

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Российская академия естественных наук

*Посвящается 80-летию  
Сибирского государственного  
индустриального университета*

**ВЕСТНИК  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

*Сборник научных трудов*

*Издается с 1994 г. ежегодно*

Выпуск 25

Москва  
Новокузнецк  
2010

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)  
ББК 34.3я4  
В 387

**В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 25 / Редкол.: Л.П. Мышляев (главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2010. – 195 с., ил.**

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными и почетными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях, проблем высшего образования.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте

<http://www.sibsiu.ru> в разделе «Издательская деятельность»

Ил. 41, табл. 21, библиогр. назв. 135.

*Редакционная коллегия:* д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН *В.Ж. Аренс*; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Л.П. Мышляев* (главн. редактор), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Г.В. Галевский* (зам. главн. редактора), СибГИУ; д.т.н., проф., чл.-корр. РАЕН *М.В. Темлянецев* (зам. главн. редактора), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, академик РАН *А.В. Елютин*, МИСиС; к.х.н., проф., д.ч. МАНЭБ *Н.М. Кулагин*, СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *В.А. Роменец*, МИСиС; к.х.н., проф., советник РАЕН *В.В. Руднева* (отв. секретарь), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *В.С. Стрижко*, МИСиС; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Г.И. Эскин*, ВИЛС.

*Рецензент:* профессор, доктор технических наук, д.ч. МАН ВШ *С.М. Кулаков*

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)  
ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2010

## СВЕДЕНИЯ О РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Анохина Н.К.	д-р культурологи, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Быстров В.А.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАЕН, НФИ КемГУ, г. Новокузнецк
Воскресенская Т.П.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Горюшкин В.Ф.	д-р хим. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Громов В.Е.	д-р физ.-мат. наук, проф., д.ч. Международной академии энерго-информационных наук, СибГИУ, г. Новокузнецк
Зуев Л.Б.	д-р физ.-мат. наук, проф., Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск
Никитин А.Г.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Перетяцько В.Н.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. АИН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Селянин И.Ф.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Черепанов К.А.	д-р техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, чл.-корр. САН ВШ, СибГИУ, г. Новокузнецк

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	7
<b>МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ</b> .....	8
<i>Ю.В. Горюшкина, С.В. Зенцова, Г.М. Тираков, Г.Л. Борщевская, В.Ф. Горюшкин</i>	
Синтез и термические константы плавления бромида эрбия (III).....	9
<i>В.М. Павловец</i>	
Исследование капиллярной пропитки зародышевых образцов, сформированных по технологии принудительного зародышеобразования.....	15
<i>В.М. Павловец</i>	
Исследование процесса получения окатышей, структурно содержащего операцию принудительного зародышеобразования .....	22
<i>В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина, О.Е. Дмитровская</i>	
Прогнозирование процесса кристаллизации металлических расплавов для повышения качества литья.....	33
<i>А.Г. Никитин, В.М. Пятов</i>	
Анализ существующих и перспективы развития способов вскрытия чугунной лётки доменной печи.....	38
<i>А.А. Уманский, Н.А. Чернышева</i>	
Исследование влияния состава исходной металлической шихты на качество конвертерной стали.....	42
<i>И.Ф. Селянин, А.В. Феокистов, С.А. Бедарев</i>	
Расчет оптимальных параметров воздуходувных устройств при проектировании ваграночной установки.....	48
<i>Г.В. Галевский, В.С. Кондратенко</i>	
Анализ расчетных методов определения выхода алюминия по току при его электролитическом производстве.....	56
<i>О.Л. Базайкина, М.В. Темлянцев</i>	
Задача об остывании стального бруса с сечением в виде правильного многоугольника.....	61
<i>М.В. Филиппова, А.В. Бахаев, Г.С. Котлов, В.Н. Перетяцько</i>	
Малоотходная штамповка из шаровой заготовки.....	67
<i>В.Н. Перетяцько, М.В. Темлянцев, А.В. Бахаев</i>	
Исследование теплового состояния шаровой и цилиндрической заготовок при нагреве под горячую объемную штамповку.....	71
<i>М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, Г.С. Котлов, А.А. Фёдоров, А.В. Бахаев</i>	
Малоотходная технология штамповки осесимметричных поковок из шаровых заготовок.....	83

<b>ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....</b>	<b>87</b>
<i>К.А. Черепанов, М.В. Темлянецов, И.Г. Бычков, Д.Е. Зимин, Е.Н. Темлянцева</i>	
Тепловая эффективность сверхжестких базальтоволоконистых плит .....	88
<b>ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>91</b>
<i>И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько</i>	
Расчет энергии связи гомоядерных двухатомных молекул ( $A_2$ ) по методу постоянной электронной плотности (ПЭП).....	92
<i>Н.В. Котова, С.В. Коновалов, В.Е. Громов, Л.Б. Зуев, В.Г. Кондратьев</i>	
Роль длительности подключения электрического потенциала к меди в изменении ее микротвердости.....	103
<i>И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько</i>	
Расчет энергии связи и число свободных электронов в щелочных металлах по методу постоянной электронной плотности (ПЭП).....	106
<i>И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько</i>	
Межатомное расстояние в молекулах и кристаллах в зависимости от коэффициента компактности упаковки атомной или молекулярной ячейки.....	116
<i>С.А. Невский, С.В. Коновалов, В.Е. Громов</i>	
О влиянии слабых электрических потенциалов на релаксацию напряжений в алюминии.....	119
<b>ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....</b>	<b>123</b>
<i>В.А. Быстров, Н.И. Новиков, Д.А. Некрасов</i>	
Антикризисная инновационно-инвестиционная стратегия развития металлургических компаний.....	124
<i>В.А. Быстров, Р.С. Ермолаев, А.В. Стак</i>	
Проблемы развития металлургических комбинатов юга Кузбасса и возможности снижения издержек производства металлопродукции.....	131
<i>Л.Е. Сидорова, С.В. Сидоров, Р.Я. Шарафутдинов</i>	
Некоторые вопросы экономики знаний.....	138
<i>Т.П. Воскресенская, О.Д. Покровская</i>	
Концептуальные основы создания в регионе единого транспортно-экспедиционного пространства на примере металлургической отрасли Кузбасса.....	143
<i>Т.П. Воскресенская, О.Д. Покровская</i>	
О методике проектирования сети логистических центров в регионе... ..	150
<i>Ю.К. Осипов, О.В. Матехина</i>	
Экологическое равновесие в жилом доме – это комфорт и безопасность жилых и рабочих пространств.....	156
<i>Ю.К. Осипов, О.В. Матехина</i>	
Экология жилого пространства.....	160

<b>ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....</b>	<b>167</b>
<i>Н.К. Анохина</i>	
Методологические аспекты современного инженерного образования.....	168
<i>Л.Г. Рыбалкина, А.В. Феокистов, М.Е. Калинин, Н.А. Каталкина</i>	
О модели подготовки выпускников к выходу на рынок труда в посткризисной экономике.....	174
<i>Е.Г. Оршанская</i>	
Организация контроля при изучении иностранного языка.....	179
<i>Н.Е. Анохина, Э.С. Гершгорин</i>	
Некоторые прикладные аспекты обучения праву в техническом вузе.....	183
<i>Ю.В. Ларченков-Казанович, Н.Б. Яновская</i>	
Проблемы математической подготовки инженеров в техническом университете.....	188
<b>К сведению авторов.....</b>	<b>193</b>

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

25-й выпуск сборника научных трудов «ВЕСТНИК ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК. ОТДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИИ» включает результаты научных исследований в области металлургии, металлостроения, физики металлов, экономики, экологии и проблем высшего профессионального образования.

В состав авторских коллективов, помимо исследователей ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», вошли сотрудники ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова, Новокузнецкого филиала-института ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет» (г. Новокузнецк), Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской Академии Наук, (г. Томск), Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской Академии Наук (г. Бийск).

Исследования авторских коллективов, результаты которых публикуются в настоящем сборнике, посвящены развитию теории и совершенствованию технологий металлургических процессов и производств, изучению строения и свойств металлов и сплавов. Отдельные разделы сборника содержат разработки перспективных направлений в сфере высшего профессионального образования, экономики, управления и экологии на предприятиях.

Редакционная коллегия благодарит авторов, за предоставленный материал, и приглашает принять участие в очередном 26-м выпуске сборника научных трудов.

**МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ  
И СПЛАВОВ**



УДК 546.666'141(546.05+548.226)

Ю.В. Горюшкина, С.В. Зенцова, Г.М. Тираков,  
Г.Л. Борщевская, В.Ф. Горюшкин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## СИНТЕЗ И ТЕРМИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ПЛАВЛЕНИЯ БРОМИДА ЭРБИЯ (III)

Взаимодействием металлического эрбия с парами брома синтезированы образцы  $\text{ErBr}_3$ . Проведена их идентификация методами химического и рентгенофазового анализов. Методом количественного ДТА для  $\text{ErBr}_3$  определены температура и энтальпия плавления:  $T_m(\text{ErBr}_3)=1200\pm 3\text{K}$  ( $P=0,95$ ;  $f=15$ );  $\Delta_m H^\circ(\text{ErBr}_3)=2,6\pm 5$  кДж·моль<sup>-1</sup>; а затем рассчитана энтропия плавления:  $\Delta_m S^\circ(\text{ErBr}_3)=28,3\pm 3,4$  Дж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

Samples of  $\text{ErBr}_3$  are prepared by bromination of erbium metal by bromine vapor and identified by chemical and X-ray diffraction analyses. The melting point [ $T_m(\text{ErBr}_3) = 1200\pm 3\text{K}$  ( $P=0,95$ ;  $f=15$ )] and the enthalpy of melting [ $\Delta_m H^\circ(\text{ErBr}_3) = 2,6\pm 5\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ] are determined by DTA; the entropy of melting is calculated:  $\Delta_m S^\circ(\text{ErBr}_3) = 28,3\pm 3,4$  J·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>.

