимательстве до заданных показателей;
- точки принятия решений и «развилки», в области которых принятые решения влияют на реализацию того или иного сценария;
- проблемные области и «точки будущего роста», области, которые в будущем потребуют внимания как

источники проблемы или источники повышенной активности малого бизнеса;

- новые области и перспективные направления развития малого бизнеса;
- усилия, необходимые для реализации того или иного сценария.

20 декабря 2011 года Общероссийская общественная организация малого и среднего предпринимательства «ОПОРА РОССИИ» представила итоги форсайт-проекта «Развитие малого и среднего предпринимательства до 2020-2040 гг.», результаты которого для многих оказались неожиданными (см. рисунок) [2].



Дорожная карта: развитие малого и среднего бизнеса

Форсайт показал, что в ближайшие 5-10 лет на развитие малого бизнеса сферы услуг будут оказывать воздействие институциональные трансформации. Сейчас они идут в стране незаметно, но в ближайшие годы их воздействие на малый бизнес усилится.

Анализ современного рынка услуг выявил, что в различных отраслях данной сферы он развит неодинаково. В системе общественного питания, торговле, в рекреационной сфере (в том числе в туризме) рыночные отношения получили наибольшее развитие и формируют эффективный механизм удовлетворения общественных потребностей. Но в таких отраслях, как здравоохранение, образование, ЖКХ, рыночные отношения имеют не только свою специфику, но и ограниченные возможности. Здесь всегда присутствует значительный нерыночный сектор, в том числе государственные организации и учреждения. Более того, именно они занимают в этих отраслях доминирующее положение.

Основываясь на данных проведенного исследования, представляется необходимым:

Во-первых, реформа образования. Уже сейчас по новому законодательству школы и институты никак



не связаны с Министерством образования. В будущем государственное финансирование сферы, по мнению экспертов, с неизбежностью сократится и учреждения будут вынуждены переходить на самофинансирование. Активно будет развиваться сектор неинституциональных видов образования.

Во-вторых, реформа здравоохранения и медицины. Государство прекращает финансирование сектора. Демографически сейчас можно наблюдать смену поколений, через 5-7 лет пенсионеры советского образца уже не будут электорально важны. Новое поколение растет и в своем большинстве все меньше пользуется государственно-муниципальными службами. Начинает развиваться то, что называют «интернет-медициной» – диагностика, вынутая из существующей системы.

В-третьих, реформа ЖКХ. Чтобы сфера ЖКХ стала по-настоящему конкурентной, возросла доступность коммунальных услуг, а их стоимость снизилась, в ближайшие годы планируется отмена субсидирования предприятий ЖКХ и создание ТСЖ и частных управляющих компаний.

Таким образом, механизмы, которые содержали жилье, образование и медицину, перейдут в структуру частного сервиса. За счет этого ожидается существенное увеличение малых предприятий сферы услуг.

Однако «выход» государства из этих сфер сам по себе не создает новых возможностей для формирования конкурентного и ориентированного на повышение качества услуг сервиса. Эксперты отмечали, что наиболее вероятный сценарий, который реализуется сегодня, состоит в том, что создающиеся ниши не замещаются новыми предпринимательскими компаниями. Чаще всего чиновники, которые курировали эти отрасли, создают дружественные псевдо-бизнес компании, которые фактически сохраняют способ работы, присущий государственным структурам. В ситуации, когда материальная и моральная база отрасли устарела, такой способ замещения государственного участия приводит только к ухудшению ситуации и дальнейшей стагнации. В результате, так как все эти сферы являются социально значимыми, то государство под общественным давлением будет вынуждено либо вернуть эти отрасли обратно под свой контроль, либо отказаться от социальных обязательств (что грозит серьезными социальными потрясениями).

Положительный сценарий, который бы состоял в том, что по мере выхода государства из управления отраслями происходило бы замещение современными бизнес-компаниями по мнению экспертов малореализуем в силу нескольких причин:

– отсутствие образцов и «готовых решений» для эффективного бизнеса в этих отраслях. Это формирует довольно высокий «порог» входа и сохраняет существующую экономическую модель ведения дея-

тельности (которая построена на обосновании тарифов путем увеличения затрат);

– барьеры, формируемые административно (законотательные и разрешительные преграды для новых компаний и новых технологий).

Помимо этого в форсайте выделяются другие факторы, которые в ближайшее время окажут непосредственное влияние на развитие малого бизнеса в целом в России (см. таблицу).

**Факторы, оказывающие влияние на развитие малого бизнеса в целом в России**

| Демографические изменения в обществе  | Кризис крупной российской промышленности  | Появление новых сфер мировой экономики  |
|---|---|---|
| 1. Увеличение числа мигрантов, которые, как ожидается, сформируют новую волну малого бизнеса в сельском хозяйстве, переработке, строительстве, сфере услуг  | 1. Давление рынка – всё большая часть производства перемещается в Китай, Индию, страны Африки   | Зеленая, инновационная сферы экономики будут поступать в Россию извне в виде готовых решений, технологий или продуктов, так как развитие этих сфер в стране осложняется отсутствием инвестиций, предпринимательских идей, активных участников |
| 2. Снижение предпринимательской активности молодого населения из-за сокращения людей, вступающих в трудоспособный возраст, а также «перетягивания» молодежи в корпорации и государственные органы | 2. Давление стандартов по энергосбережению и воде, которые предполагается вводить в ближайшие 1-3 года и на которые большая часть предприятий нашей страны переходить не готовы |   |

Очевидно, что для достижения поставленных к 2020 году задач пятикратного увеличения числа малых предприятий в образовательной сфере, здравоохранении, жилищно-коммунальной сфере и в сфере социальных услуг необходимо изменить место малого бизнеса в структуре экономики и сформировать новую волну эффективных, инновационных, конкурентных малых предприятий.

Однако проведенный форсайт показывает, что естественным образом такая трансформация происходить будет слишком долго. А для ряда отраслей (ЖКХ, образование, здравоохранение) отсутствие компаний, ориентированных на выработку и использование новых технологий ведения деятельности, может оказаться почти катастрофичным.

При этом в случае если будет проведен ряд дополнительных действий, то предстоящие институциональные кризисы создадут возможность для формирования качественно новой волны малого бизнеса.

Для этого необходимо предпринять усилия по:

– переориентации молодого поколения с корпоративной и чиновнической траектории на создание малого бизнеса;

– легализации и интеграции в российское общество бизнеса мигрантов.

А также создать общественно-государственное

партнерство, направленное на замещение государственных и муниципальных структур в социально значимых секторах квалифицированным и качественно новым бизнесом. Такое станет возможным только в случае, если к моменту «выхода» государства будет:

- достаточное число новых предпринимателей, желающих попробовать себя в этих секторах;
- будут разработаны пакеты «готовых решений» для эффективного ведения бизнеса в этих отраслях и созданы системы массовой подготовки предпринимателей;
- будет разработан механизм, который бы препятствовал созданию преград для включения в бизнес в

этих отраслях со стороны чиновников.

#### Список литературы

1. Российский статистический ежегодник, 2010. М.: Госкомстат России, 2011.
2. www.opora.ru.
3. Казыханов Р.Р. Дорожные карты как инструмент развития малого предпринимательства и формирования новых предпринимательских ниш: Предпринимательство // Управление экономическими системами. 2012. №3.

#### Bibliography

1. Russian statistical year-book, 2010. M: Goskomstat of Russia, 2011.
2. www.opora.ru
3. Kazykhanov R.R. Road maps as instrument of development of small business and formation of new enterprise niches: Business//Management of economic systems. 2012. № 3.

УДК 338.984, 658.5.012.2

Рассади́на Е.С.

## МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ИЗДЕЖКАМИ ПРИ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В статье рассматривается методический подход к управлению издержками на предприятии при многономенклатурном производстве. Особое внимание уделяется разнесению накладных расходов предприятия по видам продукции. Анализируется поведение показателей финансовой привлекательности товаров в составе всей многономенклатурной производственной программы. Предлагаемая в работе методика позволяет оградить предприятие от тех нежелательных последствий, к которым может привести отсутствие эффективного управления издержками при производстве продукции.

**Ключевые слова:** управление издержками, многономенклатурное производство, динамическая точка безубыточности, база разнесения расходов.

The article deals with a methodical approach to management of costs at the enterprise by multiproduct process of production. The special attention is given to distribution of burden costs of the enterprise for different production lines. The analysis of break-even of the goods as a part of the multiproduct production program is made. The technique offered in work allows to protect the enterprise from those undesirable consequences in which can result absence of efficient control costs at production.

**Keywords:** management of costs, multiproduct process of production, dynamic point of break-even, base of distribution of costs.

Существует достаточно большое количество способов, с помощью которых предприятие может зарабатывать прибыль. И для каждого способа наиболее важным фактором является фактор *издержек* при производстве продукции, т.е. тех реальных расходов, которые должно понести предприятие в процессе своей деятельности, направленной на производство продукции и получение прибыли. Если предприятие не уделяет должного внимания издержкам, они начинают вести себя непредсказуемо, вследствие чего величина прибыли закономерно уменьшается и зачастую становится отрицательной, т.е. такая деятельность предприятия начинает приносить убытки.

В реальной практике менеджеры предприятия не уделяют должного внимания издержкам. Зачастую им просто трудно разобраться в запутанной структуре издержек и их взаимозависимости, особенно тогда, когда речь идет о многономенклатурном производстве. В то же время осознание того, что издержки играют наиболее существенную роль в бизнесе, начинает овладевать менеджерами предприятий. На этой стадии принципиальным является принятие решения о том, что следует потратить время, энергию, а также деньги для того, чтобы детально проанализировать основные издержки и в дальнейшем научиться ими управлять.

Эффективное управление издержками предполагает следующие преимущества предприятия и его

продукции на рынке: производство конкурентоспособной продукции за счет более низких издержек и, следовательно, цен; наличие качественной и реальной информации о себестоимости отдельных видов продукции; возможность использования гибкого ценообразования; предоставление объективных данных для создания бюджета предприятия; принятие обоснованных и эффективных управленческих решений.

### 1. Описание анализируемого предприятия

В качестве анализируемого предприятия рассмотрим один из молочных заводов Челябинской области, производящий более сорока видов молочной продукции.

На предприятии разработана следующая система классификации затрат. В состав *прямых переменных издержек* входят расходы в денежном выражении на сырье, пищевые продукты, упаковку и зарплату основным рабочим, вместе с начислениями на нее. Общецеховые и общезаводские расходы составляют *косвенные издержки*. В свою очередь, общезаводские затраты разделены на управленческие и коммерческие расходы.

Для удовлетворения спроса потенциальных покупателей молочный завод выпускает более сорока видов молочной продукции. Широта и глубина товарного ассортимента предприятия довольно велика и разнообразна. Однако проанализировать детально струк-

туру всего товарного ассортимента достаточно сложно и нецелесообразно. Поэтому необходимо избавиться от излишней детализации для понимания основных (значимых) факторов, влияющих на процесс управления и рассмотреть базовые усредненные данные по ассортиментным группам предприятия. В последующем же, можно проанализировать каждый вид молочной продукции отдельно.

Произведем консолидацию данных по всем ассортиментным группам, в результате чего получим суммарное планируемое количество выпускаемой усредненной продукции, усредненные нормы расхода переменных затрат в денежном выражении на один килограмм, а также усредненное значение цены реализации каждой группы произведенной продукции за один килограмм (табл. 1).

Таблица 1

**Усредненные данные цены реализации и прямых переменных затрат по всем ассортиментным группам**

| Ассортиментная группа  | Объем реализации, кг | Цена реализации за 1 кг, руб. | Прямые переменные издержки, руб./кг |
|------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Молоко                 | 928210               | 22,77                         | 10,00                               |
| Сливки                 | 27457                | 50,80                         | 23,48                               |
| Кисломолочные продукты | 663704               | 25,02                         | 10,55                               |
| Сметана                | 168412               | 76,36                         | 31,48                               |
| Творог                 | 85056                | 115,83                        | 47,70                               |
| Масло                  | 84300                | 163,14                        | 116,10                              |
| Молоко сгущенное       | 2020                 | 53,75                         | 33,96                               |
| Йогурт                 | 1765                 | 68,00                         | 29,04                               |
| СОМ                    | 113600               | 75,00                         | 60,97                               |

Все косвенные затраты на заводе распределяются по ассортименту пропорционально количеству выработанной продукции.

Отметим, что в качестве базы разнесения общезаводских и общепроизводственных расходов предприятием могут быть выбраны:

- количество выработанной продукции;
- сумма всех прямых издержек на производство продукции в денежном выражении;
- произвольное распределение, при котором учитывается, что какие-либо косвенные затраты приходятся на один вид продукции или распределяются неоднородно.

## 2. Построение и расчет таблицы распределения затрат

Распределение расходов молочного завода по всем видам выпускаемой продукции приведено в табл. 2.

Правильное создание такой таблицы – залог успеха в последующем выборе системы распределения затрат и наиболее перспективных видов выпускаемой продукции.

Таблицу распределения накладных расходов предприятия по видам продукции можно разделить на

несколько составляющих:

- область ввода значений объема и цены реализации каждого производимого усредненного продукта;
- область издержек, включающая расчет прямых переменных и постоянных издержек, а также распределение косвенных издержек на изготовление и реализацию каждого вида продукции;
- область расчета различных финансовых показателей.

Область расчета финансовых показателей включает в себя те показатели, без предварительного расчета которых не должно приниматься решение о производстве какой-либо продукции.

*Точка безубыточности (порог рентабельности)* – это величина объема продаж, при которой предприятие будет в состоянии покрыть все свои издержки (постоянные и переменные), не получая прибыли [5, с. 41]. Только продажа каждой следующей единицы продукции сверх точки безубыточности приводит к получению прибыли.

*Вклад на покрытие* – определяет какую долю в денежном выражении в единице продукции занимают полученная прибыль и удельные постоянные затраты. Его объем равен разности выручки от реализации продукции и переменных затрат на производство единицы этой продукции [5, с.48]. Или же он определяется суммой постоянных издержек и прибылью от реализации единицы продукции.

*Запас финансовой прочности* – это предел безопасности (показатель безопасности). Другими словами, это оценка дополнительного, то есть сверх уровня безубыточности, объема продаж [5, с. 58].

Запас финансовой прочности определяется как результат деления разности объема продаж и точки безубыточности на объем продаж и показывает на сколько процентов может снизиться объем продаж, прежде чем будет достигнута точка безубыточности. Если запас прочности имеет отрицательное значение, то оно показывает на сколько процентов нужно поднять объем продаж, чтобы достигнуть точку безубыточности.

*Операционный рычаг (леверидж)* предназначен для установления влияния прибыли на изменение объема продаж. Операционный рычаг равен отношению вклада на покрытие единицы продукции и полученной прибыли от реализации ее и показывает на сколько процентов изменится прибыль при изменении выручки на 1% [5, с. 59]. По размеру операционного рычага можно определить рискованность бизнеса. Чем он больше, тем при неблагоприятных условиях могут быть выше возможные убытки, он также показывает на сколько выше может быть возможная прибыль при удачном стечении обстоятельств.

В целом объем продаж на анализируемом молочном заводе находится выше уровня безубыточности, и продажа отдельных продуктов также приносит прибыль. Предприятию следует стремиться к увеличению объемов продаж продуктов, имеющих относительно высокий коэффициент вклада на покрытие, таких как сливки, сметана, творог, масло и йогурт. Коэффициент вклада на покрытие этих продуктов значительно больше (27,32-68,13), чем средневзвешенный коэффициент по предприятию (19,87).