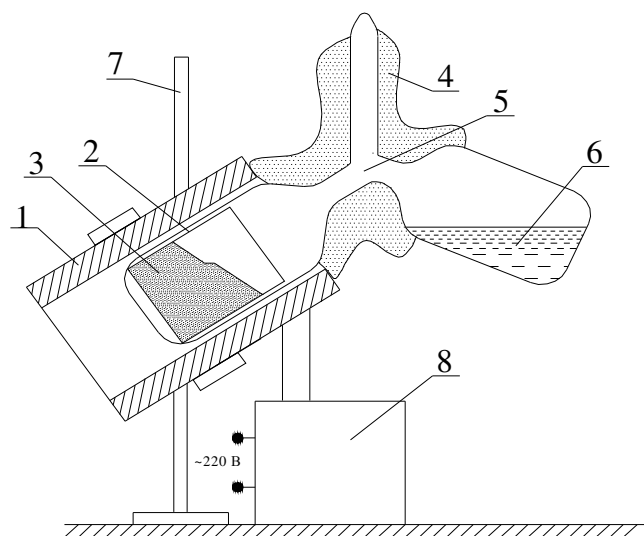
В теоретическом отношении интерес к систематическому экспериментальному определению свойств соединений лантанидов обусловлен возможностью выявления новых особенностей и уточнения общих закономерностей в лантанидном ряду. Сфера практического применения этих соединений постоянно расширяется и потенциальные возможности использования в высокотехнологичных областях раскрыты далеко не полностью. Значительная часть технологий включает высокотемпературные химические процессы, поэтому определение и уточнение термических свойств галогенидов лантанидов по единой методике является актуальным. Настоящая работа посвящена определению констант плавления  $\text{ErBr}_3$ .

По литературным данным температура плавления  $\text{ErBr}_3$  варьируется от 1196К [1] до 1223К [2], энтальпия плавления экспериментально не определена.

### Экспериментальная часть

**Синтез.** Основная проблема изучения характеристик плавления  $\text{LnBr}_3$  связана с трудностью приготовления безводных солей и предотвращением их взаимодействия с атмосферой и материалом контейнера в ходе синтеза и экспериментов.

Нами разработан способ получения высокочистого безводного бромида эрбия из металлического эрбия и брома и устройство для его осуществления – вакуумированный двухсекционный кварцевый реактор (рисунок 1).



- 1– печь; 2 – кварцевый тигель; 3 – металлический эрбий, а при завершении синтеза – бромид эрбия; 4 – утеплитель из асбестового шнура; 5 – вакуумированный кварцевый реактор; 6 – бром; 7 – штатив для закрепления печи; 8 – лабораторный автотрансформатор

**Рисунок 1 – Схема установки для бромирования лантанидов**

В левую секцию реактора, в кварцевый тигель, помещали опилки металлического эрбия (ЭрМ-1) массой 7-9 г. В правую секцию заливали  $\sim 20 \text{ см}^3$  брома (хч). Бром для реакции с металлом брали в избытке. Реактор на короткое время ( $\sim 0,5$  мин) соединяли с работающим вакуумным насосом и отпайвали при откачке. Секцию с металлом реактора помещали в электрическую печь сопротивления, которую постепенно, в течение 5 суток с промежуточными изотермическими выдержками нагревали до  $\sim 800\text{К}$ . При этом секция реактора с бромом нагревалась до температуры кипения брома за счет теплоты печи секции реактора с металлом.

Охлаждение реактора начинали с секции с бромом. Для этого к ней подносили сосуд Дьюара с жидким азотом и постепенно погружали в жидкий азот. Затем печь снимали и охлаждали секцию с полученным бромидом на воздухе до комнатной температуры. Охлаждённый реактор с твёрдым бромом быстро переносили в сухой бокс, разбивали, отделяя правую секцию; правую секцию со слитком брома помещали в герметичный контейнер, а бромид  $\text{ErBr}_3$  извлекали из тигля и измельчали в ступке. В кварцевом тигле реактора бромид эрбия выглядел как умеренно спекшийся «пирог» розовой окраски, причём его объём был гораздо больше объёма исходного порошка металла, но он не касался боковых стенок тигля.

Косвенным доказательством отсутствия значительного взаимодействия между исходным металлом и кварцем, а также бромидом и кварцем при со-

блюдении режимных параметров синтеза является сохранение прозрачности кварца и возможность использования одного и того же тигля в нескольких последовательных синтезах.

Полученный в двухсекционном кварцевом реакторе продукт очищали вакуумной дистилляцией. Для этого вещество помещали в кварцевый реактор специальной формы, который имел секцию для сбора возогнанного вещества. Дистилляцию проводили при 1450 К в течение 3-4 ч, затем реактор охлаждали, отпайвали и переносили в сухой бокс для извлечения бромида.

При растворении очищенного  $\text{ErBr}_3$  в воде (~ 0,2 г на 10 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ) образовывался прозрачный раствор, что предварительно указывает на отсутствие оксидов и оксидбромидов эрбия.

По описанному выше способу проводили три параллельных синтеза вещества  $\text{ErBr}_3$ .

**Химический анализ.** В химическом методе анализа для определения содержания бромид-ионов использовали осадочный гравиметрический анализ (весовая форма  $\text{AgBr}$ ), а для определения эрбия – прямое комплексонометрическое титрование раствором трилона Б с визуальной индикацией точки стехиометричности. Проанализировали вещество второго синтеза.

В полученном веществе:

	Er	Br
Найдено, %:	40,90±0,20	58,80±0,11
Для $\text{ErBr}_3$ вычислено, %	41,10	58,90
Суммарное содержание элементов:	99,70±0,23% (P=0,95;f=4).	

Результат химического анализа подтверждает пригодность разработанного способа для получения высокочистого бромида эрбия.

**Рентгенофазовый анализ.** Рентгеновскую съемку порошка бромида эрбия (III) проводили на дифрактометре ДРОН-2.0 в стандартной кварцевой кювете. Кювету заполняли в сухом боксе свежеприготовленной солью и герметично закрывали влагонепроницаемой пленкой. Параметры съемки:  $\text{FeK}_\alpha$ - излучение, скорость вращения счетчика – 2 град·мин<sup>-1</sup>, скорость перемещения диаграммной ленты – 720 мм·час<sup>-1</sup>. В измеренные значения  $d$  вводили поправку по методу внутреннего стандарта, в качестве последнего использовали растертый в порошок монокристалл  $\alpha\text{-SiO}_2$ .

Рентгенофазовым анализом установили монофазность исследуемого вещества. Найденные нами дифракционные характеристики  $\text{ErBr}_3$  (23 линии) приведены в таблице 1. Из данных таблицы 1 следует, что кристаллы  $\text{ErBr}_3$  текстурированы по плоскости [001].

Индицирование линий проводили в предположении гексагональной сингонии. Структурный тип устанавливали по сходству дифракционной картины, параметров элементарной ячейки и их соотношения с представителями, описанными в литературе. По нашим данным  $\text{ErBr}_3$  имеет гексагональную кристаллическую решетку с параметрами:  $a = 7,035 \pm 0,002 \text{ \AA}$ ,  $c = 19,197 \pm 0,008 \text{ \AA}$ ; координационное число  $Z = 6$ ; рентгеновская плотность  $D_x = 4,927 \text{ г·см}^{-3}$ ; пространственная группа S.G. R3 (148); структурный тип –  $\text{FeCl}_3$ .

**Таблица 1 – Дифракционные характеристики образца  $\text{ErBr}_3$**

$d, \text{Å}$	I	$hkl$	$d, \text{Å}$	I	$hkl$
6,40	100	003	1,471	<1	309
5,81	3	101	1,357	1	229
3,52	2	110	1,302	<1	413
3,20	54	006	1,2798	5	00 <u>15</u>
3,08	12	113	1,2567	4	30 <u>12</u>
2,37	12	116	1,2277	<1	416
2,13	32	009	1,2027	6	11 <u>15</u>
2,03	2	300	1,1725	<1	330
1,824	11	119	1,1283	1	149
1,696	<1	223	1,0827	<1	30 <u>15</u>
1,559	62	00 <u>12</u>	1,0348	1	22 <u>15</u>
1,541	1	226			

**ДТА.** ДТА-кривые образцов бромида эрбия записывали на дериватографе системы Паулик, Паулик, Эрдей со скоростью нагревания и охлаждения 10 К/мин при чувствительности ДТА 1/5.

На спаи термопар устанавливали цилиндрические вакуумированные кварцевые сосуды (ампулы) с веществом  $\text{ErBr}_3$  (образец) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (эталон). Ампула предохраняет вещество  $\text{ErBr}_3$  от воздействия окружающей среды, а одинаковые ампулы для образца и эталона призваны обеспечивать одинаковые условия нагревания для термопар во время опыта.

При проведении ДТА-измерений и ограничении площадей пиков на ДТА-кривых учитывали рекомендации Комиссии по стандартизации Международной конференции по термическому анализу (ИСТА) [3].

Энтальпию превращения рассчитывали по уравнению:

$$\Delta_m H^\circ = \frac{S}{s \cdot n}, \quad (1)$$

Где  $S$  – площадь пика ДТА,  $\text{см}^2$ ;  $s$  – инструментальная постоянная, равная площади термического эффекта, соответствующего изменению энтальпии образца на 1 кДж при условиях опыта,  $\text{см}^2/\text{кДж}$ ;  $n$  – количество испытуемого вещества, моль.

Способ калибровки прибора ДТА и градуировки термопары описан нами в работе [4]. Приведём только градуировочные уравнения:

$$T, \text{K} = 580 + 34,0 h, \quad (2)$$

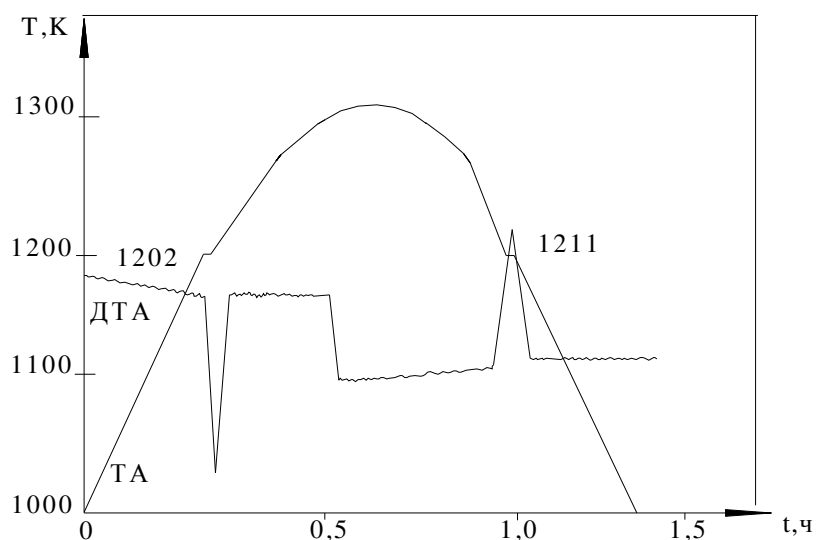
где  $h$  – расстояние от нулевой линии до площадки, соответствующей превращению на ТА – кривой;

$$S_{\text{нагрев}} = -17,7 + 0,0408T_m + 5,04m, \quad (3)$$

$$S_{\text{охлажд}} = 9,19 + 0,0211T_m + 4,9m, \quad (4)$$

где  $S_{\text{нагрев}}$  и  $S_{\text{охлажд}}$  – инструментальная постоянная в уравнении (1) в зависимости от температуры плавления  $T_m, K$  и массы образца  $m, g$  соответственно для данных нагревания и охлаждения.

Для определения термических констант плавления  $ErBr_3$  записывали 8 ДТА-кривых (рисунок 2), используя в образцах вещества всех трёх параллельных синтезов (партий).



**Рисунок 2 – Типичная ДТА – кривая образца  $ErBr_3$**

Из таблицы 2 следует, что  $ErBr_3$  не склонен к переохлаждению, поэтому температуру плавления определяли совместной обработкой результатов нагревания и охлаждения.

**Таблица 2 – Результаты ДТА-измерений образцов  $ErBr_3$**

№* ДТА- кривой	Масса образца $m, g$	Нагревание				Охлаждение			
		$h, cm$	$T_m, K$	$s, cm^2/кДж$	$\Delta_m H^\circ, кДж/моль$	$h, cm$	$T_m, K$	$s, cm^2/кДж$	$\Delta_m H^\circ/кДж/моль$
1 – 1 – 1	1,46450	17,8	1185,2	38,04	41,37	18,35	1203,9	41,77	22,16
1 – 1 – 2	1,46450	17,7	1181,8	37,90	24,54	18,40	1205,6	41,80	19,91
2 – 1 – 1	0,89310	18,3	1202,2	35,85	39,30	18,55	1210,7	39,11	31,68
2 – 1 – 2	0,89310	18,1	1195,4	35,57	35,62	18,55	1210,7	39,11	35,96
2 – 1 – 3	0,89310	18,1	1195,4	35,57	35,10	18,35	1203,9	38,97	34,60
3 – 1 – 1	1,20055	17,9	1188,6	36,85	19,81	18,40	1205,6	40,51	16,10
3 – 1 – 2	1,20055	17,8	1185,2	36,71	17,62	18,40	1205,6	40,51	15,03
3 – 1 – 3	1,20055	18,1	1195,4	37,12	17,61	18,40	1205,6	40,51	14,73
средние значения			1191,2		25,05		1206,4		26,74

Примечание: \* Первая цифра в номере ДТА-кривой означает номер партии, вторая – номер образца, а третья – какой по счёту раз нагревается данный образец.

Энтальпии плавления, полученные при нагревании и охлаждении образцов, также составляют одну область рассеяния. Их статистически обработа-

ли совместно, исключив, предварительно, по два результата (обозначены в таблице 2 курсивом) на противоположных концах интервала рассеяния.

По нашим данным  $\text{ErBr}_3$  плавится при  $1200 \pm 3 \text{ K}$  ( $P=0,95$ ;  $f = 15$ ). Что подтверждает данные [1]. Энтальпия плавления равна:  $\Delta_m H^\circ(\text{ErBr}_3) = 26 \pm 5 \text{ кДж/моль}$  ( $P=0,95$ ;  $f=11$ ). По энтальпии и температуре плавления рассчитывали энтропию плавления:  $\Delta_m S^\circ(\text{ErBr}_3)=22 \pm 4 \text{ Дж/мольК}$ . Результаты измерений приведены в таблице 2.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spedding F.H., Daane A.H. The Rare-Earth Metals// Metallurgical Reviews, 1960. V.5, No. 19. – P. 297 – 341.
2. Термические константы веществ: Справ. Вып.8/ Под ред. В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. М.: Наука, 1978. 525 с.
3. Шестак Я. Теория термического анализа. М.: Мир, 1987. – С. 318.
4. Горюшкин В.Ф., Пошевнева А.И., Винокурова Н.Г. Термические константы плавления иодида гольмия // Журн. неорган. химии, 1996. Т.41. №9. – С. 1534 – 1536.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ПРОПИТКИ ЗАРОДЫШЕВЫХ ОБРАЗЦОВ, СФОРМОВАННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ

Установлены основные закономерности капиллярной пропитки шихтовых образцов, полученных из плотного напыленного слоя шихты по технологии принудительного зародышеобразования. Уменьшение скорости капиллярной пропитки зародышей в процессе формирования оболочки окатышей можно обеспечить, используя влажные шихты с размером частиц менее 0,1 мм и зародыши с более высокой плотностью. Причем для обеспечения пониженной влажности центральных слоев окатыша плотность зародыша (3000-3400 кг/м<sup>3</sup>) должна превышать плотность шихтовой оболочки (2400-2800 кг/м<sup>3</sup>).

The basic laws of capillary impregnation charge the samples received from a dense raised dust layer charge on technology compulsory formation of the germs are established. During formation of an environment peiette it is possible to provide reduction of speed of capillary impregnation of germs, using damp charge with the size of particles less than 0,1 mm and germs with higher density. And for maintenance of the lowered humidity of the central layers pelette the density of a germ (3000-3400 kg/m<sup>3</sup>) should exceed density charge environments (2400-2800 kg/m<sup>3</sup>).

Влажные железорудные окатыши с пониженным содержанием влаги, полученные после окомкования шихты, обладают более высокой термостойкостью при сушке и позволяют частично снизить тепловые ограничения при обжиге [1]. Снижая влажность на 1 %, можно на эту величину повысить производительность обжигового агрегата [1], снизить длительность сушки и протяженность низкотемпературных зон конвейерной ленты. Площадь двух зон сушки составляет более 20 % от общей площади обжигового конвейера. Пониженная влажность окатышей может быть обеспечена, например, за счет уменьшения влажности зародышевой (центральной) части окатыша в процессе принудительного зародышеобразования. Поэтому традиционная схема получения железорудных окатышей с подобным распределением влаги может быть усовершенствована. В частности, процесс зародышеобразования при окомковании влажной шихты предлагается организовать принудительно – методом напыления влажной шихты сжатым воздухом на гарнисаж оком-

кователя с последующим разделением плотного напыленного слоя шихты на мерные фрагменты – зародыши. Для этого загружаемая шихта делится на два потока. Первый поток П1 участвует в зародышеобразовании, второй поток шихты П2 подается на формирование оболочки. Технология получения окатышей достаточно хорошо отработана в лабораторных условиях [2]. Влажность зародышей, полученных по этой технологии, на 0,5 – 3,0 % ниже, чем влажность напыляемой шихты, подаваемой в окомкователь. Следующей после зародышеобразования технологической операцией является формирование оболочки окатышей на поверхности зародыша. Для того, чтобы произошло формирование оболочки до размеров кондиционного окатыша, поверхность зародыша на глубину около 1-2 мм должна быть переувлажнена до рабочей влажности, которая на 0,5-2,5 % выше влажности шихты, загружаемой в окомкователь с потоком П2. Величина рабочей влажности составляет 0,5 от максимальной капиллярной влагоемкости –  $W_{МКВ}$  [3]. После увлажнения поверхности зародышей и формирования фронта переувлажнения на поверхность интенсивно налипают влажная шихта потока П2 и происходит рост оболочки окатыша. Увлажнение поверхности зародышей до необходимой влажности приводит к неблагоприятному вторичному увлажнению поверхностного слоя зародыша. Влажность центральных слоев зародыша также способна уменьшаться за счет капиллярной пропитки, скорость которой зависит от градиента влажности материала между поверхностью и центром, начальной влажности, размеров частиц шихты и плотности зародыша. Этот процесс может влиять на скорость формирования оболочки окатышей, влажность зародыша и всего сформированного окатыша.