Таблица 2

Таблица распределения накладных расходов предприятия по видам продукции, руб.

| Параметр                       | Молоко     | Сливки    | Кисломолочные продукты | Сметана    | Творог    | Масло      | Молоко сгущенное | Йогурт  | СОМ       | ИТОГО      |
|--------------------------------|------------|-----------|------------------------|------------|-----------|------------|------------------|---------|-----------|------------|
| Объем реализации, кг           | 928 210    | 27 457    | 663 704                | 168 412    | 85 056    | 84 300     | 2 020            | 1 765   | 113 600   |            |
| Цена реализации за 1кг         | 22,77      | 50,80     | 25,02                  | 76,36      | 115,83    | 163,14     | 53,75            | 68,00   | 75,00     |            |
| Прямые издержки                | 9 284 029  | 644 555   | 6 999 814              | 5 302 014  | 4 056 799 | 9 787 424  | 68 598           | 51 248  | 6 926 045 | 43 120 526 |
| Косвенные издержки             | 6 970 470  | 206 191   | 4 984 140              | 1 264 704  | 638 735   | 633 058    | 15 169           | 13 254  | 853 089   | 15 578 809 |
| - общецеховые расходы          | 2 261 289  | 66 890    | 1 616 904              | 410 282    | 207 212   | 205 370    | 4 921            | 4 300   | 276 750   | 5 053 919  |
| - общезаводские расходы        | 4 709 181  | 139 300   | 3 367 236              | 854 421    | 431 523   | 427 688    | 10 248           | 8 955   | 576 338   | 10 524 890 |
| Общие затраты                  | 16 254 499 | 850 746   | 11 983 954             | 6 566 718  | 4 695 534 | 10 420 482 | 83 767           | 64 502  | 7 779 134 | 58 699 335 |
| Сумма реализации               | 21 134 187 | 1 394 816 | 16 604 368             | 12 860 101 | 9 851 752 | 13 752 500 | 108 580          | 120 020 | 8 520 000 | 84 346 323 |
| Прибыль до налогообложения     | 4 879 688  | 544 070   | 4 620 414              | 6 293 383  | 5 156 218 | 3 332 018  | 24 813           | 55 518  | 740 866   | 25 646 988 |
| Рентабельность продаж (%)      | 23,09      | 39,01     | 27,83                  | 48,94      | 52,34     | 24,23      | 22,85            | 46,26   | 8,70      | 30,41      |
| Точка безубыточности, кг       | 545 989    | 7 546     | 344 419                | 28 181     | 9 375     | 13 459     | 766              | 340     | 60 799    |            |
| Удельные переменные затраты    | 10,00      | 23,48     | 10,55                  | 31,48      | 47,70     | 116,10     | 33,96            | 29,04   | 60,97     |            |
| Удельные постоянные затраты    | 7,51       | 7,51      | 7,51                   | 7,51       | 7,51      | 7,51       | 7,51             | 7,51    | 7,51      |            |
| Прибыль от единицы продукции   | 5,26       | 19,82     | 6,96                   | 37,37      | 60,62     | 39,53      | 12,28            | 31,45   | 6,52      |            |
| Вклад на покрытие              | 12,77      | 27,32     | 14,47                  | 44,88      | 68,13     | 47,04      | 19,79            | 38,96   | 14,03     | 19,87      |
| Запас финансовой прочности (%) | 41,18      | 72,52     | 48,11                  | 83,27      | 88,98     | 84,03      | 62,06            | 80,73   | 46,48     | 51,27      |
| Операционный рычаг             | 2,43       | 1,38      | 2,08                   | 1,20       | 1,12      | 1,19       | 1,61             | 1,24    | 2,15      | 1,61       |

Относительно низкий уровень постоянных затрат в целом по предприятию (26,5% от совокупных затрат) и достаточный запас финансовой прочности определяют среднее для предприятия значение операционного рычага (1,61). Это означает, что увеличение выручки на 1% при сложившейся структуре продаж даст заводу 1,61% увеличения прибыли.

### 3. Анализ безубыточности при многономенклатурном производстве

Итак, выше были описаны и рассчитаны показатели, которые рекомендуется использовать для оценки финансовой привлекательности товаров. Однако, как будет показано, финансовые показатели, рассчитанные для одного продукта и те же финансовые показатели, но рассчитанные для всех изделий предприятия в многономенклатурном производстве, существенно друг от друга отличаются.

Рассмотрим поведение точки безубыточности для случая, когда предприятие выпускает только один вид продукции, и в случае многономенклатурного производства.

Когда предприятие выпускает только один вид продукции, следует говорить о так называемой *классической точке безубыточности*. Согласно теории [2, 4, 5] при анализе точки безубыточности необхо-

димо задаться предположениями о том, что:

- вся произведенная продукция за рассчитываемый период (месяц) будет продана;
- постоянные издержки остаются неизменными при определенном объеме продаж;
- переменные издержки на единицу продукции не изменяются при изменении объема продаж.

В этом случае аналитически классическая точка безубыточности  $Q_{min}$  определяется по следующим формулам:

$$Q_{min} = FC / (1 - AVC / P), \text{ руб.}$$

$$Q_{min} = FC / (P - AVC), \text{ шт. ,}$$

где  $FC$  – постоянные затраты предприятия, руб.;  $P$  – цена единицы продукции, руб.;  $AVC$  – переменные издержки на единицу продукции, руб.

Классические точки безубыточности для отдельно взятой ассортиментной группы молочного завода Челябинской области рассчитаны в табл. 2.

При определении понимания классической точки безубыточности предполагается, что постоянные издержки должны быть зафиксированы и только тогда эту точку можно рассчитать. Это может быть верно в том случае, если предприятие выпускает только один вид продукции. А если предприятие выпускает два



вида и более? Значит, постоянные издержки распределяются по какой-то методике, принятой на этом предприятии. Следовательно, разнесение постоянных издержек распределяется на каждый вид продукции, и, как правило, величина этих издержек на каждый вид продукции зависит от удельного веса этой продукции в общей номенклатуре предприятия.

Поэтому для точки безубыточности в случае многономенклатурного производства был введен термин – динамическая точка безубыточности [4].

Динамическая точка безубыточности рассчитывается не при условиях ее отдельного определения без зависимости влияния на нее других продуктов, а в составе всей производственной программы. Так как на точку безубыточности отдельного продукта в составе предприятия оказывает влияние изменение объема реализации других видов продукции, то расчет должен производиться по всем видам продукции одновременно.

#### Алгоритм определения динамических точек безубыточности для всей продукции предприятия в многономенклатурном производстве:

**Шаг 1.** Рассчитать классические точки безубыточности для всех продуктов предприятия при многономенклатурном производстве.

**Шаг 2.** Если значения точек безубыточности каждого продукта равны его объемам реализации, то найденные точки безубыточности являются динамическими точками безубыточности каждого продукта предприятия при многономенклатурном производстве. В противном случае необходимо перейти к **шагу 3**.

**Шаг 3.** Сделать корректировку объема реализации для каждого продукта из всей номенклатуры. Для этого необходимо положить равным объем реализации продукта точке безубыточности, найденной на **шаге 1**. После чего произвести перерасчет переменных издержек, т.к. объем реализации каждого вида изделия изменился, и общезаводских, и общецеховых расходов, а также изменилась база каждого продукта, по которой распределяются эти постоянные издержки. Перейти к **шагу 1** с учетом изменения переменных и косвенных издержек.

Несмотря на обилие взаимосвязанных параметров, возможно только одно единообразное решение для всех видов продукции многономенклатурного производства. С помощью вышеприведенного алгоритма осуществляется постепенное приближение к истинному значению объема реализации каждого вида продукции при нулевой рентабельности каждого из них.

С помощью данного алгоритма определим точки безубыточности для каждого вида продукции в составе всего молочного завода в целом.

Сравним рассчитанные динамические точки безубыточности для каждого продукта с фактическим объемом реализации на молочном заводе (табл. 3). Обратим внимание на значительные расхождения.

Получается, что завод может производить только молоко на уровне точки безубыточности (1 220 271,19 кг), покрывая при этом все свои издержки (постоянные и переменные). При превышении данного уровня предприятие начнет получать прибыль от каждого дополнительно проданного килограмма молока. У остальных ассортиментных групп

динамические точки безубыточности находятся на нулевом уровне. Это говорит о том, что на предприятии не уделяется должного внимания квалифицированному разнесению накладных расходов по видам продукции или существуют значительные перекосы в определении ее себестоимости.

Таблица 3

#### Анализ отклонений полученной точки безубыточности при нулевой рентабельности каждого продукта с объемом реализации

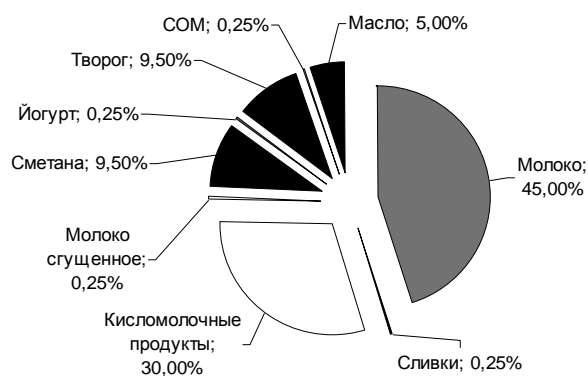
| Ассортиментная группа  | Кол-во выработанной продукции, кг | Точка безубыточности, кг | Отклонение от объема реализации |         |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------|
|                        |                                   |                          | кг                              | %       |
| Молоко                 | 928 210,00                        | 1 220 271,19             | 292 061,19                      | 31,46   |
| Сливки                 | 27 457,00                         | 0,00                     | -27 457,00                      | -100,00 |
| Кисломолочные продукты | 663 704,00                        | 0,00                     | -663 704,00                     | -100,00 |
| Сметана                | 168 412,00                        | 0,00                     | -168 412,00                     | -100,00 |
| Творог                 | 85 056,00                         | 0,00                     | -85 056,00                      | -100,00 |
| Масло                  | 84 300,00                         | 0,00                     | -84 300,00                      | -100,00 |
| Молоко сгущенное       | 2 020,00                          | 0,00                     | -2 020,00                       | -100,00 |
| Йогурт                 | 1 765,00                          | 0,00                     | -1 765,00                       | -100,00 |
| СОМ                    | 113 600,00                        | 0,00                     | -113 600,00                     | -100,00 |

Необходимо отметить, что неэффективное распределение накладных расходов по видам продукции и подразделениям может привести к:

- несоответствующему рыночному спросу и соотношению цен на отдельные продукты;
- необоснованному снижению объемов выпуска некоторых продуктов;
- неверной оценке деятельности предприятий.

Поэтому было принято решение об уточнении того, в какой степени элементы косвенных затрат связаны с производством конкретной ассортиментной группы. После чего появилась необходимость в корректировке разнесения накладных расходов, а именно:

- общецеховые расходы распределяются пропорционально количеству выработанной продукции;
- общезаводские расходы распределяются по ассортиментным группам в следующих пропорциях (см. рисунок).



Структура распределения общезаводских расходов по каждому виду продукции

В таком случае распределение затрат и все соответствующие финансовые показатели при запланированном объеме реализации поменяют свои значения. Причем, при поиске нулевой точки рентабельности для всех продуктов при изменении распределения накладных расходов изменится и точка их безубыточности (табл. 4).

Таблица 4

**Анализ отклонений полученной точки безубыточности при нулевой рентабельности каждого продукта с объемом реализации при изменении базы и соотношений распределения накладных расходов**

| Ассортиментная группа  | Кол-во выработанной продукции, кг | Точка безубыточности, кг | Отклонение от объема реализации |        |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------|
|                        |                                   |                          | кг                              | %      |
| Молоко                 | 928 210,00                        | 611 679,13               | -316 530,87                     | -34,10 |
| Сливки                 | 27 457,00                         | 1 179,86                 | -26 277,1                       | -95,70 |
| Кисломолочные продукты | 663 704,00                        | 334 215,00               | -329 489,00                     | -49,64 |
| Сметана                | 168 412,00                        | 25 087,67                | -143 324,33                     | -85,10 |
| Творог                 | 85 056,00                         | 15 843,88                | -69 212,12                      | -81,37 |
| Масло                  | 84 300,00                         | 12 526,18                | -71 773,82                      | -85,14 |
| Молоко сгущенное       | 2 020,00                          | 1 781,54                 | -238,46                         | -11,80 |
| Йогурт                 | 1 765,00                          | 775,24                   | -989,76                         | -56,08 |
| СОМ                    | 113 600,00                        | 2 921,13                 | -110 678,87                     | -97,43 |

Таким образом, принятие решения об изменении методики разнесения накладных издержек дало в результате совершенно другой результат, который говорит о том, что предприятию необходимо пересмотреть цены на отдельные продукты, а также дать новую оценку результатам деятельности завода в целом.

Однако необходимо отметить, что не существует идеальной базы распределения накладных расходов,

но существует более корректная база распределения для каждого предприятия.

**Заключение**

При многономенклатурном производстве на предприятии необходимо уделять особое внимание квалифицированному разнесению накладных расходов по видам продукции. Нельзя исследовать поведение финансовых показателей какого-то одного продукта в отрыве от основной массы продуктов. Для получения наиболее достоверных результатов при поиске эффективных управленческих решений для развития бизнеса необходимо реализовать динамический анализ основных технико-экономических показателей всей совокупности производимой продукции.

**Список литературы**

1. Курс экономики: учебник / под ред. Б.А. Райзберга. 3-е изд., доп. М.: ИНФРА-М, 2000. 716 с.
2. Савчук В.П. Управление финансами предприятия. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 480 с.: ил.
3. Мицкевич А.А. Сбалансированная система распределения затрат // Экономические стратегии. 2004. №8.
4. Пикюза В.И. Автоматизация и моделирование бизнес-процессов в Excel [Электронный ресурс]. URL: <http://www.management.com.ua>.
5. Управление издержками предприятия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.carana.ru>.

**Bibliography**

1. Rayzberg B.A. Kurs ekonomiki: Uchebnik [Economy course]. Moscow: INFRA-M, 2000. 716p. (rus).
2. Savchuk V.P. Upravleniye finansami predpriyatiya [Management of the enterprise finance]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2005. 480p. (rus).
3. Mitskevich A.A. Sbalansirovannaya sistema raspredeleniya zatrat [The balanced system of distribution of costs] // Ekonomicheskiye strategii. 2004. №8. (rus).
4. Pikuza V.I. Avtomatizatsiya i modelirovaniye biznes-protssessov v Excel [Automation and modelling of business processes in MS Excel]. URL: <http://www.management.com.ua>. (rus).
5. Upravleniye izderzhkami predpriyatiya [Management of enterprise costs]. URL: <http://www.carana.ru>. (rus).

УДК 622.27

Гибадуллин З.Р., Макшуков Ф.Х., Акшенцев Ф.И., Трильев А.Е.

**ВОВЛЕЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА В СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА СИБАЙСКОМ ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ**

Статья посвящена результатам семинара на тему «Повышение производительности труда на Сибайском подземном руднике», направленного на вовлечения работников проходческих участков подземного рудника в процесс совершенствование организации труда.

**Ключевые слова:** персонал, вовлечение, организация труда, рудник, семинар.

The article is devoted to the seminar on «Increased productivity in the Sibai underground mine», aimed at engaging employees of tunneling underground mine sites in the process of improving the organization of labor.

**Keywords:** staff, involvement, organization of labour, mine, workshop.

Несмотря на предпринимаемые меры по совершенствованию организации труда, в период с января 2009 г. по декабрь 2011 г. среднемесячная производительность самоходных буровых установок для проходки горных выработок нестабильна: периоды роста сменяются спадом\*. В связи с этим

остается актуальным вопрос вовлечения работников проходческих участков Сибайского подземного рудника (СПР) в процесс совершенствование организации труда.

Для этого необходимо достижение понимания персоналом своей выгоды от участия в реализации организационных проектов. С этой целью был проведен семинар на тему «Повышение производительности труда на Сибайском подземном руднике», в котором приняло участие 27 человек, в том числе рабочие,

\*Организационные факторы повышения объемов производства в подразделении горнодобывающего предприятия / З.Р. Гибадуллин, Ф.Х. Макшуков, В.А. Макарова // Горн. информ. аналит. бюл. 2011. №5. С. 278-282.