При этом фронт переувлажнения в процессе непрерывной подачи увлажнителя и шихты перемещается с некоторой скоростью от поверхности зародыша в направлении оболочки окатыша. Одновременно с этим происходит перенос влаги с фронта переувлажнения, находящегося в первый момент времени на поверхности зародыша, в глубину зародыша за счет капиллярной пропитки (капиллярного всасывания). Для того, чтобы ограничить капиллярную пропитку центральной области зародыша и тем самым, сохранив его пониженную влажность, необходимо оценить скорость переноса влаги по капиллярам зародыша. Для этого можно использовать технологические приемы (место и интенсивность увлажнения, скорость и зона подачи загружаемой шихты и др.) и способы воздействия на структуру (пористость, размер пор) зародышей при принудительном зародышеобразовании. От скорости капиллярной пропитки, в свою очередь, будут зависеть размеры зародышей и их плотность, что повлияет на параметры аппаратного оформления технологии принудительного зародышеобразования.

Целью работы является определение скорости капиллярной пропитки образцов, полученных напылением влажной железорудной шихты на шихтовый гарнисаж окомкователя.

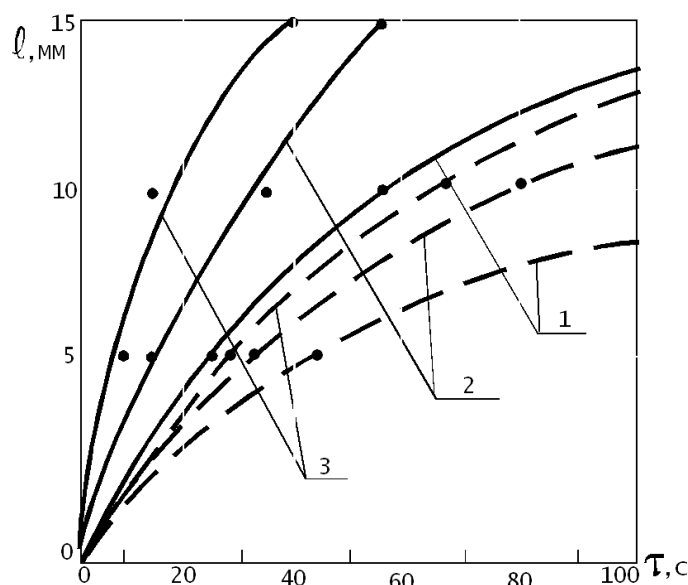
В качестве испытуемых материалов применяли сухую шихту, цилиндрические образцы диаметром и высотой 15 мм, полученные напылением



воздушношихтовой струей на шихтовый гарнисаж, и образцы, полученные прессованием на гидравлическом прессе. Последние образцы применяли для сопоставимости результатов экспериментов. Техника получения шихтовых образцов из плотного напыленного слоя подробно описана в работе [4]. Методика измерения капиллярной пропитки была заимствована в работе [5] с некоторыми изменениями. Для ее реализации в экспериментах с сухой шихтой применяли тонкую стеклянную трубку внутренним диаметром 15 и высотой 50 мм. Нижний конец трубки закрывали марлей и засыпали шихту, формируя насыпку высотой 15 мм. Нижний конец трубки опускали в воду на глубину 1 мм. Шихта была сформирована из тейского железорудного концентрата и 1 % бентонита. Влажность шихты изменяли от 0 до 6 %. При более высокой влажности шихты затрудняется визуальный контроль за фронтом перемещения влаги. Во избежание разрушения и деформации цилиндрических образцов, обусловленных усадочными процессами во время экспериментов, их предварительно обертывали гибкой прозрачной пленкой, в которой была выполнена вертикальная прорезь шириной 5 мм, облегчающая визуальное наблюдение за перемещением фронта влаги по высоте образца. Средний размер частиц  $\bar{d}_ч$  шихты Ш1 составлял  $\bar{d}_ч=0,068$  мм. Для сопоставимости результатов использовали шихту Ш2 этого месторождения с более мелкими частицами –  $\bar{d}_ч = 0,025$  мм ( $d_ч = 0-0,05$  мм), а также шихты узкого фракционного состава частиц:  $\bar{d}_ч = 0,056$  мм ( $d_ч = 0,05-0,063$  мм),  $\bar{d}_ч = 0,082$  мм ( $d_ч = 0,063-0,10$  мм),  $\bar{d}_ч = 0,15$  мм ( $d_ч = 0,10-0,20$  мм). Перед опытом у сыпучих материалов и образцов определяли плотность и влажность. Эксперимент начинался после того, когда нижний конец трубки с шихтой или цилиндрический образец опускали в воду на глубину 0,5-1,0 мм. На этой глубине влажность шихты соответствовала максимальной капиллярной влагоемкости ( $W_{МКВ}$ ). Для шихт Ш1 и Ш2, используемых в экспериментах, ее значение составило 22,5 и 18,4 % соответственно. Температура воды составляла 18-20 °С. Под действием капиллярных сил проходила капиллярная пропитка вышележащих слоев образца с более низкой или нулевой влажностью, сопровождаемая потемнением материала, и влага поднималась вверх. Границу распространения фронта влаги фиксировали визуально через стенку трубки (сыпучий материал) и через прорезь в стенке ленты для образцов. По отношению высоты поднятия уровня влаги  $l$ , мм, и периоду времени  $\tau$ , с, определяли вертикальную скорость ( $v$ , мм/с) капиллярной пропитки образца или засыпки из сыпучих материалов. Анализ результатов и расчет скорости капиллярной пропитки проводили для трех уровней образца и насыпки: 0-5 мм (уровень I и соответствующая ему скорость,  $v_1$ ); 5-10 мм (уровень II,  $v_2$ ) и 10-15 мм (уровень III,  $v_3$ ), учитывая, что для каждого уровня значение  $l$  было постоянным ( $l_1=l_2=l_3=l=5$  мм), а менялось только  $\tau$  в каждом периоде.

Кинетика капиллярной пропитки сыпучих материалов (насыпок) показана на рисунке 1. Изменение скорости капиллярной пропитки сыпучих материалов, рассчитанной по данным рисунка 1 показано на рисунке 2. Зависимость  $v$  образцов от их плотности представлено на рисунке 3.

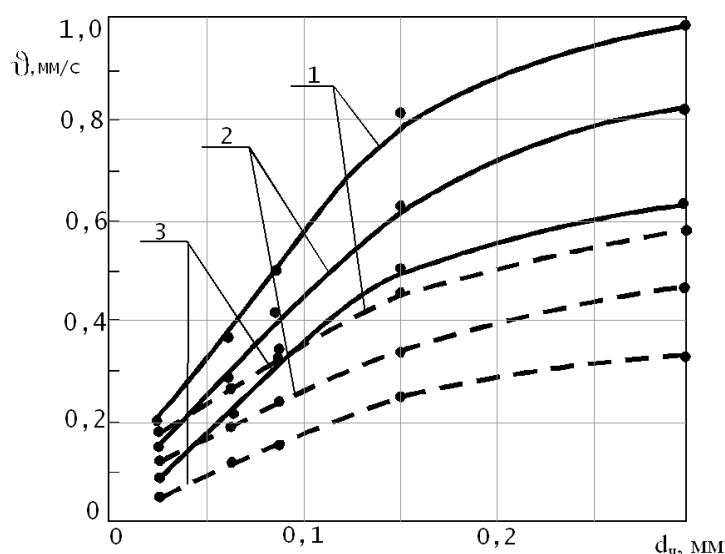
Установили, что на уровне I насыпок (рисунок 2) и образцов (рисунок 3) на расстоянии 0-5 мм для всех материалов с любым размером частиц скорость капиллярной пропитки максимальная. В частности, для образцов с размером частиц  $d_{ч} = 0,068$  мм и плотностью  $\rho_{ОБР}^0 = 2400$  кг/м<sup>3</sup> она составляет 0,42 мм/с. Если ее принять за единицу, то на последующих уровнях образца скорость капиллярной пропитки уменьшится до 0,29 и 0,18 мм/с, т. е. в 1,45 и 2,33 раза. Причиной этого является снижение движущих сил капиллярной пропитки и противодействие гидростатического давления столба жидкости в порах капиллярному давлению влаги [5]. В образцах с более высокой плотностью и, соответственно, меньшей пористостью скорость капиллярной пропитки уменьшается. Например, на III уровне образцов (10-15 мм)  $v$  падает с 0,18 мм/с для  $\rho_{ОБР}^0 = 2400$  кг/м<sup>3</sup> до 0,1 мм/с для  $\rho_{ОБР}^0 = 3200$  кг/м<sup>3</sup>, т. е. почти в 1,64 раза.



**Рисунок 1 – Кинетика капиллярной пропитки насыпных шихт:**  
 $W_{ОБР} = 0\%$  - сплошные линии,  $W_{ОБР} = 6,0\%$  - пунктирные линии.  
 Размер частиц шихты;  $\bar{d}_{ч}$ , мм: 1-0,025; 2-0,056; 3-0,082

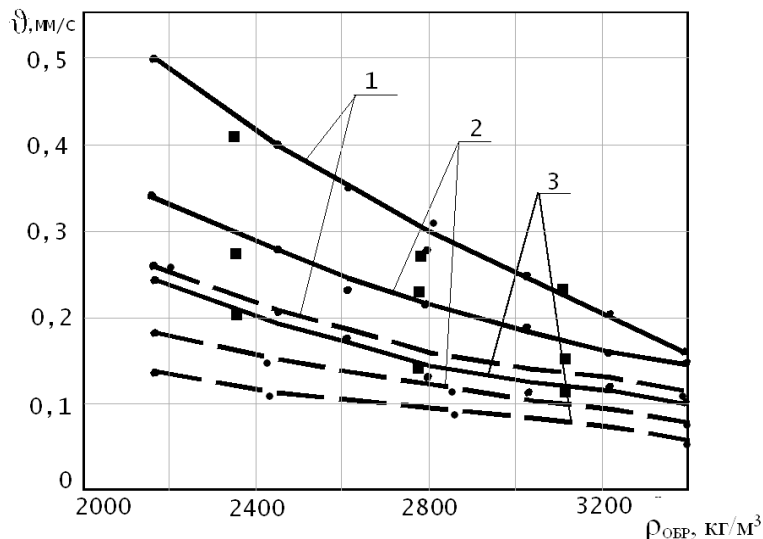
У брикетов, сформированных из более тонкой шихты Ш2  $\bar{d}_{ч} = 0,025$  мм, диаметры капилляров уменьшаются примерно в 1,5-2,0 раза, (при  $\rho = \text{const}$ ), что ослабляет интенсивность капиллярной пропитки почти в 1,7-1,8 раза с 0,18 мм/с до 0,11 мм/с (уровень Ш). Подобные результаты получены для прессовок, сформированных из шихт с различной крупностью частиц (рисунок 2) и образцов с различной плотностью (рисунок 2). Причем наиболее интенсивно скорость капиллярной пропитки снижается с 0,71 мм/с до 0,2 мм/с в интервале крупности частиц, равных 0,05-0,12 мм (рисунок 1). В прессовках, полу-

ченных из шихт крупностью менее 0,05 мм, скорость капиллярной пропитки еще больше замедляется. Аналогичные выводы сделаны в работе [5], где для магнитного концентрата с размером частиц менее 0,05 мм при  $\ell = 5-10$  мм получена скорость капиллярной пропитки на уровне 1,0 мм/с, а для насыпного материала с  $d_{\text{ч}} = 0,10-0,16$  она составляет - 5,0 мм/с. Повышение плотности прессовок  $\rho_{\text{БР}}^0$  с 2600 до 3200 кг/м<sup>3</sup> вызывает уменьшение общей пористости и размеров капилляров и снижает  $v$  для всех шихт с различной крупностью частиц. Причем в интервале размеров частиц  $\bar{d}_{\text{ч}} = 0,05-0,12$  мм, как и для насыпок, снижение  $v$  наиболее интенсивное.



**Рисунок 2 – Влияние размера частиц шихтовых насыпок на скорость капиллярной пропитки.  $W_{\text{ОБР}} = 0\%$  - сплошные линии,  $W_{\text{ОБР}} = 6,0\%$  - пунктирные линии**

В процессе капиллярной пропитки сухих насыпок и образцов их влажность повышается, что приводит к перегруппировке частиц и усадке материала. Наибольшая усадка зафиксирована у свободно насыпанных шихт. У шихты Ш1 в среднем она составляет 10,5-12,5 %, для более тонких шихт – Ш2 она повышается до 15,1-16,6 %. Подобная тенденция характерна и для сформованных образцов. Однако уровень усадки у них существенно ниже и, в частности, для образцов плотностью 2780-2820 кг/м<sup>3</sup> она не превышает 2,24-2,73 %. Возможное влияние усадки на скорость капиллярной пропитки заключается в том, что первоначально усадочные процессы, сопровождаемые уплотнением массы, протекают на наиболее увлажненном уровне I, где снижение общей пористости затрудняет перенос влаги на уровнях II и III, что особенно заметно для насыпок (рис. 1) и образцов с низкой плотностью 2000-2800 кг/м<sup>3</sup> (рис. 3). У образцов с плотностью более 2800 кг/м<sup>3</sup> (рис. 3) усадочные процессы развиты слабее, поэтому скорости капиллярной пропитки для всех уровней отличаются незначительно. Например, у образцов плотностью 3380 кг/м<sup>3</sup> скорости пропитки на I, II и III уровнях достаточно близки и составляют соответственно 0,16; 0,15; 0,11 мм/с.



**Рисунок 3 – Влияние плотности образцов на скорость капиллярной пропитки.  $W_{\text{обр}} = 0\%$ . Сплошные линии – шихта Ш1 ( $\bar{d}_q = 0,068$  мм), штриховые шихта Ш2 ( $\bar{d}_q = 0,025$  мм). Уровни образца, мм: 1 – 0...5; 2 – 5...10; 3 – 10...15; ● – напыленные; ■ – прессованные образцы**

В образцах, содержащих некоторое количество влаги, например  $W_{\text{БР}}^0 = 4,10\%$  и  $6,06\%$ , скорость капиллярной пропитки материала заметно снижается (рисунки 1, 2). Уменьшение скорости капиллярной пропитки влажных образцов обусловлено частичным заполнением капилляров водой. Она снижает эффективный диаметр поровых каналов и создает дополнительное гидравлическое сопротивление на пути движения потока влаги от поверхности с большей влажностью к плоскости с меньшим содержанием воды. Приведенные результаты получены в экспериментах, в которых движение влаги в образце обеспечивает давление воды в капиллярах, создаваемое влажностью шихты, превышающей  $W_{\text{МКВ}}$ . В производственных условиях эту влажность на поверхности зародышей достичь трудно, т. к. оптимальная влажность зародышей и шихты для окомкования много меньше  $W_{\text{МКВ}}$ . В частности для Ш1 ( $\bar{d}_q = 0,068$  мм) и для Ш2 ( $d_q = 0,025$  мм) значение  $W_{\text{МКВ}}$  составляет 18,5 и 21,5 %. Поэтому увлажнение поверхности брикета до значения влажности меньшей  $W_{\text{МКВ}}$  существенно снижает скорость капиллярной пропитки образцов, приведенной на рисунках 1, 2.

На окомкователе, работающем по схеме ЗНД (зародышеобразование способом напыления шихты, доокомкование зародышей), увлажнение поверхности зародыша должно осуществляться достаточно интенсивно, после чего необходима концентрированная подача шихты на поверхность увлажненных зародышей для того, чтобы скорость роста массы оболочки окатышей была выше скорости отвода влаги с поверхности зародыша в его центр. Поскольку плотность загружаемой шихты (1800-2000 кг/м³) всегда ниже плотности зародыша (2400-3200 кг/м³), то капиллярная пропитка будет ори-

ентирована преимущественно в направлении оболочки окатыша, скорость капиллярной пропитки которой в 1,3-1,5 раза выше скорости распространения влаги в зародыше. Для этого на поверхности слоя зародышей назначается зона с координатами, например  $Y(R) = 0$ ,  $X(R) = 0,5-0,7$  [4], занятая зародышами определенных размеров, например,  $\alpha_{БР} = 5,0-10,0$  мм, куда подается вода на доувлажнение. Непосредственно за этой зоной в направлении движения зародышей назначается зона с координатами  $X(R) = 0,5-0,7$ ,  $Y(R) = -(0,2-0,3)$  [4], куда подается влажная загружаемая в окомкователь шихта потока П2. Это одно из условий, позволяющих получить окатыши с пониженным содержанием влаги, в центре которого располагается полусухой зародыш. В идеальном случае получение оболочки окатышей можно обеспечить напылением влажной шихтовой пульпы ( $W_{Ш} = 20 - 25\%$ ), сформированной из потока П2, на поверхность зародышей. В этом случае резко снижается влияние влажности и плотности зародыша на скорость капиллярной пропитки, т.к. наряду с увлажнением поверхности зародыша одновременно происходит рост оболочки окатыша и уплотнения шихты.

В процессе ударного взаимодействия зародышей и растущих окатышей избыточная влага выжимается на поверхность оболочки, что стимулирует присоединение частиц шихты и ее активный рост. Поскольку плотность зародыша ( $\rho_{ОБР} > 3000-3200$  кг/м<sup>3</sup>) выше, чем плотность формирующейся оболочки ( $\rho_{ОБЛ} < 2400-2800$  кг/м<sup>3</sup>), то перенос влаги в центр зародыша будет ослаблен и его влажность повысится незначительно. Если плотность зародыша меньше или близка ( $\rho_{ОБР} \leq \rho_{ОБЛ}$ ) плотности оболочки, то поток влаги будет направлен преимущественно в центр зародыша и он будет переувлажняться.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей / Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков, Л.К. Антоненко и др. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
2. Павловец В.М. Принципы организации принудительного зародышеобразования в холостой зоне тарельчатого окомкователя. Известия вуз. Черная металлургия. 2009. №9. с. 9 – 13.
3. Доменное производство: Справочное издание. в 2-х т. Т 1 Подготовка руд и доменный процесс / И.Д. Балон, Е.Ф. Вегман, Г.А. Воловик и др. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.
4. Павловец В.М. Исследование структурных характеристик шихтового покрытия, напыленного на поверхность железорудных материалов / Известия вуз. Черная металлургия. 2004. №4. с. 7 – 12.
5. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. – М.: Металлургия, 1996. – 151 с.
6. Павловец В.М. Определение оптимальных параметров принудительного зародышеобразования при производстве окатышей / Вестник горно – металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: Сб. науч. тр. – Новокузнецк: СибГИУ. 2009. Вып. 24. С.48 – 56.