руководители участков, специалисты по организации труда, руководители рудника, управление комбината.

В ходе семинара решались следующие задачи:

- информирование персонала о состоянии эффективности и безопасности производства, опыте реализации программ и проектов по их повышению на других ответственных горнодобывающих предприятиях;

- определение приоритетных интересов персонала и их оценка, выявление желаемого соотношения между планируемым объемом работ и заработной платой, готовности участников к повышению своей ценности на комбинате;

- определение, предварительная проработка и согласование с руководством комбината мероприятий по повышению эффективности труда на проходческих работах;

- достижение договоренности с руководителями проходческих участков, СПР и комбината об организации работы по повышению эффективности труда на проходческих работах в 2012 г.

Анализ результатов анкетирования работников, проведенного в ходе семинара, показал, что такие интересы, как «заработная плата», «перспектива стабильной работы» и «выполняемая производственная функция» являются самыми приоритетными и с большим отрывом опережают все остальные (см. таблицу). «Личная репутация», «квалификация» и «репутация организации», которые, по сути, являются источником стабильной работы и повышения заработной платы, занимают 8, 9 и 11 места соответственно. Квалификация реализуется и личная репутация растут на основе усиления роли работника в управлении производственным процессом и повышения эффективности выполнения им своей функции.

Оценке работниками желаемого соотношения между планируемым объемом работ и заработной платой относительно существующего уровня показала следующее:

- больше 50% работников отметили свою удовлетворенность относительно существующего уровня оплаты труда и планируемым объемом работ;
- 40,7% опрошенных готовы поднять производительность труда на 50% при росте заработной платы на 25%;
- 3,7% опрошенных готовы поднять производительность на 100% при росте заработной платы на 50%;
- оставшиеся 3,7% опрошенных не готовы поднимать и считают завышенным существующий уровень производительности труда и заработной платы (рис. 1).

### Оценка важности интересов работниками комбината (баллы)

| Интересы                              | Рабочие (8 чел.) | Руководители участков (7 чел.) | Специалисты по организации труда (4 чел.) | Руководители рудника (4 чел.) | Управление филиала (4 чел.) | Всего (27 чел) |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|----------------|
| Заработная плата                      | 70               | 68                             | 40  | 46                            | 38                          | 262            |
| Перспектива стабильной работы         | 40               | 62                             | 36  | 42                            | 42                          | 222            |
| Выполняемая производственная функция  | 36               | 66                             | 28  | 42                            | 40                          | 212            |
| Возможность карьерного роста          | 28               | 64                             | 42  | 12                            | 6                           | 152            |
| Роль и значимость на комбинате        | 40               | 48                             | 22  | 8                             | 22                          | 140            |
| Взаимоотношения                       | 42               | 34                             | 8   | 28                            | 8                           | 120            |
| Режим работы                          | 50               | 32                             | 4   | 4                             | 0                           | 90             |
| Своя репутация                        | 16               | 12                             | 14  | 18                            | 18                          | 78             |
| Квалификация                          | 16               | 16                             | 14  | 8                             | 20                          | 74             |
| Взаимодействие                        | 24               | 18                             | 6   | 0                             | 0                           | 48             |
| Репутация организации                 | 2                | 8                              | 6   | 4                             | 22                          | 42             |
| Социальная инфраструктура предприятия | 12               | 12                             | 0   | 8                             | 8                           | 40             |
| Доступ к ресурсам                     | 16               | 8                              | 4   | 4                             | 0                           | 32             |

самый важный

весьма важный

очень важный

важный

имеющий значение

Поскольку 44,4% опрошенных отметили готовность повышать производительность при пропорциональном увеличении заработной платы, то именно эти работники могут стать ключевыми в процессе совершенствования системы организации и оплаты труда.

Опрос работников о готовности повышать свою квалификацию показал, что больше половины опрошенных готовы изменить систему работы для повышения своей ценности, то есть занимают активную позицию по этому вопросу (рис. 2).

Количество работников, %

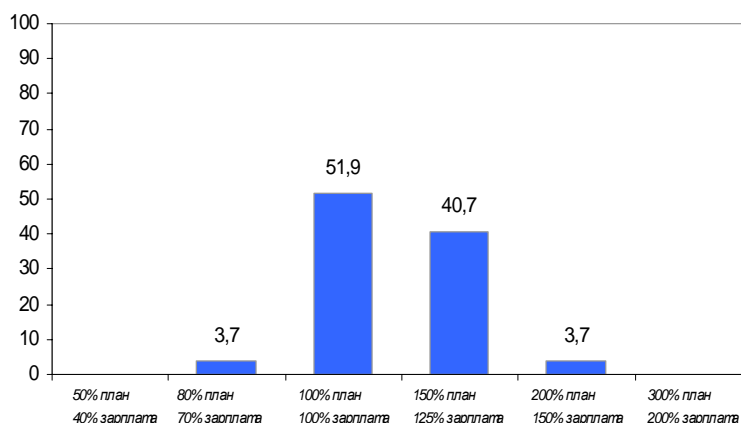


Рис. 1. Оценка желаемого соотношения между планируемым объемом работ и заработной платой относительно существующего уровня

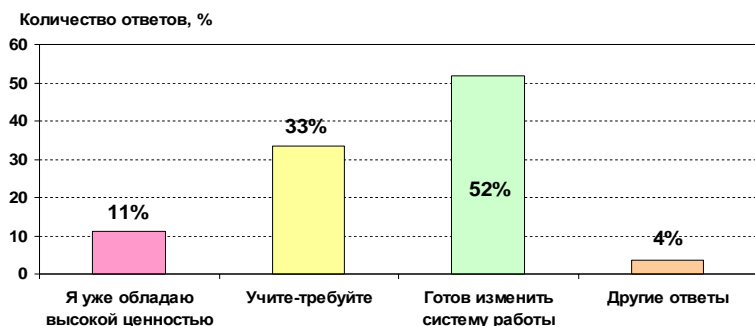


Рис. 2. Готовность работников повышать свою ценность на комбинате

Однако достаточно высока доля работников, занимающих пассивную позицию в отношении повышения своей ценности – 33% (вариант ответа: «Учите-требуите»).

Высокую ценность отметили 11% опрошенных. Это может свидетельствовать о том, что данная часть участников семинара не ощущает конкуренции.

Целенаправленная проработка участниками семинара поставленных задач позволила выявить следующие взаимосвязанные проблемы функционирования СПР:

1. Низкая функциональность производственной деятельности руководителей и специалистов.

Причиной низкой функциональности является отсутствие у руководителей первичного и среднего уровня управления представления о сути и механизме реализации своей функции – организации труда по эффективным и безопасным стандартам (нормам), у специалистов о своей функции – обосновании и разработке стандартов (норм), обеспечивающих повышение эффективности и безопасности производства. Как следствие – отсутствие на предприятии эффективных стандартов (норм) с низким уровнем риска травмирования.

2. Неэффективная система организации и оплаты труда.

Причиной неэффективной системы организации и оплаты труда является низкая функциональность руководителей и специалистов. В результате – неэффективное использование рабочего времени оборудования и операционного персонала, а также средств на оплату труда. Как следствие – дорогой труд.

В условиях отсутствия у руководителей и специалистов четких представлений о своей функции невозможно повысить эффективность использования рабочего времени и средств на оплату труда без совершенствования системы организации и оплаты труда персонала. Прослеживается закономерность – чем ниже уровень организации труда, тем выше его цена и ниже уровень заработной платы работника. В этой связи можно выделить нецелесообразную (рис. 4, а) и целесообразную (рис. 4, б) последовательность дей-

ствий руководителей в своей зоне ответственности.

В совместной работе на семинаре руководство комбината и руководство участков продемонстрировали готовность к взаимодействию по проработке мер по совершенствованию организации и оплаты труда. Для устранения выявленных проблем участниками были взяты на себя личные обязательства по совершенствованию процессов организации производства. Ответственным за координацию работ по разработке и реализации проектов, направленных на повышение производительности труда, был назначен технический директор. Также было принято решение о необходимости усовершенствования существующей системы оплаты труда проходчиков, машинистов буровых установок, а также руководителей и специалистов производственных участков подземного рудника Сибайского филиала ОАО «УГОК».

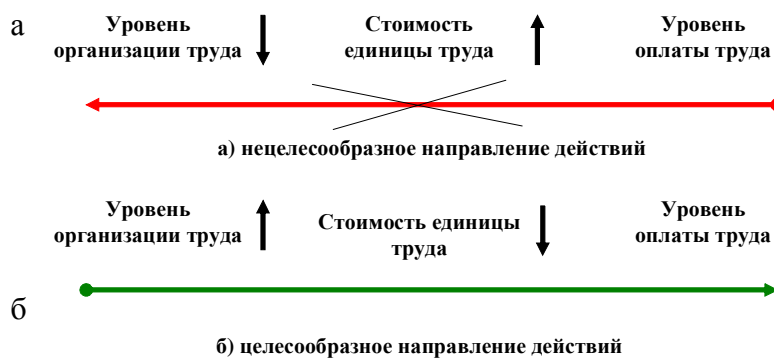


Рис. 4. Закономерность в системе организации и оплаты труда

Таким образом, вовлечение персонала в совершенствование организации труда на подземном руднике через участие в разработке и реализации организационных проектов является необходимым условием роста производительности имеющегося оборудования. Такая вовлеченность работников проходческих участков позволяет повысить их мотивацию и обеспечить реализацию целесообразной закономерности – рост уровня организации труда → снижение стоимости единицы труда → рост уровня заработной платы.

Список литературы

1. Овчинников С.В. Прогрессивная технология изготовления наконечников тормозных шлангов методом холодной объемной штамповки // КШП ОМД. 2010. № 3. С. 9-13.
2. Пат. 2428273 РФ, МПК В21К 1/16, F16L 33/00. Способ изготовления корпуса наконечника тормозного шланга / Овчинников С.В., Майстренко В.В., Галияхметов Т.Ш. Опубл. 10.09.2011. Бюл. № 25.

Bibliography

1. Ovchinnikov S.V. The progressive technology of tip brake hoses by cold forging // Forging and stamping production. Materials Handling Pressure. 2010, №3. P. 9-13.
2. Pat. 2428273 of the Russian Federation IPC B21K 1/16, F16L 33/00. A method of making the body a tip brake hose / Ovchinnikov S.V., Maistrenko V.V., Galiakhmetov T. Sh. Print. 10.09.2011. Part. № 25.



УДК 622.012; 658:005.5

Канзычаков С.В., Лапаев В.Н., Соколовский А.В.

## РАЗВИТИЕ ГОРНЫХ РАБОТ НА РАЗРЕЗЕ: МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ

Сущность методического подхода к управлению развитием горных работ состоит в выборе способов определения направлений технико-технологических преобразований, которые основываются на системной оценке решений, технологичности и эффективности их реализации, позволяющих обеспечить целенаправленный и непрерывный процесс формирования производственной и экономической эффективности деятельности разреза.

**Ключевые слова:** горные работы, развитие, управление, метод.

The essence of the methodological approach to the development mining operations is the selection methods of technical and technological changes, which are based on systematic evaluation of solutions, technology and efficiency of their implementation, which is allow to provide a focused and uninterrupted process of forming mine productive and economic efficiency.

**Keywords:** mining, development, management, the method.

Управление развитием горных работ является перспективным научно-практическим направлением в области разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Как показывают результаты анализа проблем, возникающих в процессе работы предприятий открытой добычи полезных ископаемых, задачи обоснования порядка развития горных работ во времени и пространстве продолжают оставаться актуальными [2,3].

Кроме того, первостепенное значение приобретают вопросы обеспечения жизнеспособности, которая зависит от принятой стратегии добывающих предприятий и, следовательно, от выбранного порядка развития горных работ. Возникающие при этом новые задачи, связанные с различной интенсивностью отработки месторождения, сочетанием различных способов разработки, техники и технологий и т.д., требуют развития методов оптимизации порядка отработки месторождений не только при проектировании и перспективном планировании горных работ, но и для текущего управления развитием горных работ на действующих горных предприятиях [1,6].

В этой связи становится необходимо разработку методического обеспечения принятия технико-технологических решений, позволяющих снимать ведущие ограничения в текущем развитии горных работ. Основу методического подхода к решению задач управления развитием горных работ составляет использование возможностей горнотехнической системы предприятия (ГТС). Декомпозиция горнотехнической системы на техническую, технологическую и организационную подсистемы карьера позволяет определять направления принятия управленческих решений, обеспечивающих общую производственную и экономическую эффективность преобразований.

В динамично изменяющихся условиях внешней и внутренней среды основой эффективного управления является планирование, учитывающее различные сценарии изменений. Для горных предприятий основой принятия решений является проект, так как он является документом, обязательным для выполнения. Однако

традиционный цикл проектирования, составляющий не менее года проработки и согласования решений, не способен обеспечить эффективное и устойчивое развитие предприятия в динамичной среде. Такие сроки предопределяют отклонения от целесообразной траектории развития карьеров и приводят к потерям, достигающим 20-30% текущих затрат предприятия [5].

В результате произошедших перемен в устройстве экономики отклонения от проектных показателей начали возрастать и накапливаться. Причем если раньше существующие отклонения были в основном направлены в сторону перевыполнения проектных показателей, теперь большинство предприятий не достигают проектных параметров, некоторые (более 5%) более чем в два раза (рис. 1). Невозможность обеспечения планируемых показателей закономерно приводит к ухудшению экономических показателей.

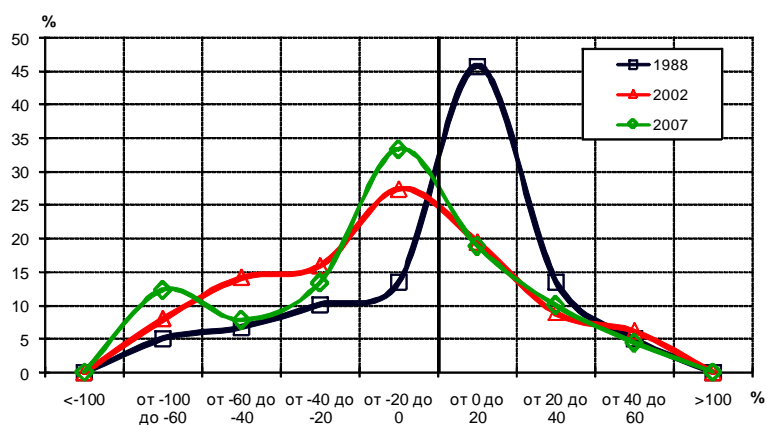


Рис. 1. Доля предприятий с различным отклонением от проектной мощности

Для обеспечения конкурентоспособности отечественных горнодобывающих предприятий необходимы высокие темпы развития действующих карьеров, которые могут обеспечить соответствующую реакцию на происходящие во внешней среде изменения. Требуемый уровень и темпы повышения эффективности производства могут быть достигнуты при переходе к технологическому развитию горнотехнической системы карьера, в которой сосредоточена основная часть основных и оборотных фондов предприятия,

концентрируются запасы и создаются промежуточные резервы, формируется поток готовой продукции.

Сущность методического подхода к управлению развитием горных работ состоит в выборе способов определения направлений технико-технологических преобразований, которые основываются на системной оценке решений, технологичности и эффективности их реализации, позволяющих обеспечить целенаправленный и непрерывный процесс развития (рис. 2).

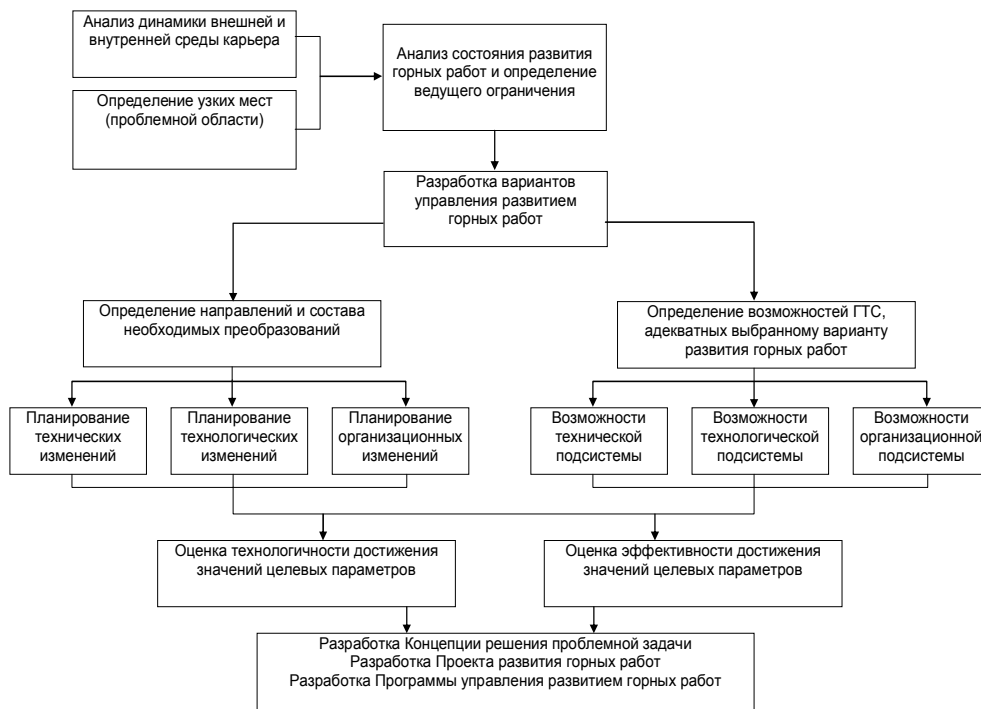


Рис. 2. Блок-схема принятия решений по управлению развитием горных работ

В рамках предлагаемого методического подхода по управлению горными работами используется система известных методов, позволяющих решать вопросы по выявлению и снятию ведущих ограничений в процессе развития горных работ:

Аудит горнотехнической системы – определение основного ограничения (узкого звена), сдерживающего развитие или устойчивое производство горных работ [4].

Районирование запасов полезного ископаемого по основному ограничивающему его добычу показателю (например, коэффициент вскрыши) – определение имеющихся и возможных технико-технологических и горнотехнических возможностей горнотехнической системы, являющихся основой ее развития.

Разработка вариантов – комбинация имеющихся технико-технологических и горнотехнических возможностей, которые позволяют снимать сложившееся ведущее ограничение развития горных работ;

Технико-экономическая оценка эффективности разработанных вариантов – обоснование наиболее эффективных вариантов с высокой степенью реализуемости.

В качестве примера можно рассмотреть выполненную оценку возможности интенсивного повышения объема добычи угля на разрезе «Вахрушевский» с 1500 до 2000 тыс.т/год в условиях ограниченных возможностей автомобильного транспорта.

Аудит горных работ ОАО «Вахрушевразрезуголь» показал, что основным узким технологическим звеном, сдерживающим увеличение объема добычи угля, является технологический автотранспорт на вскрышных работах. Для наращивания объема добычи потребуется увеличить **производительность автотранспорта** на 60%, что является **ведущим ограничением** в развитии горных работ. Поскольку повышение объемов вскрышных работ требовалось осуществить в течение одного-двух лет для **снятия ведущего ограничения**, связанного с увеличением производительности автотранспорта на вскрышных работах, был использован **метод районирования запасов по коэффициенту вскрыши**. Районирование запасов угля ОАО «Вахрушевразрезуголь» по коэффициенту вскрыши (рис. 3) позволило выделить локальные зоны ведения горных работ, отработка которых в определенном порядке обеспечивает устойчивое развитие предприятия на долгосрочный период с коэффициентом вскрыши ниже среднего по месторождению и сокращение расстояния транспортирования.

На основании выполненного анализа было предложено рассмотреть изменение порядка отработки запасов и формирования внешних и внутренних отвалов.

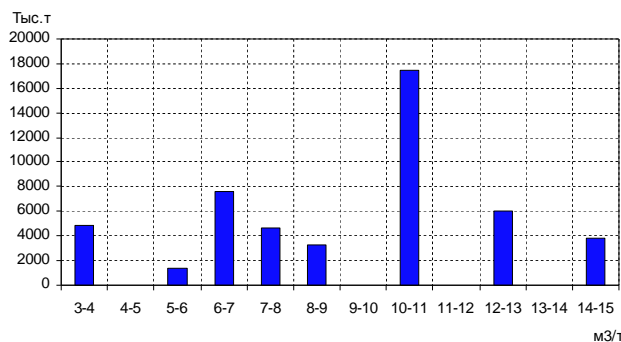


Рис. 3. Районирование запасов угля по коэффициенту вскрыши (ОАО «Вахрушевразрезуголь»)

Предложена концепция поэтапной отработки месторождения блоками с различными горнотехническими параметрами, обеспечивающими заданные объемы добычи при имеющихся возможностях технологического автотранспорта. В концепции рассмотрена возможность снижения эксплуатационного коэффициента вскрыши с 9,4 до 7 м³/т, а среднего расстоя-

ния транспортирования вскрышных пород с 2,3 до 1,8 км, при котором обеспечивается требуемый рост объемов добычи угля. Учитывая, что перемещение 50% вскрышных пород будет производиться с минимальным переподемом, предельное расстояние транспортирования, соответствующее необходимой производительности автосамосвалов, может возрастать до 2,0-2,5 км. Использование автомобильного транспорта при среднем расстоянии 1,8-2,0 км обеспечит перевозку необходимого объема вскрышных пород во внутренние и внешние отвалы.

Кроме того, поэтапная отработка запасов позволит обеспечить устойчивую работу предприятия с требуемым объемом добычи в течение 13-14 лет, а имеющееся горнотранспортное оборудование – добычу угля без дополнительных инвестиций.

При подготовке организационно-технологических, функциональных и структурных преобразований на действующих предприятиях открытой добычи полезных ископаемых, нашедших отражение более чем в 100 бизнес-планах, программах развития и проектах реконструкции, были разработаны и приняты основные управленческие решения, которые позволили реализовать потенциал производства на основе использования технико-технологических возможностей ГТС (см. таблицу).

#### Результаты реализации методического подхода к управлению развитием горных работ на действующих разрезах

| Разрез       | Направление развития   | Решение   | Результат  |
|--------------|--|---|--|
| Ольжерасский | Повышение скорости подготовки рабочего фронта, увеличение объема добычи угля | Интенсификация подготовки фронта за счет быстрого увеличения производительности автотранспорта          | Сокращение расстояния транспортирования вскрышных пород до 2 раз, создание фронта работ б/т и увеличение объема добычи угля на участке в 1,5 раза                      |
| Таежный      | Увеличение объемов производства за счет технологических резервов             | Изменение системы вскрытия и порядка ведения горных работ, списание 5% запасов под внутренними отвалами | Обоснование возможности сокращения транспортной работы при отработке месторождения в 1,5-2,0 раза (возможный суммарный расчетный эффект 1-2 млрд руб.)                 |
| Изыхский     | Поддержание производственной мощности и эффективности добычи угля            | Рассмотрены программы развития участков с оптимизацией порядка ведения и режима горных работ            | Возможность поддержания объема добычи на разрезе, увеличение добычи на отдельном участке до 2-3 раз, снижение эксплуатационного коэффициента вскрыши по разрезу до 10% |
| Заречный     | Увеличение объемов производства в условиях ограниченной емкости отвалов      | Изменение направления горных работ с созданием условий ускоренного формирования отвальных емкостей      | Возможность реализации программы ОАО «СУЭК-Кузбасс» по увеличению добычи угля в 1,5-1,6 раза с обеспечением устойчивого функционирования предприятия                   |

Существенным условием, обеспечивающим реализуемость принятых решений, является разработка, согласование и утверждение следующих программных документов:

– **Концепция решения задачи**, которая формирует понимание предстоящих действий и определяет их стратегию. Например, «Концепция изменения условий эксплуатации автотранспорта на вскрышных работах»;

– **Проект развития горных работ**, содержащий способы изменения технологии ведения горных работ. Проект обеспечивает необходимое взаимодействие руководителей и специалистов в процессе реализации решений. Так, изменение условий эксплуатации автотранспорта ОАО «Вахрушевразрезуголь» включает формирование внутреннего отвала в выработанном пространстве участка №1, выделение на участках добычных зон, обеспечивающих гарантированные объемы добычи и др.;

– **Программа управления развитием горных работ** предусматривает углубленную проработку организационной составляющей, обеспечивающей полное использование возможностей горнотехнической системы предприятия.

Применение методического подхода к управлению развитием горных работ с использованием возможностей горнотехнической системы предприятия позволяет в условиях динамического характера изменений внешней и внутренней среды предприятия достигать решения проблемных задач на основе эффективного использования внутренних технико-технологических и организационных резервов.

#### Список литературы

1. Соколовский А.В. Принципы проектирования инновационного технологического развития производственной системы действующего угольного карьера // Горн.информ.-аналит. бюл. 2007. №12.
2. Каплунов Д.Р., Калмыков В.Н., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. 560 с.
3. Пешков А.А. Управление развитием горных работ на глубоких карьерах. М., 1999.
4. Галкин В.А., Никишичев Б.Г., Соколовский А.В. Структура организационно-технологического аудита эффективности и безопасности углепроизводства // Горн. информ.-аналит. бюл. 2007. №17.
5. Изыскание эффективных вариантов отработки железорудных месторождений Бакальского рудного поля / Корнилов С.Н., Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Петрова О.В., Пыталев И.А. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. № 1. С. 5-10.
6. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Колонюк А.А. Порядок и интенсивность отработки участков рабочей зоны карьера при изменении потребности в добываемом сырье // Горн. информ.-аналит. бюл. 2007. №9. С. 93-97.

#### Bibliography

1. Sokolovsky A.V. Principles of designing innovative technological development of the production system operating coal mine // Gorn.inf.-analit. byul. 2007. №12.

2. Kaplunov D.R., Kalmykov V.N., Rylnikova M. Combined geotechnology. M.: Publishing house «Ore and Metals», 2003.
3. Peshkov A. Managing the development of mining operations in deep pits. M., 1999.
4. Galkin V.A., Nikishichev B.G., Sokolovsky A.V. The structure of organizational and technological audit of the efficacy and safety ugleproizvodstva // Gorn.inf.-analit. byul. 2007. №17.
5. Finding effective alternatives mining iron ore deposits Bakal ore field / Kornilov S.N., Gavrishchev S.E., Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Petrova O.V., Pytalev I.A. // Vestnik MSTU named after G.I. Nosov, 2012. № 1. P. 5-10.
6. Gavrishchev S.E., Burmistrov K.V., Kolonyuk A.A. The procedure and the intensity of mining sites in the quarry working area needs change in the produced raw materials // Gorn. Inform.-analite. byul. 2007. № 9. P. 93-97.

УДК 658.386.4

Шубинцева Е.Б.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МОТИВАЦИИ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ГОРНОРУДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрены вопросы, разработаны системы мотивации на горнорудном предприятии, в основе которых может механизм формирования побудительных мотивов у производственных работников.

**Ключевые слова:** теория мотивации, валентность результатов, затраты усилий, результаты труда.

Questions of development of the system of motivation at the mining enterprise at the heart of which the mechanism of formation of incentive motives at production workers can be considered.

**Keywords:** motivation theory, valency of results, expense of efforts, results of work.

Разрыв между мотивацией и результатами труда порождает серьезную управленческую проблему: как оценивать результаты работы отдельного работника и как его вознаграждать? Если вознаграждать только по результатам труда, то тогда можно демотивировать работника, получившего низкий результат, но старавшегося и затрачивающего большие усилия. Если вознаграждать работника в зависимости от мотивации, без учета реальных результатов его труда, то можно вызвать ухудшение результатов работы менее мотивированных, но производительных работников.

Таким образом, в любом хозяйствующем субъекте система мотивации должна предусматривать ориентацию на конечные результаты работы всего коллектива и отдельного работника, на внешнюю и внутреннюю мотивацию.

В основе разработки системы мотивации на горнорудном предприятии используем механизм формирования побудительных мотивов у работников. Этот механизм состоит из отдельных методов мотивации и их совокупности. Категории мотивации представлены в табл. 1. Данные категории методов мотивации используем для создания базисной модели теории ожидания (см. табл. 1).

Предполагается, что у работника есть три варианта выполнения работы:

- 1) затраты больших усилий;
- 2) затраты умеренных усилий;
- 3) затраты малых усилий.

По каждому результату выводятся оценки (табл. 2). По ним рассчитывается мотивационная сила для каждого из возможных вариантов поведения (табл. 3).

Таблица 1

Категории методов мотивации

| Номер категории | Метод                                 | Характеристика метода мотивации  | Влияние на мотивацию   |
|-----------------|---------------------------------------|--|--|
| 1               | Материальное вознаграждение (стимулы) | Заработная плата, комиссионные вознаграждения, системы участия в прибыли, покупка акций рабочими и служащими, премирование | Внешнее мотивационное воздействие, обеспечивает связь результатов труда с его оплатой              |
| 2               | Психологическое поощрение (стимулы)   | Удовлетворение от работы, большая ответственность, общественное признание, личное признание со стороны начальства и т.д.   | Удовлетворение личности в процессе работы и желание проявить себя в следующем периоде              |
| 3               | Устранение отрицательных стимулов     | Не допускать нечестной практики и отношений, любимчиков, несправедливости, неравных возможностей для работы и др.          | Реализация теории справедливости, создание условий одинаковых для всех, в которых можно выделиться |
| 4               | Косвенные усилия                      | Организация совещаний персонала, обучение работников, организация конкурсов и др.  | Эффективные коммуникации, выделение лучших – профессионалов, публичное их признание                |
| 5               | Дисциплинарные методы                 | Выговоры, публичные предупреждения, замечания, страх, лишение привилегий, увольнение и др.                                 | Используется форма власти, основанная на наказании, влияющая на поведение личности                 |



Таблица 2

## Варианты усилий в работе и оценка результатов

| 1 уровень мотивации (З-Р) |                             | 2 уровень (Р-В)                                    |  | Валентность                            |
|---------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| Вариант                   | Оценка усилий и результатов | Количественная оценка вознаграждения за результаты |  | Валентность результатов второго уровня |
| I. Большие усилия         | высокий результат 0,7       | похвала начальства 0,8                             |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,0                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,5   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,3                          |  | 4                                      |
|                           | средний результат 0,2       | похвала начальства 0,5                             |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,0                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,2   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,1                          |  | 4                                      |
|                           | низкий результат 0,1        | похвала начальства 0,2                             |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,0                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,1   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,0                          |  | 4                                      |
| II. Умеренные усилия      | высокий результат 0,3       | похвала 0,2  |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,4                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,4   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,1                          |  | 4                                      |
|                           | средний результат 0,6       | похвала 0,1  |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,4                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,1   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,0                          |  | 4                                      |
|                           | низкий результат 0,1        | похвала 0,0  |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,4                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,0   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,0                          |  | 4                                      |
| III. Малые усилия         | высокий результат 0,1       | похвала 0,1  |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,6                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,1   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,0                          |  | 4                                      |
|                           | средний результат 0,2       | похвала 0,0  |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,6                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,1   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,0                          |  | 4                                      |
|                           | низкий результат 0,7        | похвала 0,0  |  | 2                                      |
|                           |                             | свободное время 0,6                                |  | 4                                      |
|                           |                             | премия 0,0   |  | 1                                      |
|                           |                             | продвижение по работе 0,10                         |  | 4                                      |

Таблица 3

## Мотивационная сила вариантов поведения работника

| Номер варианта | Валентность результатов по их уровням |         |        | Мотивационная сила, коэффициент |
|----------------|---------------------------------------|---------|--------|---------------------------------|
|                | высокий                               | средний | низкий |                                 |
| 1              | 3,3                                   | 1,6     | 0,5    | 2,68                            |
| 2              | 2,8                                   | 1,9     | 1,6    | 2,14                            |
| 3              | 2,7                                   | 2,5     | 2,4    | 2,45                            |

Пояснение к таблице:

Валентность ( $V_1$ ) высокого результата первого уровня I варианта рассчитываем по данным табл. 2:

а) высокий результат:

$$V_1^a = 2 \cdot 0,8 + 4 \cdot 0,0 + 1 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,3 = 3,3;$$

б) средний результат:

$$V_1^b = 2 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,0 + 1 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 1,6;$$

в) низкий результат:

$$V_1^c = 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,0 + 1 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,0 = 0,5.$$

Мотивационная сила (M) равна:

$$M_1 = 0,7 \cdot 3,3 + 0,2 \cdot 1,6 + 0,1 \cdot 0,5 = 2,68.$$

II вариант

$$V_2^a = 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,1 = 2,8.$$

$$V_2^b = 2 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,0 = 1,9.$$

$$V_2^c = 2 \cdot 0,0 + 4 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,0 + 4 \cdot 0,0 = 1,6.$$

$$M_2 = 0,3 \cdot 2,8 + 0,6 \cdot 1,9 + 0,1 \cdot 1,6 = 2,14.$$

III вариант

$$V_3^a = 2 \cdot 0,1 - 4 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,0 = -2,1.$$

$$V_3^b = 2 \cdot 0,0 - 4 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,0 = -2,3.$$

$$V_3^c = 2 \cdot 0,0 - 4 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,0 + 4 \cdot 0,0 = -2,4.$$

$$M_3 = 0,1 \cdot (-2,1) + 0,2 \cdot (-2,3) + 0,7 \cdot (-2,4) = -2,35.$$

Таким образом, видно, что наибольшая мотивационная сила по теории мотивации «х» у I варианта, по теории «у» – III вариант. В соответствии с теорией ожидания работник должен выбрать I вариант.