В.М. Павловец

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ, СТРУКТУРНО СОДЕРЖАЩЕГО ОПЕРАЦИЮ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ

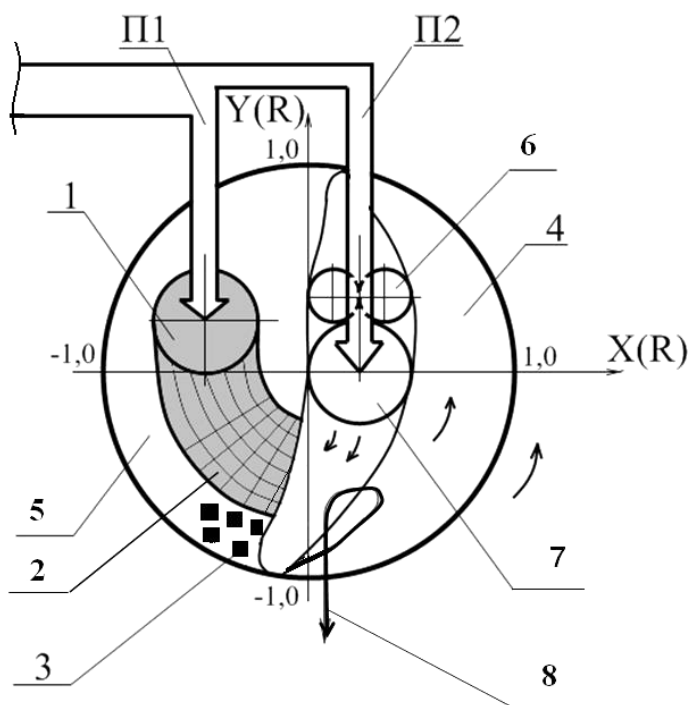
Экспериментальным путем установили возможность получения железорудных окатышей с пониженным содержанием влаги в процессе окомкования, структурно содержащего операцию принудительного зародышеобразования. Установили, что рост массы окатышей и содержания влаги в них зависит от размеров зародышей, их влажности и плотности. Ростом массы и влажностью окатышей можно управлять интенсивностью увлажнения и соотношением масс шихты и зародышей в процессе их доокомкования.

Experimental have by established an opportunity of reception железорудных pelette with the lowered moisture content during окомкования, structurally containing operation compulsory formation of the germs are established. Have established, that growth of weight pelette and moisture contents in them depends on the sizes of germs, their humidity and density. Growth of weight and humidity pelette can be operated intensity of humidifying and a parity of weights charge and germs during them доокомкования.

Формирование окатышей комбинированным способом по схеме: зародышеобразование напылением шихты сжатым воздухом и доокомкование зародышей (ЗНД) начинается с принудительного зародышеобразования в холодной зоне тарели и получения зародышей с пониженным содержанием влаги [1,2]. Для этого загружаемая шихта делится на два потока П1 и П2, а для зародышеобразования используется шихта потока П1. Согласно указанной схеме, зародыши поступают в рабочую зону тарели, где они движутся первоначально в выходящем, а затем в нисходящем слое материалов. В последнем слое происходит избирательное увлажнение поверхности зародышей, после чего на неё накатывается влажная шихта потока П2, необходимая для образования шихтовой оболочки окатыша (рисунок 1).

Расход воды на увлажнение поверхности зародышей до оптимальной относительной влажности  $\Theta_{ЗР}^{ПОВ}$ , равной 0,96–1,0 ( $\Theta_{ЗР}^{ПОВ} = W_{ЗР}^{ПОВ} / W_{Ш}$ ), где  $W_{ЗР}^{ПОВ}$ ,  $W_{Ш}$  – влажности поверхности зародышей и загружаемой шихты, (%), зависит от размеров зародышей, их исходной влажности и от скорости капиллярной пропитки [3]. Для определения условий увлажнения необходимы измерения влажности по сечению окатышей, позволяющие установить зависимость

прироста массы оболочки окатышей от расхода воды и влажности зародыша, а также для определения границ влажности, при которой начинается интенсивное формирование оболочки окатыша.



1 – область напыления (напыленный слой); 2 – область принудительного зародышеобразования; 3 – зародыши; 4 – рабочая зона; 5 – холостая зона окомкователя; 6 – область увлажнения; 7 – область доокомкования; 8 – годные окатыши

**Рисунок 1 – Схема получения окатышей, включающая принудительное зародышеобразование**

Целью работы является исследование технологических условий увлажнения и определения параметров зародышей, необходимых для формирования сырых окатышей по схеме ЗНД и обеспечивающих максимальный выход окатышей с пониженным содержанием влаги.

Зародыши получали напылением двух видов влажной шихты Ш1 ( $W_{Ш1} = 8,25 \%$ ,  $\bar{d}_ч = 0,068 \text{ мм}$ ) и Ш2 ( $W_{Ш2} = 9,55 \%$ ,  $\bar{d}_ч = 0,025 \text{ мм}$ ), полученной на основе тейского концентрата, содержащей 1 % бентонита. Шихту напыляли на донный гарнисаж тарельчатого окомкователя диаметром 0,62 м, наклоненного к горизонту под углом  $45^\circ$  и вращающегося с частотой 12 об/мин. Для напыления шихты формировали воздушно-шихтовую струю (ВСШ). Температура сжатого воздуха изменялась в пределах  $20-150^\circ\text{C}$ . Диаметр выходного сопла струйного аппарата составлял 20 мм ( $d_0$ ). Плотность зародышей меняли в интервале от 2410 до 3040  $\text{кг/м}^3$  за счет регулирования давления ВСШ и относительного расстояния  $\theta_L$  ( $\theta_L = H / d_0$ ) до напыленной поверхности. Из всей массы зародышей отбирали образцы правильной формы, у

которых три геометрических размера близки друг к другу, и группировали их по размерам. В первую группу входили зародыши, у которых размер сторон сферокуба составлял 4,5-5,5 мм (средний 5,0), во вторую группу входили зародыши со стороной  $a_{3P}$  равной 9,5-10,5 мм (средний  $\bar{a}_{3P} = 10,0$  мм). Учитывая, что при окомковании зародышей углы разрушаются, у опытных образцов средним диаметром 10,0 мм углы округляли до радиуса закругления 2-3 мм. Внутри каждой группы брали образцы для определения влажности и прочности на сжатие. Часть зародышей использовали полностью сухими. Зародыши соответствующей группы садкой 5 кг загружали в работающий окомкователь и увлажняли их в нисходящем слое факелом распыления диаметром 150 мм, ось которого находилась в точке с координатами  $X(R) = 0,25$ ;  $Y(R) = 0,5$ . Расход воды на увлажнение фиксировали по расходомеру. Для анализа результатов использовали относительный расход воды  $M_{H_2O}$ , кг  $H_2O$ /кг, определяемый отношением массы влаги к суммарной массе зародышей и загружаемой шихты. Непосредственно после увлажнения зародышей в нисходящий слой комкуемых материалов подавали влажную шихту Ш1 или Ш2 из бункера-питателя в режиме свободнопадающей шихты (СПШ) в количестве 10 кг в течение 200 с в точку с координатами  $X(R) = 0,25$ ;  $Y(R) = 0$ . Отношение массы шихты к массе зародышей Ш1/3P (Ш2/3P) после окомкования составляло 2. В ходе доокомкования зародышей из слоя отбирали образующиеся окатыши, когда их диаметр достигал 10 и 15 мм. После завершения опытов выполняли рассев окатышей по фракциям и фиксировали прирост массы  $\Delta M$ , % зародышей, вычисляемый по отношению количества окатышей размером 10-15 мм к массе исходных зародышей. После этого брали 20 окатышей и делили их на три пробы, для каждой из которых определяли влажность. Схема деления окатыша на пробы и расположения опытных точек по его сечению показана на рисунке 2.

Первая проба влажности ( $W_{OB}$ ) формировалась из оболочки окатыша, срезанной из шести частей, отсекаемых от радиуса окатыша на расстоянии 5,0-7,5 мм в трех взаимоперпендикулярных направлениях. Координата этой пробы, необходимая для построения поля влажности по сечению окатыша, находилась на расстоянии 6,25 мм от оси окатыша.

Вторую пробу влажности ( $W_{3P}^{ПОВ}$ ) группировали так же из шести частей окатышей толщиной 2,5 мм, срезанных до радиуса окатыша, равного 5,0 мм. Для зародышей размером  $\bar{a}_{3P} = 5,0$  мм эта проба соответствовала нижней части оболочки окатышей. Для зародышей  $\bar{a}_{3P} = 10,0$  мм эту пробу брали в поверхностном слое зародыша. Координата этой пробы была удалена на 3,75 мм от оси окатыша. Третья проба влажности ( $W_{3P}^{OCь}$ ) взята из тела (в исходном состоянии это зародыш), представляющего собой куб, размер граней которого составлял 5,0 мм, с координатой в центре окатыша. Результаты экспериментов представлены на рисунках 3-4 и в таблицах 1-3.