По теории мотивации, в практике управления необходимо учитывать, что мотивация человека к деятельности задается уровнем и структурой ожидаемых результатов второго уровня и степенью их связи в сознании работников с результатами первого уровня. Поэтому менеджеру надо знать структуру, валентность и величину ожидания результатов второго уровня. При этом надо учесть, что являлось как бы базовым уровнем (второй уровень – средний), он все же не может быть универсальным и применяться к каждому работнику, т.е. не может быть единого подхода ко всем работникам. Ожидания второго уровня (критериальные) у всех индивидуальны. Менеджеру надо добиться осознания работником, что I и II уровень результатов работы увязаны.

Чтобы данный процесс мотивации был реальным

и мог осуществляться, необходимо создать условия:

- наличие у работников достаточно высокой степени ожидания результатов первого уровня;
- суммарная неотрицательная валентность результатов второго уровня;
- наличие достаточно высокой степени ожидания результатов II уровня.

Работник должен иметь устойчивое представление о том, что от его усилий зависят результаты его труда, имеющие определенные последствия. Получаемые результаты имеют для него ценность. Человек выбирает поведение, т.к. по теории ожидания, от того, как он ведет себя, зависит то, что произойдет в будущем, если

он произведет определенные затраты усилий.

**Список литературы**

1. Барышников А.А. Современные тенденции изменения мотивации персонала // Кадровик. 2010. №2.
2. Федорова Н.В., Минченкова О.Ю. Управление персоналом организации: учебник. М.: КНОРУС, 2011. 536 с.
3. Стрельников А.С. Мотивация и системный фактор // Управление персоналом. 2011. №10.

**Bibliography**

1. Barishnikov A.A. Modern trends in staff motivation. // Trained worker. 2010. №2.
2. Fedorov N.V., Minchenkova O.Y. Personnel management: training manual. M.: KNORUS 3, 2011. 536 p.
3. Strelnikov A.C. Motivation and system factor // Personnel management. 2011. №10.

УДК 658.153.8:658.7

Васильева Н.Ф.

## О ПРОБЛЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ЗАПАСАМИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассмотрены роль и значение производственных запасов на металлургических предприятиях, выявлено снижение их роли в активах предприятий в настоящее время. Отражены недостатки используемых на практике современных методов управления производственными запасами, имеющих главной целью ускорение их оборачиваемости и повышение рентабельности активов. Отмечены недостатки существующих теоретических подходов к управлению запасами, обоснована необходимость их совершенствования.

**Ключевые слова:** оборотные активы, производственные запасы, скорость оборота, рентабельность активов, логистика.

The role and value of production stocks at the metallurgical enterprises are considered, decrease in their role in assets of the enterprises is revealed now. Shortcomings of modern methods of management used in practice by the production stocks, having a main goal acceleration of their speed of a turn and increase of profitability of assets are reflected. Shortcomings of existing theoretical approaches to stockpile management are noted, need of their improvement is proved.

**Keywords:** current assets, production stocks, speed of a turn, profitability of assets, logistics.

Производственные запасы являются неотъемлемым элементом организации любого производства, обеспечивающим непрерывность протекания производственного процесса. Но, с другой стороны, они представляют собой часть оборотных активов предприятия и оказывают существенное влияние на показатели эффективности использования оборотного капитала. Поэтому управление производственными запасами, составляющими, как правило, основу оборотных активов промышленных предприятий, является одной из важнейших задач корпоративного менеджмента как с точки зрения обеспечения непрерывности процесса производства, так и с точки зрения повышения показателей эффективности использования капитала.

Как известно, управление оборотными активами заключается в формировании их оптимальной величины и структуры, включающей помимо производственных запасов, к которым относятся запасы сырья и материалов, незавершенного производства и готовой продукции, представляющие собой оборотные производственные фонды, также дебиторскую задолженность, денежные средства, финансовые вложения и другие активы, обслуживающие финансовый цикл (фонды обращения).

Для оценки современной политики формирования оборотных активов и роли производственных запасов на действующих предприятиях чёрной металлургии

был проведён анализ их состояния на одном из крупнейших металлургических предприятий России за 8 лет.

Исследования показали, что, несмотря на то, что структура оборотных активов во многом определяется отраслевой принадлежностью предприятия, в ней за постперестроечный период произошли и происходят изменения, обусловленные функционированием в условиях рыночного механизма хозяйствования. Чёрная металлургия является материалоёмкой отраслью, поэтому оборотные активы занимают значительный удельный вес в структуре активов предприятия (который для металлургических предприятий РФ находится в диапазоне от 30 до 70% [1]), причём доля производственных запасов традиционно являлась преобладающей. Анализ динамики удельного веса оборотных активов на исследуемом предприятии показал, что он колебался в анализируемом периоде от 30 до 60% от суммарной величины активов. Это было обусловлено резким изменением объёма средств в обращении, который в разные годы составлял 66,3 – 86,8% от объёма оборотных активов (рис. 1). Причём их абсолютная величина изменялась в широких пределах – от 13 до 74 млрд руб. При этом производственные запасы имели существенно более низкий удельный вес – порядка 20% (составлявший, для сравнения, в условиях плановой экономики около 80%) при незначительных темпах роста их абсолютной величины (рис. 2).

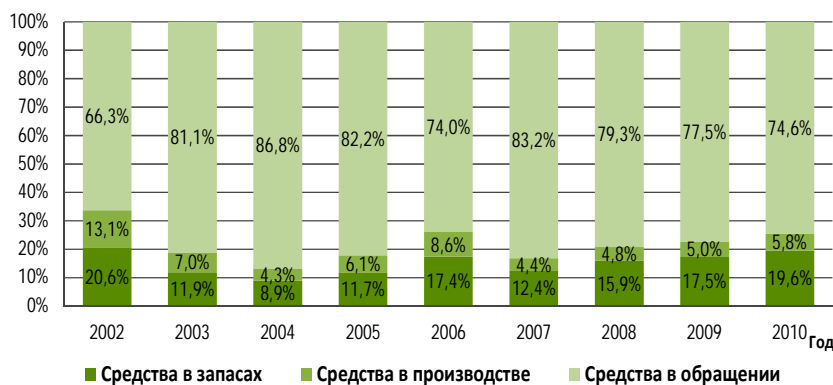


Рис. 1. Динамика структуры оборотных активов

Существенное преобладание фондов обращения над оборотными производственными фондами является характерной чертой функционирования в условиях рыночного механизма, обуславливающего стремление хозяйствующих субъектов, с одной стороны, обеспечить покупателям наиболее удобные условия оплаты путём предоставления отсрочки платежа, что приводит к формированию дебиторской задолженности, а с другой стороны, увеличить доходность активов путём осуществления краткосрочных финансовых вложений. Поэтому краткосрочные финансовые вложения и дебиторская задолженность, несмотря на колебания, составляют значительную величину, как это представлено на рис. 3.

При этом обращает на себя внимание всё сокращающаяся доля производственных запасов в структуре оборотных активов, длительность оборота которых составляла около 20 дней почти на протяжении всего анализируемого периода, что является достаточно низким показателем с точки зрения уровня обеспечения потребности производства в запасах (рис. 4).

Из представленного анализа можно сделать вывод о политике современных предприятий в отношении величины и структуры оборотных активов, направленной на всемерное повышение их доходности, о чём свидетельствует преобладание в их структуре финансовых вложений и дебиторской задолженности при максимальном сокращении элементов оборотных активов, не приносящих доход (производственных запасов), что, в свою очередь, говорит о снижении роли и значения производственных запасов в политике управления активами предприятия.

Существенные изменения претерпела также структура производственных запасов. Анализ её динамики в разрезе основных укрупнённых групп материальных

ресурсов за последние 20 лет по данным одного из крупнейших металлургических предприятий России, представленный на рис. 5, выявил существенный рост доли запасов сырья и основных материалов за период проведения рыночных реформ, занимающих в настоящее время около 3/4 общего объёма запасов, при одновременном сокращении удельного веса всех остальных элементов, в то время как на начало анализируемого периода, относящегося к плановой экономике, доли основных составляющих производственных

запасов составляли примерно равную величину.

Данная тенденция отражает изменившийся хозяйственный механизм и обусловлена стремлением в рыночных условиях, диктующих необходимость экономии оборотных средств, свести к возможному минимуму те элементы запасов материальных ресурсов, которые не являются основой продукта, и по мере возможности увеличить запасы сырья и основных материалов в условиях дефицита поставщиков основного сырья и связанной с этим неопределённости и нестабильности его поставок.

Тенденция сокращения особенно коснулась запасов вспомогательных материалов, запасных частей и других элементов производственных запасов, не являющихся сырьём для производства. Вместе с тем, исследования, проведённые в одном из прокатных цехов металлургического предприятия, выявили зависимость между увеличением суммы ущерба от аварийных простоев оборудования и сокращением количества запасных частей, предназначенных для ремонта.

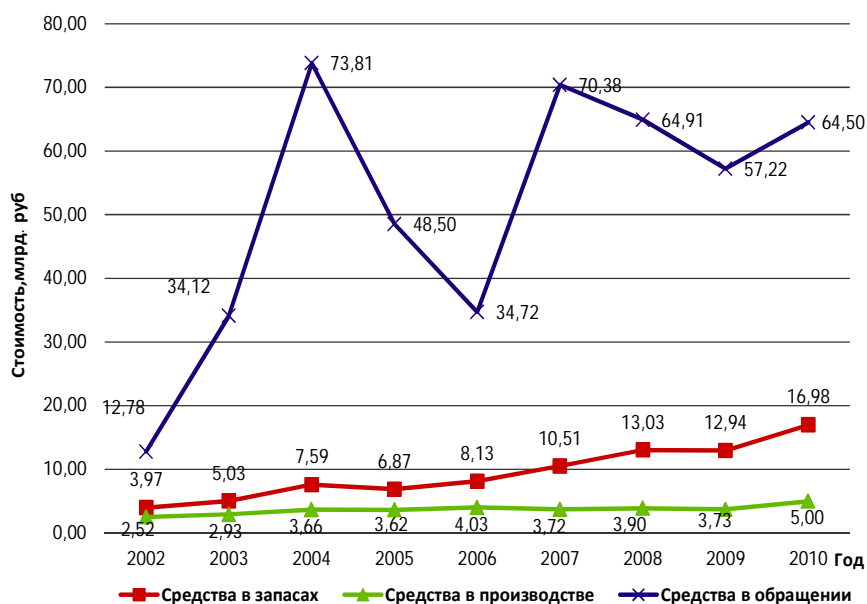


Рис. 2. Динамика величины структурных составляющих оборотных активов

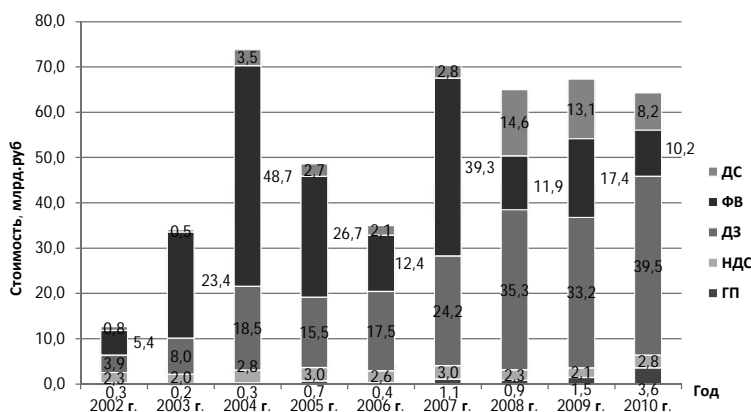


Рис. 3. Динамика величины элементов средств в обращении

Проведение агрессивной политики формирования производственных запасов, направленной на уменьшение их величины и ускорение оборачиваемости, способствует созданию недостаточного уровня запасов важнейших видов материальных ресурсов и ведёт к увеличению операционных рисков. Если в условиях плановой экономики на металлургических предприятиях существовала тенденция накопления избыточных производственных запасов, то в настоящее время их величина на многих предприятиях снижается до опасного уровня.

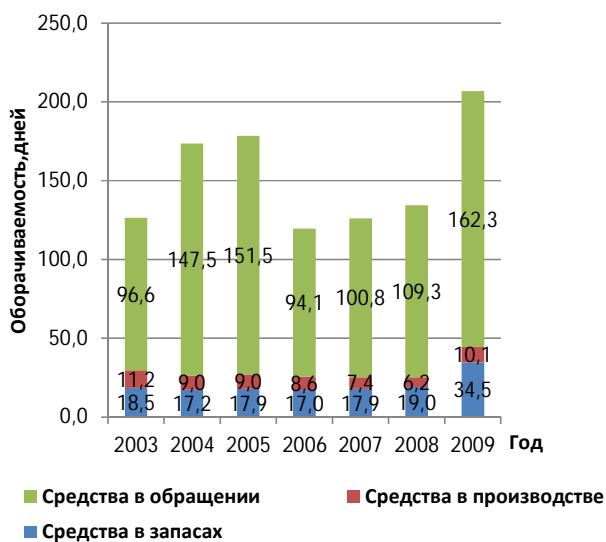


Рис. 4. Динамика оборачиваемости элементов оборотных активов

Анализ показал, что для финансового планирования и управления запасами на многих металлургических предприятиях России используется система нормирования оборотных средств, заключающаяся в установлении нормативов запасов, в рамках которой часто применяются методики, обосновывающие формирование заниженной нормативной величины оборотных активов в части производственных запасов, не соответствующей технологически обоснованному уровню запасов определённых видов материальных ресурсов. Запланированный недостаток оборотных активов приводит к формированию заниженного фак-

тического уровня производственных запасов, обеспечивающего, тем не менее, ускорение оборачиваемости и повышение рентабельности активов.

Необходимо отметить, что вопросами разработки теоретических подходов и практических рекомендаций в области управления производственными запасами в настоящее время занимаются теория корпоративных финансов и логистика, использующие разные подходы к оптимизации их уровня: если теория корпоративных финансов рассматривает их с точки зрения критериев эффективности управления активами предприятия, таких как скорость оборота оборотных средств, показатели эффективности капитала [2], то логистика предлагает модели оптимизации и управления физическим уровнем запасов на основе учёта различных факторов, к которым относятся затраты, связанные с формированием запасов, уровень обслуживания и др. Разрозненность взглядов и отсутствие тесной взаимосвязи в области теоретических и практических рекомендаций по управлению производственными запасами в отраслевом аспекте, отсутствие комплексного решения проблемы затрудняет обоснование рациональных приёмов управления ими.

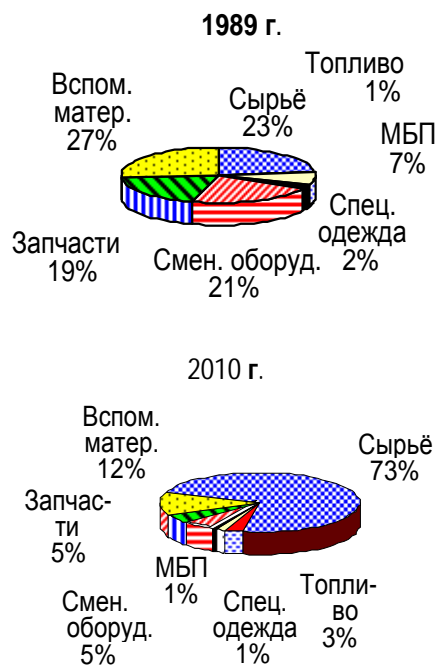


Рис. 5. Динамика структуры производственных запасов на металлургическом предприятии в 1989-2010 гг.

На наш взгляд, основными критериями эффективности управления производственными запасами не могут являться показатели оборачиваемости, как это продекларировано в основных работах по управлению активами. Формирование оптимальной величины производственных запасов на металлургических предприятиях должно базироваться на опреде-



лении технологически обоснованного, вытекающего из сложившихся условий поставки и потребления уровня запаса различных видов материальных ресурсов, скорректированного на уровень надёжности обеспечения, который даёт возможность выбрать приемлимый уровень риска необеспечения материальными ресурсами производственного процесса в течение планируемого периода при различном размере запаса.

#### Список литературы

1. Корпоративные финансы: учебник для вузов / под ред. М.В. Романовского, А.И. Вострокнутовой. СПб. : Питер, 2011. 592 с.
2. Бауэрсокс Доналд Дж., Клосс Дэйвид Дж. Логистика: интегрирован-

ная цель поставок: пер. с англ. 2-е изд. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2010. 640 с.

3. Ларионова И.А. Управление оборотными средствами металлургических предприятий с использованием диагностики и оптимизационных моделей: автореф. дис. ... д-ра экон. наук. М., 2011. 45 с.

#### Bibliography

1. Corporate finance: the text book for higher education institutions / Under the editorship of M.V. Romanovsky, A.I. Vostroknutova. Spb. : PITER, 2011. 592 p.
2. Bauersocs Donald Dzh., Kloss Dayvid Dzh. Logistics: the integrated chain of deliveries: The lane with English. 2<sup>nd</sup> prod. M. : JSC Olimpe-Business, 2010. 640 p.
3. Larionova I.A. Management of current assets of the metallurgical enterprises with use of diagnostics and optimaizing dissertation models: author's abstract on competition of degree of the doctor of economics. M: 2011. 45 p.

# ПЕДАГОГИКА

УДК 378.14

Чупрова Л.В.

## СИСТЕМНОЕ СТАНОВЛЕНИЕ ТВОРЧЕСКОЙ ЛИЧНОСТИ БУДУЩЕГО СПЕЦИАЛИСТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

В статье рассмотрены теоретические основы процесса становления творческой личности в образовательном процессе вуза, основывающиеся на идее гармонии и гармонизации, как нового научного направления в педагогике.

**Ключевые слова:** творческая личность, образовательный процесс, гармония, гармонизация, гармонизация в образовании.

This article deals with the theoretical bases of the process of formation of creative personality in the educational process of the Higher Educational Institution, based on the idea of harmony and harmonization as a new scientific tendency in Pedagogics.

**Keywords:** creative personality, educational process, harmony, harmonization, harmonization in education.

Вступление современной цивилизации в постиндустриальную эпоху отмечено качественно новыми явлениями и процессами, охватывающими различные аспекты жизнедеятельности современного общества. В этих условиях к образованию вообще и к высшему образованию в частности предъявляются более высокие требования в вопросах подготовки высококвалифицированных специалистов для различных областей профессиональной деятельности.

В соответствии с изменившимся социальным заказом общества в значительной мере изменились и ориентиры в системе высшего профессионального образования. Высшая школа сегодня должна готовить специалистов новой формации, обладающих творческим мышлением, нестандартным взглядом на проблему, способных самостоятельно генерировать знания и творчески преобразовывать их в новые технологии, наукоемкие производства и продукты. Очевидно, что в профессиональном образовании на смену идеологии «информативно-описательного преподавания» должна прийти идеология методологической направленности обучения, которая, как отмечает В.В. Краевский, «призвана помочь студенту перейти от содержательно-отражательного получения научных знаний к конструктивно-деятельностному» [4].

В этих условиях основной целью высшего профессионального образования должно стать развитие творческого потенциала каждого человека как ресурса, обеспечивающего развитие общества, культуры, науки и производства. Актуальность данной цели обуславливается, с одной стороны, возрастанием неопределенности, динамичности и неустойчивости существования и развития человека в современном мире, а с другой – потребностью человека в устойчивости своего личного развития, стремлением к самореализации и самоутверждению.

Для того чтобы воспитать творческую личность, настоящего профессионала своего дела, необходимо изменить устоявшиеся парадигмы образования, свя-

занные в основном с накоплением уже готовых знаний, и создать условия для самореализации, саморазвития творческого потенциала каждой личности в процессе продуктивной деятельности. Для будущих специалистов это является значимым, потому что именно творческий подход к делу, нестандартность мышления, независимость суждений помогают ориентироваться в условиях нестабильного общества. Наличие «творческих» качеств зачастую определяет результативность работы, влияет на профессионализм исполнения дела, является существенным при подборе молодых кадров. Вот почему в настоящее время возник вопрос о подготовке специалистов «новой формации» в процессе обучения в вузе.

В создавшихся условиях требуется разработка новой парадигмы образования, необходимость которой детерминирована рядом существенных противоречий, присущих современной системе образования в целом. Наиболее остро проявляются следующие противоречия между:

– образовательными целями, интегральным прагматическим подходом к построению системы общеевропейского образования и реальной ситуацией, связанной с сохранением национальных особенностей российской системы высшего образования;

– стремительным развитием наукоемких отраслей производства, усложнением всех видов профессионального труда и низким уровнем готовности профессиональных образовательных учреждений к подготовке обучающихся в соответствии с новыми требованиями экономики;

– объективной потребностью общества в получении высококвалифицированного специалиста на рынке труда, готового к постоянному профессиональному росту, и фактическим отсутствием системного решения данного вопроса в практике его подготовки при обучении в вузе;

– ускоряющейся динамикой и интеграцией различных видов трудовой деятельности, обусловлен-

ной научно-техническим прогрессом, и узкопрофильной подготовкой специалистов, препятствующей их адаптации к условиям жизни в постиндустриальном обществе;

– необходимостью «слияния» теоретической и практической подготовки кадров и преобладанием в образовательном процессе знаниево-трансляционных методов обучения;

– стратегическим направлением на опережающий характер подготовки студентов, готовых к системным инновационным преобразованиям в сфере будущей профессиональной деятельности, и недостаточной разработанностью технологий подготовки студентов к такой деятельности;

– ориентацией на поэтапный переход от традиционных (информативных) к практико-ориентированным методам, организационным формам и технологиям активизации обучения, с включением в образовательную деятельность проблемных методов обучения, научного поиска, разнообразных форм исследовательской работы и несоответствием существующего уровня реализации данного подхода в учебном процессе высшей школы.

Названные противоречия указывают на несоответствие между требованиями к качеству профессиональной подготовки будущего специалиста и реальным состоянием его подготовленности к выполнению профессиональной деятельности, адекватной запросам времени.

Разрешение противоречия между объективной потребностью общественной и образовательной практики в становлении творческой личности и недостаточной разработанностью его теоретических и технологических основ в педагогике, определили цель исследования, которая заключается в разработке теоретических оснований системного становления творческой личности будущего специалиста в образовательном процессе вуза.

В качестве теоретического обоснования обозначенной проблемы выступают следующие педагогические теории и концепции, свидетельствующие о том, что образование располагает значительными возможностями стимулирования процесса становления творческой личности будущего специалиста.

Во-первых, получили признание ведущие положения гуманистически ориентированной педагогики о ценности человека, сохранении его индивидуальности, о необходимости в процессе образования создания условий для его самореализации (Ш.А. Амонашвили, О.С. Газман, В.П. Зинченко, А. Маслоу, В.А. Сухомлинский и др.).

Во-вторых, в философии образования активно исследуется идея гармонии между «самостью» и «социальностью» личности (В.И. Андреев, С.И. Гессен, Е.Н. Шиянов и др.), на ее основе разрабатываются общепедагогические и дидактические теории творческого развития и саморазвития личности (В.И. Андреев, В.В. Давыдов, Д.Б. Богоявленская, А.М. Матюшкин, Б.П. Никитин, А.П. Тряпицына и др.).

В-третьих, на основе признанных в педагогике

идей гуманизации и гуманитаризации образования разработаны такие современные научно-теоретические подходы к организации образовательного процесса, как личностно-ориентированный, культурологический, деятельностный и другие, решающие задачи развития и становления субъектности всех участников образовательного процесса (А.Г. Асмолов, В.А. Беликов, Е.В. Бондаревская, В.В. Давыдов, Л.В. Занков, С.Ю. Курганов, И.Я. Лернер, В.А. Петровский, М.Н. Скаткин, А.К. Осницкий, Д.Б. Эльконин, И.С. Якиманская и др.). На их основе разработаны современные технологии развития личности.

В-четвертых, представлена научная разработка актуальной для нашего исследования идеи гармонии личности и гармонизации образовательного процесса, рассматривающих стратегии, средства, методы гармоничного развития системы образования в целом и каждого субъекта этой системы (В.И. Загвязинский, В.В. Краевский, П.Г. Постников, Н.Н. Палтышев и др.).

Мы выделяем и рассматриваем одно из направлений совершенствования системы подготовки специалистов в высшей школе – системное становление творческой личности в образовательном процессе вуза. Следует особо подчеркнуть, что проблема творчества не является новой в педагогике и занимает одно из центральных мест в теоретико-прикладных исследованиях о человеке, в изучении психолого-педагогических механизмов личностного и профессионального развития, является междисциплинарной и требует интеграции деятельности многих специалистов – педагогов, психологов, социологов и др.

Становление творческой личности будущего специалиста ориентирует преподавателей на создание для каждого студента индивидуализированных условий, которые способны обеспечить целостность и результативность его личностно-профессионального развития. При этом организационная структура, технология конструирования и реализации образовательного процесса приобретает гуманистическую направленность, обеспечивает осуществление обучающимися своих возможностей в соответствии со своими способностями в освоении различных видов деятельности и социальных отношений.

На основе обобщения теоретического и практического материала, опираясь на логику субъект-субъектного подхода, сформулирована **ведущая идея исследования**. Суть ее состоит в следующем: в условиях глобализации, интеграции и усложнения профессиональной деятельности, быстрого и постоянного обновления технологий возникает спрос на творческую личность, системное становление которой будет обеспечивать **гармонизированный образовательный процесс**, построенный на принципиально новых методологических основаниях, протекающий в результате творческой деятельности субъект-субъектного взаимодействия преподавателей и студентов и предполагающий превращение студента из пассивного объекта профессиональной подготовки в субъект взаимодействия.

Эта идея обуславливает изменения в содержании, направленности, методологических подходах и тех-

нологиях построения целостного, ценностно-ориентированного, открытого, саморазвивающегося образовательного процесса, в котором педагогический акцент смещается от сообщения суммы знаний студентам к их творческому освоению, а системообразующим компонентом целостности всего образовательного процесса выступает находящаяся в стадии становления творческая личность будущего специалиста.

Необходимо содержательно раскрыть понятия «гармония», «гармонизация» в предметном поле педагогики профессионального образования.

В научной литературе, рассматривающей категорию «гармония», можно встретить множество произвольных авторских дефиниций (Г. Гегель, И. Кант, И.С. Молкин, Ю.А. Килис, Э.М. Сороко и др.). Несмотря на разницу в полноте и качестве определений, в них можно выделить некоторые общие черты, позволяющие уточнить сущность рассматриваемого понятия: гармония есть фундаментальный атрибут бытия; сущность гармонии связана с отношением элементов между собой и целым, их изменчивостью и устойчивостью; гармония – это состояние системы, при котором проявляются согласие, упорядоченность, соразмерность и уравновешенность, это состояние временно-пространственной целостности динамической системы, при котором движение к новому состоянию осуществляется посредством сохранения достижений предыдущего состояния; основу гармонии составляет связь между уровнями системы, связь частей слагаемого целого, при этом каждый нижележащий уровень служит основой для актуализации потенциальных возможностей на более высоком уровне.

Анализ сущностных характеристик гармонии позволяет сделать вывод, что понятие «гармония» может быть отнесено к любой системе, имеющей функциональное единство и взаимосвязь уровней, в том числе и к образовательному процессу в вузе, который рассматривается нами как динамическая педагогическая система и определяется:

- как процесс движения от целей к результатам, характеризующийся непрерывностью, последовательностью, оперативностью в решении общих и частных задач;

- как совокупность элементов и форм человеческой культуры, выраженной в: знаниях о природе, обществе, мышлении, технике и способах деятельности; способах деятельности, которые воплощаются в умениях и навыках личности; опыте творческой, поисковой деятельности по решению новых, возникающих перед обществом и каждой личностью проблем; нормах отношений к миру, природе, обществу, друг к другу, к себе.

Анализ психолого–педагогической литературы по проблеме исследования показал, что к проблемам гармонизации образования в разное время обращались философы (Пифагор, Платон, И.С. Молкин, В.П. Шестаков, Э.М. Сороко и др.) и современные исследователи в области педагогики (Ш.А. Амонашвили, В.И. Загвязинский, К.Д. Чермит и др.).

Актуализация проблемы гармонизации в современном образовании продиктована новизной социокультурной ситуации. По мнению В. И. Загвязинского, потребность в гармонизации обусловлена поиском стратегии, средств, методов и технологий гармоничного развития системы образования в целом и каждого субъекта этой системы. Ученый подчеркивает, что гармония – это состояние самого человека, отражение его отношений с миром, которое позволит ему реализовать себя, сохранить мир человека и природы, и именно в таком смысле гармония выступает целью образования, а гармонизация – его средством. В этом смысле идея гармонизации отражает цели и результаты образования, которые выражаются в развитии самого человека и выстраивании его внутренних и внешних связей, являющихся условием развития субъектности человека [1, 2].

Для нашего исследования важным является уточнение понятия «гармонизация», применительно к образовательному процессу. В педагогическом словаре находим: «гармонизация – процесс развития и становления личности под влиянием внешних воздействий воспитания, обучения, социальной среды; целенаправленное развитие личности или какой-либо ее сторон, качеств; процесс становления человека как субъекта и объекта общественных отношений» [5]. Согласно этому определению, гармонизация – это процесс, не имеющий признака «финальности», конца, доведения его до некоторого совершенного состояния, на котором происходит остановка, оно бесконечно и непрерывно в жизни человека.