Чем выше размеры и плотность зародышей, тем ниже влажность центральных слоев окатыша. Повышенная влажность зародышей, естественно, препятствует получению окатышей с пониженным содержанием влаги. Причем в центре полученного комбинированным способом окатыша, где расположен зародыш, например, для  $a_{зр}=10,0$  мм,  $\rho_{зр}=3040$  кг/м<sup>3</sup> перепады влажности (1,55 %) существенно выше, чем перепад влажности между поверхностью окатыша (0,52 %), где сформирована оболочка, и поверхностью зародыша. Это обусловлено тем, что центр зародыша увлажняется потоком влаги, идущим с поверхности зародыша, а оболочка окатыша непрерывно увлажняется в процессе ее формирования. Зародыши размером 10,0 мм и высокой плотности ( $\rho_{зр} = 3040$  кг/м<sup>3</sup>) лимитируют капиллярный перенос влаги с поверхности зародыша к его центру. Относительная влажность зародышей и окатышей, полученных по технологии ЗНД показана в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1 – Относительная влажность зародышей и окатышей, полученных по технологии ЗНД**

Параметры ВШС		Относительная влажность			
H/d <sub>0</sub>	t <sub>c</sub> , °C	зародышей	окатышей:		
			в центре	на поверхности	средняя
5	20	0,93/0,92	0,94/0,92	0,97/0,97	0,95/0,94
	50	0,91/0,90	0,92/0,91	0,98/0,98	0,95/0,94
	100	0,88/0,87	0,90/0,90	0,98/0,98	0,94/0,93
	150	0,84/0,85	0,86/0,86	0,98/0,98	0,92/0,90
10	20	0,95/0,94	0,95/0,94	0,97/0,98	0,96/0,95
	50	0,93/0,92	0,94/0,92	0,98/0,98	0,95/0,95
	100	0,90/0,90	0,92/0,90	0,98/0,98	0,95/0,94
	150	0,86/0,85	0,88/0,86	0,98/0,98	0,93/0,90
15	20	0,95/0,95	0,96/0,97	0,98/0,98	0,97/0,97
	50	0,94/0,93	0,95/0,95	0,98/0,98	0,97/0,96
	100	0,91/0,91	0,92/0,92	0,98/0,98	0,95/0,94
	150	0,88/0,87			

Примечание. Числитель - влажность шихты 8,25 %, знаменатель - влажность шихты 9,55 %, Расход воды на доувлажнение – 0,02 .кг/кг зародышей, координаты ВШС на тарели R(X)=0,5.

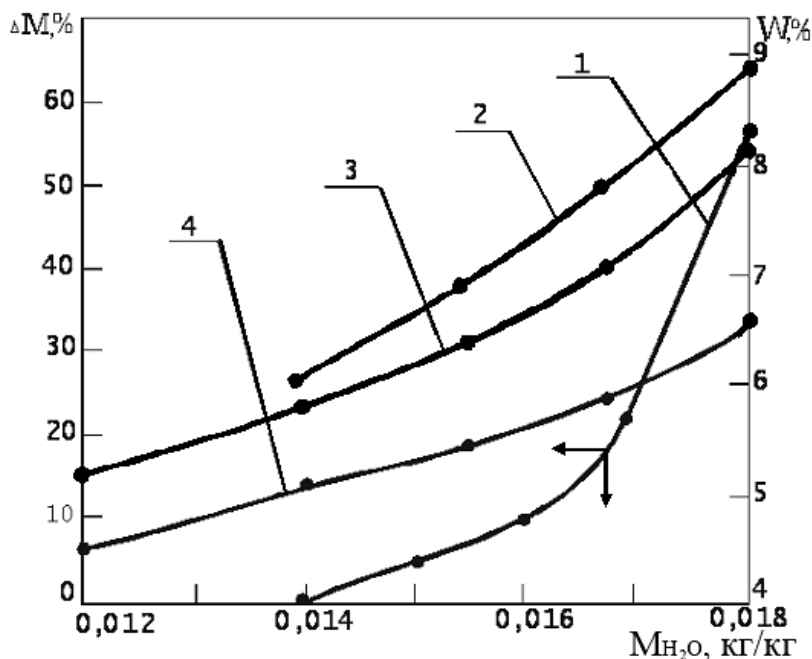
Однако, как показывают данные таблиц 1 и 2, и при более низком размере зародышей (5 мм) и плотности (2410 кг/м<sup>3</sup>), технология ЗНД позволяет получать окатыши с пониженным содержанием влаги. Лучшие результаты достигнуты при доокомковании зародышей с низким содержанием влаги.

Относительные влажности зародышей  $\theta_{w_{зр}} = W_{зр} W_{ш}$ , ( $\theta_w = 0,93$ ) и центральных слоев окатышей ( $\theta_w = 0,94$ ) достаточно близки и формируют из шихты Ш1 более низкий уровень относительной влажности, всего окатыша ( $\theta_w^{OK} = 0,95$ ;  $W_{OK} = 7,83$  %). Для более тонких шихт (Ш2,  $d_ч = 0-0,05$  мм) относительная влажность окатышей равна 0,94, а средняя влажность  $W_{OK}$  %, снижена на  $\Delta W_{OK} = 0,5-0,65$  % по сравнению с  $\Delta W_{OK} = 0,35-0,42$  %, полученной для зародышей из шихты Ш1. Причиной этого является различная интенсивность капиллярной пропитки зародышей влагой. У более тонких шихт она ниже. Применение сжатого воздуха с температурой 100-150 °С существенно снижает влажность зародышей. Однако средняя влажность окатышей уменьшается незначительно ( $W_{OK} = 7,59$  % для Ш1 и 8,59 % для Ш2), что связано со вторичным увлажнением зародышей. Очевидно, что, используя для доокомкования зародыши с высокой влажностью ( $\theta_w = 0,97$ ), получить окатыши с пониженным содержанием влаги ( $\theta_w < 0,97$ ) практически невозможно. Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что окатыши, полученные на зародышах размером 5,0 мм, имеют более высокое содержание влаги, так как их массовая доля в структуре окатыша составляет менее 15 %, а возможности их переувлажнения выше, чем у зародышей размером 10,0 мм. Более высокая плотность ( $\rho_{зр} = 3040$  кг/м<sup>3</sup>) для любого размера зародыша ограничивает перенос влаги в глубину куска, что благоприятствует получению окатышей с пониженным содержанием влаги. Применение зародышей с более низкой плотностью ( $\rho_{зр} = 2410$  кг/м<sup>3</sup>) снижает возможности получения окатышей с пониженным содержанием влаги. Прирост массы для них также существенно ниже.

**Таблица 2 – Показатели качества окатышей и процесса доокомкования. Соотношение Ш1/ЗР = 2,  $\tau = 200$  с. Числитель  $\rho_{зр} = 2410$  кг/м<sup>3</sup>, знаменатель – 3040 кг/м<sup>3</sup>**

Параметры зародышей			Показатели окатышей		
$a_{зр}$ , мм	$W_{зр}$ , %	$M_{H_2O}$ , кг/кг	$\bar{W}_{OK}$ , %	$\bar{\rho}_{OK}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Delta M$ , %
5,0	0 5,15 7,96	0,016	—	—	—
			7,99	3085	8,12
			7,62	3170	12,34
			8,32	3099	22,19
			8,18	3196	27,43
10,0	0 5,15 7,96	0,016	6,72	2910	9,85
			6,18	3110	14,22
			7,51	2935	24,51
			7,16	3140	28,29
			8,22	2960	48,12
			8,01	3170	54,68

Установили (рисунок 4), что прирост массы окатышей и влажность по сечению окатыша существенно зависят от относительного расхода воды. В частности, прирост массы зародышей (это формирующаяся оболочка) для Ш1 начинается при  $M_{H_2O}=0,014$  кг/кг и  $W_{ЗР}^{ПОВ} = 5,88$  %, достигая при  $M_{H_2O}=0,016$  кг/кг значения 9,8 %. При дальнейшем росте относительного расхода воды, начиная с уровня 0,0167 кг/кг и выше, происходит интенсивный рост оболочки окатышей и резко увеличивается влажность всех слоев окатышей.



**Рисунок 4 – Зависимость прироста массы окатышей – 1 и влажности 2-4 окатышей по сечению от относительного расхода воды. Влажность, %:**

**2 –  $W_{об}$ ; 3 –  $W_{ЗР}^{ПОВ}$ ; 4 –  $W_{ЗР}^{ОСВ}$ .  $\alpha_{ЗР} = 10$  мм;  $\rho_{ЗР} = 2410$  кг/м<sup>3</sup>,  $W_{ЗБ} = 0$ ; шихта Ш1**

Значению  $M_{H_2O}$ , равному 0,0167 кг/кг, соответствует влажность поверхности зародыша из шихты Ш1 на уровне 7,76-7,96 %. Влажность оболочки окатышей растет в меньшей степени и повышается до 8,11 %. В центре окатыша (зародыша) влажность составляет 5,84 %. Этим значениям расхода воды и влажности соответствует  $\Delta M = 15,5$  %. Чтобы повысить  $\Delta M$  до 54 % относительный расход воды необходимо увеличить до 0,018 кг/кг. Одновременно с этим возрастает влажность всех слоев окатыша, особенно оболочки (поверхности) окатыша. Влажность в центре окатыша растет менее интенсивно. Оболочка окатыша начинает расти при определенной влажности поверхности зародыша. Выяснили, что накатывание влажной шихты Ш1 ( $W_{Ш1} = 8,25$  %) на поверхность зародышей с пониженным содержанием влаги ( $W_{ЗР}^{ПОВ} < 7,76$  %) практически не происходит. Для роста оболочки окатыша необходимо переувлажнение поверхностного слоя зародыша свыше 7,76 % для Ш1. Прирост массы шихты, накатанной на поверхность зародышей с