Развитие представлений о гармонизации в образовании нашло место в трудах И.А. Колесниковой [3], по мнению которой гармонизация трактуется как приведение бытия человека (многомерного существа, принадлежащего одновременно трем реальностям) в соответствие с законами, по которым они сосуществуют в действительности. Гармонично развитый человек способен свободно «перемещаться» из одной реальности в другую, «не застревая» ни в одной из них, владея способами ориентировки, действия, осознания себя в каждой из них. При этом педагога должно интересовать не раннее развитие, а ранняя гармонизация развития. В поисках гармонии преподавателю следует обращаться к внутренним возможностям человека, который «поистине есть сам в себе не что иное, как гармония» (Я.А. Коменский), ибо существует «коренная гармония между индивидуальностью и миром человеческим» (К.Н. Вентцель).

Так, Н.А. Соловьева понимает «гармонизацию» как процесс взаимодействия, взаимопомощи, взаимопроникновения объектов действительности, направленных на достижение единой цели [7].

В ряде исследований гармонизация рассматривается как одна из педагогических стратегий в контексте взаимодействия преподавателя и студента в педагогическом процессе. Смысл данной стратегии состоит в том, чтобы привести в соответствие, согласовать взаимодействие преподавателя с учебной группой и



студентом и, с другой стороны, взаимодействие студента с другими субъектами этого процесса. Гармонизация как личностная стратегия педагога выражается в его потребности соответствовать сущности педагогической деятельности, гуманистическим тенденциям развития образования как социального института и способности осуществлять взаимодействие с обучающимся с учетом его самоценности. В целом, гармонизация – педагогическая стратегия, реализующаяся на основе соответствия и дополнительности целей, содержания, форм и методов образовательного процесса. Гармоничное взаимодействие субъектов этого процесса – равноправное сотрудничество, взаимосодействие на основе понимания, принятия и признания друг друга. Педагогический смысл гармонизации обеспечивает «простраивание целей, содержания, форм и методов учебно-воспитательного процесса на принципах соответствия, дополнительности, целесообразности, интеграции ценностей всех его участников. Гармонизировать – значит согласовать, привести в соответствие, сделать процесс единоподчиненным [6].

Обобщим различные позиции и определим основные характеристики изучаемого феномена:

– гармонизация образовательного процесса в вузе – это определенная динамическая система, обладающая характерными свойствами: наличием общих как инвариантных компонентов, характеризующих систему в целом, так и наличием вариативных, независимо от уровня и профиля профессиональной подготовки;

– гармонизация – это процесс, протекающий в результате творческой деятельности субъект–субъектного взаимодействия преподавателей и студентов, предполагающий движение от целей к результату с учетом компонентов саморазвития и превращения студента из пассивного объекта профессиональной подготовки в субъект взаимодействия; сущность процесса гармонизации составляет формирование системы методологических знаний, логических приемов по разрешению проблемных ситуаций, отработки приемов по совершенствованию знаний через диалектическую зависимость: знание – познание – осознание – самопознание – понимание – самостоятельное знание;

– результатом процесса гармонизации является становление творческой личности будущего специалиста, способного к творческой деятельности и востребованного на рынке труда;

– гармонизация как средство формирования общечеловеческих, гуманных качеств личности, востребованных в современном социокультурном пространстве; воспитание самостоятельности и активное совершенствование индивидуальных особенностей, среди которых первостепенное значение имеет творческая активность, креативность и коммуникативность.

Исходя из этого, дадим собственное определение: гармонизация – это целенаправленный процесс системного становления личности в результате творческой деятельности субъект–субъектного взаимодействия преподавателей и студентов, предполагающий

движение от целей к результату с учетом компонентов саморазвития.

Таким образом, в современных условиях творческая личность становится востребованной на всех ступенях развития. Для того чтобы выжить в ситуации постоянных изменений, а также адекватно на них реагировать, будущий специалист должен активизировать свой творческий потенциал. Однако традиционные подходы к организации профессионального образования не учитывают в полной мере специфику и особенности профессиональной деятельности выпускников в современных условиях. Требуются инновационные технологии профессиональной подготовки, обращенные к проблемам развития творческой личности. Гармонизация в образовании – перспективное научное направление, обеспечивающее проектирование образовательных систем на основе согласованных внутренних и внешних связей основных субъектов и элементов образовательной системы, определяющих становление саморазвивающейся индивидуальности. Результатом этого направления может стать разработка концепции гармонизации образовательного процесса и выявление способов, процедур, механизмов и условий, адекватных личностным ресурсам обучающихся и способствующих становлению творческой личности будущего специалиста.

#### Список литературы

1. Загвязинский В.И. Проектирование региональных образовательных систем // Педагогика. 1999, № 5. С. 8-13.
2. Загвязинский В.И. Гармония как цель образования // Образование в Уральском регионе в XXI веке: научные основы развития: тез. докл. науч.-практ. конф. / под ред. В.А. Федорова. Екатеринбург: УГПУ, 2000. С. 15-17.
3. Колесникова И.А. Педагогическая реальность: опыт междисциплинарной рефлексии: курс лекций по философии педагогики. СПб.: ДЕТСТВО-ПРЕСС, 2001. 288 с.
4. Краевский В.В. Педагогика как наука и как учебный предмет // Известия Волгоград. гос. пед. ун-та. 2003. № 1.
5. Педагогический энциклопедический словарь / гл. ред. Б.М. Бим-Бад. М.: Большая российская энциклопедия, 2002. 528 с.
6. Профессионально-культурное становление студента в образовательном процессе: монография / отв. ред. В.В. Игнатова, О.А. Шушерина. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2005. 264 с.
7. Соловьева Н.А. Гармонизация условий духовно-нравственного воспитания школьников: дис. ... канд. пед. наук. Тюмень, 2000. 170 с.

#### Bibliography

1. Zagvyazinsky V.I. Development of regional educational systems // Pedagogika. 1999, № 5. Pp. 8-13.
2. Zagvyazinsky V.I. Harmony as the purpose of education // Education in the Ural region in the XXIth century: scientific bases for development: Theses of the Reports at Scientific-Practical Conference. / Ed. V.A. Fyodorov. Ekaterinburg, Ural State. Prof. Ped. University, 2000. Pp. 15-17.
3. Kolesnikova I.A. Educational Reality: Experience of interparadigmatic reflection: course of lectures on the philosophy of Pedagogics / I.A. Kolesnikova. SPb: DETSTVO-PRESS, 2001. 288 pp.
4. Kravetski V.V. Pedagogics as a science and as an academic subject // Izvestiya of Volgograd State. ped. University, 2003. №1.
5. Pedagogical Encyclopedic Dictionary / Ch. Ed. B.M. Bim-Bad. M.: Great Russian Encyclopedia, 2002. 528 pp.
6. Professional and cultural formation of the student in the educational process: a monograph / Managing Ed. V.V. Ignatova, O.A. Shusharina. – Tomsk: Published in Tomsk University Press, 2005. 64 pp.
7. Solovyova N.A. Harmonisation of the conditions of spiritual and moral education of schoolchildren. Theses. Candidate of Science (Pedagogics), Tyumen, 2000. 170 pp.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Акшенцев Федор Иванович** – начальник бюро труда, заработной платы и планирования СПР Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК», Республика Башкортостан, г.Сибай. Тел.: (34775) 2-20-06.

**Аникнина Валентина Ильинична** – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Красноярск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка сплошных и пористых металлических материалов. Тел.: (391) 213-32-86.

**Бабкин Сергей Энгелевич** – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник Физико-технического института Уральского отделения РАН, г.Ижевск. Направление исследований: электромагнетизм, акустика, неразрушающий контроль. Тел.: 8(3412)43-00-81. E-mail: emp@fti.udm.ru.

**Валеев Валерий Хакимзянович** – канд. тех. наук, доц. ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-62, (3519) 35-05-70. E-mail: valeevvh@yandex.ru.

**Васильева Надежда Фёдоровна** – канд. экон. наук, доц. кафедры финансов и бухгалтерского учёта ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: логистика производственных запасов на металлургических предприятиях. E-mail: nfvasilyeva@mail.ru.

**Вигриянов Павел Георгиевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры электрооборудования и автоматизации производственных процессов филиала ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) в г. Златоусте. Направление исследований: электромагнитные процессы многофазных вентильных двигателей в нормальных и аварийных режимах работы. Тел.: 8(3513)630172. E-mail: vpg\_postbox@mail.ru.

**Видин Юрий Владимирович** – канд. техн. наук, проф. кафедры теплотехники и гидрогазодинамики теплоэнергетического факультета Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Направление исследований: современные проблемы теоретической и прикладной теплотехники и теплофизики. Тел.: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Вострокнутова Ольга Николаевна** – ст. преп. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: электромагнетизм, акустика, неразрушающий контроль. Тел.: 8 (3519) 29-84-70. E-mail: olvos@mail.ru.

**Гибадуллин Закария Равгатович** – директор Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК», Республика Башкортостан, г.Сибай. Тел.: (34775) 3-41-98. E-mail: oit.sfgok@mail.ru.

**Големенцев Борис Васильевич** – канд. экон. наук, заместитель Генерального директора по производству ОАО «ОКБ Новатор», г.Екатеринбург. Направление исследований: организация и планирование производственных процессов в опытно-серийном производстве, управление комплексной модернизацией машиностроительного производства в условиях инновационной экономики.

**Горбатова Елена Александровна** – канд. тех. наук, зав. кафедрой маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: технологическая минералогия. Тел. (3519) 29-85-42. E-mail: lena\_gorbtova@mail.ru.

**Емелюшин Алексей Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: формирование структуры и свойств сварных со-

единений трубных сталей. E-mail: emelushin@magtu.ru.

**Загиров Николай Наильич** – канд. техн. наук, доц. кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Красноярск. Направление исследований: обработка давлением сыпучих металлических материалов. Тел.: (391) 213-35-50. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

**Иванов Дмитрий Иванович** – аспирант кафедры теплотехники и гидрогазодинамики теплоэнергетического факультета Сибирского федерального университета, г. Красноярск. Направление исследований: исследование процессов теплообмена в теплоизоляционных конструкциях трубопроводов и оборудования, математическое моделирование термодинамических процессов. Тел.: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Ильясов Рустам Сабитович** – д-р физ.-мат. наук, зав. лабораторией Физико-технического института Уральского отделения РАН, г.Ижевск.

**Казимиров Артур Альбертович** – аспирант-соискатель кафедры организации и планирования машиностроительного производства Уральского федерального университета, инженер-технолог по подготовке производства ОАО «ОКБ Новатор», г.Екатеринбург. Направление исследований: технико-экономический анализ производства в задачах организации и планирования производства; автоматизация производственных процессов и процессов планирования деятельности инструментального хозяйства.

**Канзычаков Сергей Васильевич** – директор разрезуправления Сибирской угольной энергетической компании в Кузбассе (ОАО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий). Направление исследований: управление развитием горных работ на разрезах. Тел.: (38464)2-64-14. E-mail: kanzychakovsv@suek.ru.

**Ковенский Илья Моисеевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Материаловедение и технология конструкционных материалов», Тюменский государственный нефтегазовый университет. Тел.: 8 (3452) 256909. E-mail: imkoven@tsogu.ru.

**Корчунов Алексей Георгиевич** – д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-51. E-mail: agkorchunov@mail.ru.

**Корягин Юрий Дмитриевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой физического материаловедения и физики твёрдого тела, Южно-Уральский государственный университет, г.Челябинск. Направление исследований: комплексное легирование и упрочнение сталей и лёгких сплавов. Тел.: (351)2679013. E-mail: main@physmet.susu.ac.ru.

**Кришан Анатолий Леонидович** – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительных конструкций ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: трубобетонные конструкции. Тел.: 8 (3519) 298441. E-mail: kris\_al@mail.ru.

**Куликов Андрей Анатольевич** – главный металлург ЗАО «Технология-М», г.Челябинск. Направление исследований: производство отливок из конструкционных и специальных сплавов. Тел.: (351)2398059. E-mail: kulikov69@list.ru.

**Кусков Константин Викторович** – аспирант кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов», Тюменский государственный нефтегазовый университет. Тел.: 8(3452) 256909. E-mail: lisii@bk.ru.

**Лапаев Василий Николаевич** – канд. техн. наук, зам. генерального директора консалтинговой компании ООО «Геотех-Инвест» (г. Челябинск). Направление исследований: формирование эффективных высокопроизводительных

технологических систем карьеров. Тел.: (351) 265-55-44. E-mail: lapraev@ustup.ru.

**Лысенин Александр Викторович** – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-81. E-mail: Pak6393@yandex.ru

**Макшук Фарит Хатыпович** – начальник управления по персоналу Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК», Республика Башкортостан, г.Сибай. Тел.: (34775) 2-20-03. E-mail: oit.sfugok@mail.ru.

**Мельничук Александр Станиславович** – аспирант кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: трубобетонные конструкции. E-mail: amelmg@gmail.com

**Мирзаев Джалал Аминович** – д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры физического металловедения и физики твёрдого тела, Южно-Уральский государственный университет, г.Челябинск. Направление исследований: теория фазовых превращений в сплавах железа. Тел.: (351)2679013. E-mail: mirzaev@physmet.susu.ac.ru.

**Мишурина Ольга Алексеевна** – канд. техн. наук, доц. кафедры химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: olegro74@mail.ru.

**Муллина Эльвира Ринатовна** – канд. техн. наук, доц. кафедры химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: e.mullina@inbox.ru.

**Нестеренко Анатолий Михайлович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник отдела структурообразования и физических проблем металловедения Института черной металлургии НАН Украины (г. Днепрпетровск, Украина). E-mail: nestav1946@mail.ru.

**Ожогина Елена Германовна** – д-р геолого-минералогических наук, зав. отделением минералогии ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского», г. Москва. Направление исследований: технологическая минералогия. Тел.: (495) 951-74-49. E-mail: vims-ozhogina@mail.ru.

**Пономарев Антон Павлович** – ассистент кафедры химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: улучшение эксплуатационных свойств металлоизделий путём плазменно-электролитной обработки их поверхности. E-mail: antonpon@mail.ru.

**Рассадина Елена Сергеевна** – ст. преп. кафедры «Математические методы в экономике» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет», аспирант заочной формы обучения Уральского государственного экономического университета, г.Екатеринбург. E-mail: lena\_mgn@mail.ru.

**Слепов Валерий Матвеевич** – начальник инструментального отдела ОАО «ОКБ Новатор», г.Екатеринбург. Направление исследований: технология инструментального производства, оптимизация планирования в части изготовления и приобретения инструмента в условиях опытно-серийного производства.

**Соколовский Александр Валентинович** – д-р техн. наук, зам. генерального директора ОАО «НТЦ-НИИОГР» (г.Челябинск). Направление исследований: проектирование технологического развития действующих карьеров. Тел.: (351) 265-55-48. E-mail: avs@ustup.ru.

**Сомова Юлия Васильевна** – ст. преп. ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-62.

**Стеблянюк Валерий Леонтьевич** – д-р техн. наук, проф. кафедры химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: улучшение эксплуатационных свойств металлоизделий путём плазменно-электролитной обработки их поверхности. Тел.: 29-85-04.

**Сухомлин Владимир Иванович** – канд. техн. наук, доц. кафедры «Физика металлов» Днепродзержинского государственного технического университета (Украина). E-mail: alma31@mail.ru.

**Сычков Александр Борисович** – д-р техн. наук, проф. кафедры материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: формирование структуры и свойств сварных соединений трубных сталей. E-mail: absyckov@mail.ru.

**Трильев Антон Евгеньевич** – инженер ОАО «ИнЭКО», г. Челябинск. Тел.: (351) 265-55-04. E-mail: ipeso@bk.ru.

**Трусовский Виктор Иванович** – канд. техн. наук, доц. кафедры «Машины и технология обработки материалов давлением» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск. E-mail: pmic@susu.ac.ru

**Усынина Галина Петровна** – канд. техн. наук, начальник лаборатории ООО «КиК», г.Красноярск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка алюминий-кремниевых сплавов. Тел.: (391) 226-70-45.

**Федоров Глеб Валентинович** – преподаватель кафедры теплотехники и гидрогазодинамики теплоэнергетического факультета Сибирского федерального университета, г.Красноярск. Тел.: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Федюкович Анатолий Кириллович** – доц. кафедры теплотехники и гидрогазодинамики теплоэнергетического факультета Сибирского федерального университета, г.Красноярск. Направление исследований: тепловые и температурные измерения, интенсификация теплообмена. Тел.: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Чупрова Лариса Васильевна** – канд. пед. наук, доц. кафедры химии, технологии упаковочных производств ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: становление личности в образовательном процессе вуза. Тел.: 8 (3519)29-85-33. E-mail: lvch67@mail.ru.

**Шекшеев Максим Александрович** – аспирант кафедры материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: формирование структуры и свойств сварных соединений трубных сталей. E-mail: shecsheev@yandex.ru.

**Шеркунов Виктор Георгиевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Машины и технологии обработки материалов давлением» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г.Челябинск. Направление исследований: обработка давлением сплошных и композиционных материалов. Тел.: (351) 267-92-24. E-mail: mitomd@susu.ru.

**Шорохов Виктор Владимирович** – аспирант кафедры экономики, коммерции и налогообложения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследования: экономика. E-mail: viteban@rambler.ru.

**Шубинцева Евгения Борисовна** – ст. преп. кафедры «Менеджмент и маркетинг» РКП Рудненский индустриальный институт (Казахстан). Направление исследований: повышение эффективности использования кадрового потенциала на горнорудных предприятиях. Тел.: 8 (71431) 91650. E-mail: eval1\_1@mail.ru.



## THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Akshentsev Fedor Ivanovich** – chief of bureau of work, salary and planning of the Sibai underground mine PLC «Uchalinsky GOK», Republic of Bashkortostan, city of Sibay. Phone: (34775) 2-20-06.

**Anikina Valentina Ilyinichna** – Cand.Sc. Engineering, assistant professor of the department «Metallurgy and Heat Treatment of Metals» in Siberian Federal University. Research: Material science and heat treatment of solid and porous metal materials. Phone: (391) 213-32-86.

**Babkin Sergey Engelevich** – PhD, research worker Physical-technical Institute, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia. Direction of science: electromagnetism, acoustics, nondestructive testing. Phone: 8 (3412) 43-00-81. E-mail: emp@fti.udm.ru.

**Chuprova Larisa Vasilyevna** – Candidate of Science (Pedagogics), Assistant Professor of Chemistry and Technology of Packaging Industries Chair FGBOU VPO «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Area of research: formation of personality in the educational process of the Higher Educational Institution. Phone: 8 (3519) 29-85-33. E-mail: lvch67@mail.ru.

**Emeljushin Alexey Nikolaevich** – doctor of technical sciences, professor, head of the department of Material science and Thermal Treatment of Metals, The Magnitogorsk State Technical University. G.I. Nosova. Direction of research: formation of structure and properties of welded joints of pipe steels. E-mail: emelushin@magtu.ru.

**Fedorov Gleb Valentinovich** – teacher of engineering Sciences, Professor of the Department of heating engineering and fluid dynamics of the power engineering faculty of Siberian Federal University, c. Krasnoyarsk. Area of research: mathematical modeling of thermodynamic processes. Phone: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Fedukovich Anatoliy Kirillovich** – associate Professor of engineering Sciences, Professor of the Department of heating engineering and fluid dynamics of the power engineering faculty of Siberian Federal University, c. Krasnoyarsk. Area of research: heat and temperature measurement, the intensification of heat transfer. Phone: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Gibadullin Zakariya Ravgatovich** – director of the Sibai underground mine PLC «Ucha-linsky GOK». Republic of Bashkortostan, city of Sibay. Phone: (34775) 3-41-98. E-mail: oit.sfugok@mail.ru.

**Golementsev Boris Vasilievich** – candidate of economic sciences, Deputy General Director for Production of JSC «OKB Novator», c.Ekaterinburg. Research interests: organization and planning of production processes in a pilot scale production, the management of a comprehensive modernization of the engineering industry in the innovation economy.

**Gorbatova Elena Alexandrovna** – Cand. of Sc., head of the department of «Mine surveying works and Geology» Federal state budgetary institution of higher professional education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Area of research: technological Mineralogy. Phone: (3519) 29 85 42. E-mail: lena\_gorbatova@mail.ru.

**Ilyasov Rustam Sabitovich** – PhD, head of laboratory Physical-technical Institute, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia.

**Ivanov Dmitry Ivanovich** – post-graduate student of engineering Sciences, Professor of the Department of heating engineering and fluid dynamics of the power engineering faculty of Siberian Federal University, c. Krasnoyarsk. Area of research: study of the processes of heat exchange in heat-insulating constructions of

pipelines and equipment, mathematical modeling of thermodynamic processes. Phone: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Kanzychakov Sergey Vasilievich** – director razrezoupravleniya Siberian Coal Energy Company in the Kuznetsk Basin (PC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky). Direction of research: development management in the mining sections. Phone: (38464)2-64-14. E-mail: kanzychakovsv@suek.ru.

**Kazimirov Arthur Albertovich** – engineer for the preparation of production of JSC «OKB Novator», student-applicant is the department of planning and engineering production of the Ural Federal University, c. Ekaterinburg. Research interests: techno-economic analysis of production problems in the organization and planning of production processes and automation of production processes, planning tool industry.

**Korchunov Aleksei Georgievich** – the associate professor, doctor of science (technology), head of the of Metallurgical Plants Mechanical Equipment Department, FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-51. E-mail: agkorchunov@mail.ru.

**Koryagin Yuri Dmitrievich** – doctor of engineering science, professor, head of the Physical Metallurgy and Solid State Physics department, South Ural State University, c.Chelyabinsk. Area of scientific interest: combined alloying and strengthening of steels and light alloys. Phone: (351)2679013. E-mail: main@physmet.susu.ac.ru.

**Kovenskiy Ilya Moiseevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Material Science and Construction Materials Technology», Tyumen State Oil and Gas University. Phone: 8(3452)25-69-09.

**Krishan Anatoly Leonidovich** – Senior lecturer, PhD, head of a chair of Building Construction department, Magnitogorsk state technical university. Researches of concrete filled steel tubes columns. Phone: (3519)29-84-41. E-mail: kris\_al@mail.ru

**Kulikov Andrey Anatolievich** – chief metallurgist, JSC «Tekhnologia-M», c.Chelyabinsk. Area of interest: manufacture of cast products from structural and special alloys. Phone: (351)2398059. E-mail: kulikov69@list.ru.

**Kuskov Konstantin Viktorovich** – post-graduate student at the Department «Material Science and Construction Materials Technology», Tyumen State Oil and Gas University. Phone: 8(3452) 256909. E-mail: lisii@bk.ru.

**Lapaev Vasily Nikolaevich** – cand. techn. sciences, deputy general director of consulting company «Geo-Invest» (Chelyabinsk). Direction of research: efficient high-technology systems quarries. Phone: (351) 265-55-44. E-mail: lapaev@ustup.ru.

**Lysenin Alexander Viktorovich** – the graduate student, Machine-building and Metallurgical Technologies Department, FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov. Phone: (3519) 29-84-81. E-mail: Pak6393@yandex.ru

**Makshukov Farit Hatypovich** – chief of department on the personnel of the Sibai underground mine PLC «Uchalinsky GOK», Republic of Bashkortostan, city of Sibay, Phone: (34775) 2-20-03. E-mail: oit.sfugok@mail.ru.

**Melnichuk Alexander Stanislavovich** – Post-graduate student, Building Construction department, Magnitogorsk state technical university. Researches of concrete filled steel tubes columns. E-mail: amelmgn@gmail.com.

**Mirzaev Dzhahal Aminulovich** – doctor of physical and mathematical science, professor of the Physical Metallurgy and Solid State Physics department, South Ural State University, c.Chelyabinsk. Area of scientific interest: theory of phase



transformations in ferrous alloys. Phone: (351)2679013. E-mail: mirzayev@phymet.susu.ac.ru.

**Mishurina Olga Aleksievna** – the senior lecturer cand. tech. sci., at the department of the chemistry, technologies of packing productions. «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: olegro74@mail.ru.

**Mullina Elvira Rinatovna** – the senior lecturer cand. tech. sci., at the department of the chemistry, technologies of packing productions. «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: e.mullina@inbox.ru.

**Nesterenko Anatoly Mihailovich** – candidate of technical science, senior scientific officer of structure formation and physical problems of Metal Institute of Ferrous Metallurgy of the National Academy of Sciences of Ukraine (Dnepropetrovsk, Ukraine). Email: nestav1946@mail.ru

**Ozhogina Elena Germanovna** – Dr. of geological-mineralogical Sciences, head of the department «Mineralogy», Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific-research Institute of mineral resources named after N.M. Fedorovsky», Moscow. Area of research: technological Mineralogy. Phone: (495) 951-74-49. E-mail: vims-ozhogina@mail.ru.

**Ponomarev Anton Pavlovich** – lecturer of the department «Chemistry, Technologies of Packing Industries» at the Federal State State-financed Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». The area of research: improvement of metal goods service properties by plasma-electrolytic surface treatment. E-mail: antonpon@mail.ru.

**Rassadina Yelena Sergeyevna** – teacher of chair «Mathematical methods in economics», Magnitogorsk State University. Graduate student of Urals State University of Economics, Ekaterinburg. E-mail: lena\_mgn@mail.ru.

**Shecsheev Maxim Alexandrovich** – post-graduate student of the department Material science and Thermal Treatment of Metals, The Magnitogorsk State Technical University G.I. Nosova. Direction of research: formation of structure and properties of welded joints of pipe steels. E-mail: shecsheev@yandex.ru.

**Sherkunov Viktor Georgievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor Department of «Machinery and materials processing pressure» Federal State Funded Educational Institution of Higher Professional Education «South Ural State University» (National Research University), c.Chelyabinsk. E-mail: pmic@susu.ac.ru.

**Sherkunov Viktor Georgievich** – the doctor of engineering science, professor, the head of «Machines and Technologies of Handling Materials by Pressure» department South Ural State University. The area of scientific interest : handling of solid and composite materials by rolling, pressing, dragging. Phone: (351) 267-92-24. E-mail: mitomd@susu.ru.

**Shorokhov Viktor Vladimirovich** – graduate student of the department of economy, commerce and taxation of SEI HVT «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Field of research: development of small business. E-mail: viteban@rambler.ru.

**Shubintseva Evgenia Borisovna** – Senior teacher of chair «Menedzhement and marketing» RGKP Rudnensky Industrial Institute (Kazakhstan). Direction of researches: increase of efficiency of use of personnel potential at the mining enterprises. Phone: 8 (71431) 91650. E-mail: eva11\_11@mail.ru.

**Slepov Valery Matveevich** – head of the department of instrumental JSC «OKB Novator», Ekaterinburg. Research interests: technology tool production, optimization of production planning and purchasing tool in a pilot series production.

**Sokolovsky Aleksandr Valentinovich** – doct. techn. science, deputy general director of PC «NTC-NIIOR» (Chelyabinsk).

Direction of research: design of technological development of existing quarries. Phone: (351) 265-55-48. E-mail: avs@ustup.ru.

**Somova Uliya Vasilevna** – senior lecturer of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-62.

**Steblianko Valery Leont'evich** – Dr.Sci.Tech., prof. of the department «Chemistry, Technologies of Packing Industries» at the Federal State State-financed Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». The area of research: improvement of metal goods service properties by plasma-electrolytic surface treatment. Phone: 29-85-04.

**Sukhomlin Vladimir Ivanovich** – candidate of technical science, associate professor of the department «The Physics of Metals» of the Dneprodzerzhinsk State Technical University (Ukraine). E-mail: alma31@mail.ru.

**Sychkov Aleksandr Borisovich** – Doctor of Engineering, Associate Professor of the Department of Material Science and Thermal Metal Treatment of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Direction of research: formation of structure and properties of welded joints of pipe steels. Phone: 8(3519)298567. E-mail: absychkov@mail.ru.

**Trilyev Anton Evgenievich** – engineer PLC «InEcO» Russia, city of Chelyabinsk. Phone: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

**Truskovsky Viktor Ivanovich** –Ph.D., Associate Professor Department of «Machinery and materials processing pressure» Federal State Funded Educational Institution of Higher Professional Education «South Ural State University» (National Research University), c.Chelyabinsk. E-mail: pmic@susu.ac.ru.

**Usynina Galina Petrovna** – Cand.Sc. Engineering, head of the laboratory ООО «КиК» (Krasnoyarsk). Research: Material science and heat treatment of aluminum-silicon alloys. Phone: (391) 226-70-45.

**Valeev Valery Khakimzyanovich** – Candidate of Technical science, Associate Professor of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-62. E-mail: valeevvh@yandex.ru.

**Vasilyeva Nadejda Fyodorovna** – candidate of economic sciences, associate professor of finance and accounting; the direction of researches – logistics of production stocks at the metallurgical enterprises. E-mail: nfvasilyeva@mail.ru.

**Vidin Yuri Vladimirovich** – candidate of engineering Sciences, Professor of the Department of heating engineering and fluid dynamics of the power engineering faculty of Siberian Federal University, c. Krasnoyarsk. Area of research: modern problems of theoretical and applied heat engineering and thermal physics. Phone: 8(391)249-74-13. E-mail: idi86@inbox.ru.

**Vigriyanov Pavel Georgievich** – cand. of techn. sciences, associate professor of department electrical and automation of production processes State Educational Institution of Higher Professional Education South Ural State University (National Research University), branch in Zlatoust. The direction of research: the electromagnetic processes of multiphase valve engine under normal and emergency operating modes. Phone: 8 (3513) 630172. E-mail: vpg\_postbox@mail.ru.

**Vostroknutova Olga Nikolaevna** – Senior Lecturer Department of Physics, Magnitogorsk State Technical University. Research direction: electromagnetics, acoustics, nondestructive testing. Phone: 8 (3519) 29-84-70. E-mail: olvos@mail.ru.

**Zagirov Nicholay Nailich** – Cand.Sc. Engineering, assistant professor of the department «Metal Forming» (OMD) of the Federal state educational institution of higher learning «Siberian Federal University». Research: shaping of metal bulk. Phone: (391) 213-35-50. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей. Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- **РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.**
- **МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.**
- **ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.**
- **ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**
- **ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.**
- **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.**
- **СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.**
- **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.**
- **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.**
- **ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.**
- **УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.**
- **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.**
- **ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.**
- **ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.**
- **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.**
- **ИНФОРМАЦИЯ и др.**

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы. Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

---

## ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

**I.** Рекомендуемый объем статьи – не более 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) экспертное заключение о возможности опубликования;
- 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 (всё перечислить в одном абзаце);
- 4) аннотацию на английском и русском языках (аннотация должна содержать актуальность, постановку проблемы и пути решения проблемы; необходимо избегать лишних деталей и конкретных цифр; количество слов – 50-100);
- 5) список литературы на английском и русском языках;
- 6) ключевые слова на английском и русском языках.

**II.** Текст статьи, сведения об авторах, реферат, список литературы 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 2003** 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 подписанные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость  $\gamma(t)=I_{n0}/I_{n0}$  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, 22-14-93.

E-mail: rio\_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).