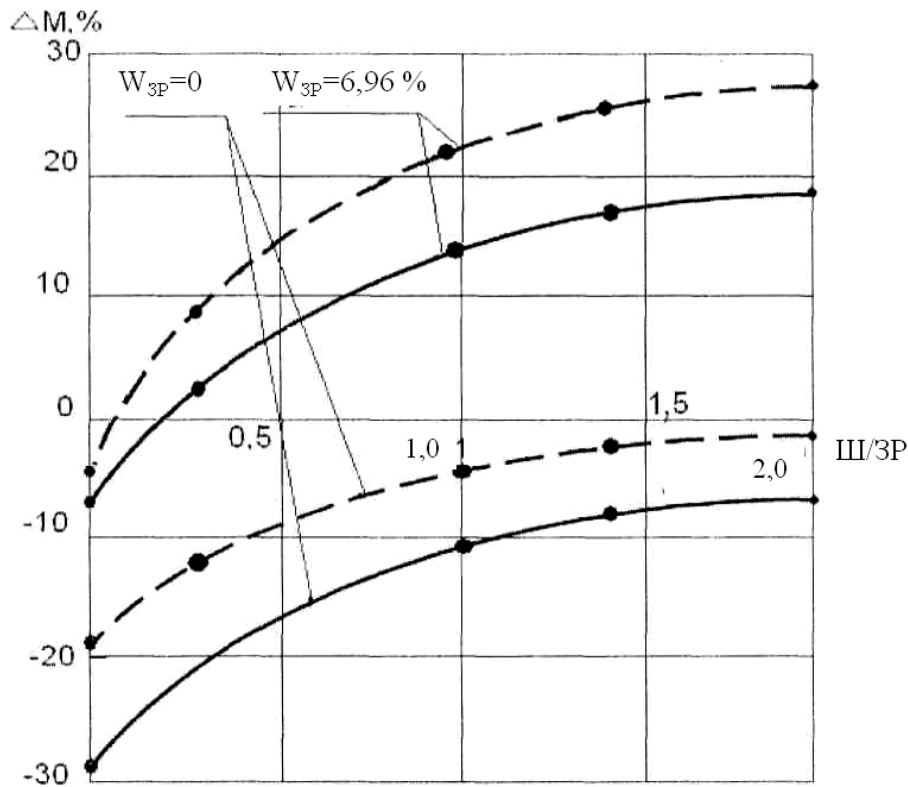
$\Theta_{W3P}^{POB} > 0,94$ , происходит со скоростью  $(1-3) \cdot 10^{-2}$  г/с, характерной для режима переката. Доокомкование зародышей происходит при дополнительном увлажнении поверхностного слоя толщиной 1-2 мм до влажности, превышающей значение 7,76-7,96 % ( $\Theta_{W33}^{POB} \geq 0,94-0,96$ ). Эта влажность характерна для зародышей плотностью 2410 кг/м<sup>3</sup>, полученных напылением шихты Ш1 с частицами средней крупностью 0,068 мм. Для зародышей, полученных из более тонкой шихты Ш2 ( $d_q < 0,05$  мм), влажность поверхности зародышей необходимо повысить до 9,12-9,21 %. Она близка оптимальной влажности шихт, комкуемых в промышленных окомкователях [4,5], и соответствует максимальному выходу окатышей кондиционных фракций.

Расход воды на дополнительное увлажнение поверхности слоя зародышей, осуществляемое орошением тонкораспыленной водой, зависит от начальной влажности и размеров зародышей. С ростом начальной влажности зародышей ( $\Theta_w^0 = 0,92$ ) расход воды следует уменьшить до 0,015 кг/кг. Если использовать зародыши размерами  $\alpha_{ЗР} = 5,0$  мм, то для формирования оболочки расход воды необходимо увеличить до 0,022-0,025 кг/кг при относительной влажности  $\Theta_{WBB}^0$  зародыша, равной 0,48-0,50. Это связано с тем, что слой зародышей размерами  $\alpha_{БР} = 5,0$  мм обладает более высокой удельной поверхностью. Более точно назначить расход воды на доувлажнение поверхности зародышей, если значение  $\Theta_{WBP}^{POB} < 0,94$ , затруднительно, т.к. часть влаги идет на увлажнение гарнисажа и загружаемой шихты.

Перекал сыпучих материалов (полусухие зародыши и шихта) сопровождается потерей массы, связанной с частичным разрушением зародышей, деформацией углов и граней, и одновременным ростом массы оболочки окатышей. В процессе доокомкования зародышей особенно крупных, например, размером 10 мм под действием динамических усилий и истирающих нагрузок острые грани и углы зародышей разрушаются, образуя осколки фракции 2-10 мм и шихтовую мелочь размером 0-2 мм. Годные окатыши формируют класс  $>10$  мм. Прочность напыленного слоя шихты и зародышей, полученных на его основе, должна быть оптимизирована с точки зрения минимизации разрушения зародышей при перекатах в рабочем пространстве окомкователя. Эти процессы зависят от количества шихты в слое комкуемых материалов, содержание которой на разных участках траектории меняется от 0 до 200 % от массы садки зародышей. Результаты экспериментов представлены на рисунке 5 и в таблице 3.

Эксперименты, проведенные с зародышами, разной исходной прочности (таблица 3) показали, что с ростом прочности брикетов с 24 кПа (Ш1,  $\theta_L = 15$ ) до 98 кПа ( $\theta_L = 5$ ) снижается выход мелочи класса 0-2 мм с 29,4 % до 5,2 %. Повышение прочности зародышей по технологии ЗНД достигается более высоким давлением ВШС. Прочность зародышей, полученных из более тонких шихт (Ш 2), существенно (на 30-40 %) выше. По этой причине они в меньшей степени разрушаются с образованием мелочи и осколков.

Полностью снизить выход мелочи затруднительно, так как при пересыпании зародышей в нисходящем потоке шихтовых материалов происходит ударное взаимодействие зародышей одновременное накатывание мелочи на их поверхность.



**Рисунок 5 – Влияние массового соотношения в смеси «шихта – зародыши» на изменения массы зародышей в процессе окомкования.**  
 — Ш1 (прочность влажных 65 кПа) ; - - -Ш2 (прочность 98 кПа),  
 $\tau = 120$  с,  $a_{ЗР} = 10$  мм,  $\rho_{ЗР}=2620$ кг/м<sup>3</sup>

**Таблица 3 – Фракционный состав материалов после докомкования смеси «шихта – зародыш» = 1,0) для шихты Ш 1. ( $W_{ЗР} = 0 \%$ )**

Исходная прочность зародышей, кПа	Размер частиц, мм.		
	0-2	2-10	>10
24	29,4	16,8	53,8
65	12,5	2,5	85,0
98	5,2	0,3	94,5

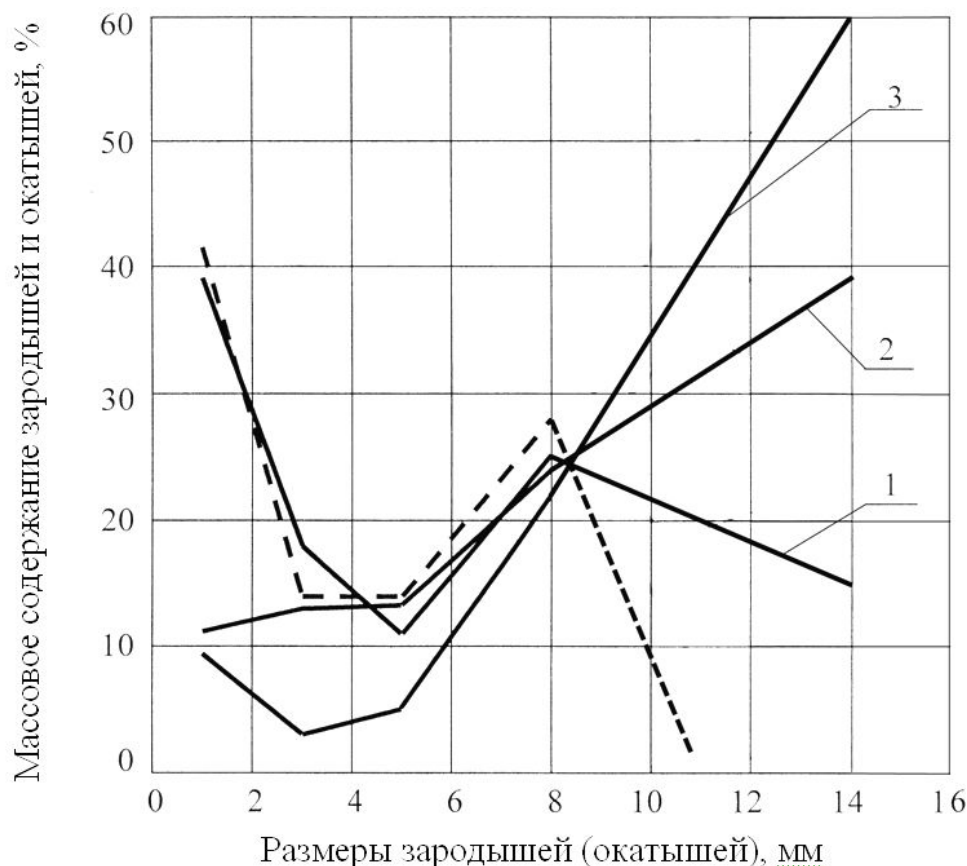
Процессы разрушения и деформации острых углов и граней существенно уменьшаются для влажных зародышей, обладающих более высокой пластичностью. Эти процессы протекают в небольшом интервале времени, ориентировочно 10-20 с., и развиваются при ссыпании зародышей в нижнюю IV четверть тарели с расстояния 1,0 – 1,5 м (диаметр тарели  $D_T = 5$  м), в ча-

стности, из точки с координатами  $X(R) > -0,5$ ,  $Y(R) = 0$  (рисунок 1). Доминирование процессов друг над другом зависит не только от крупности частиц и влажности шихты, но и от содержания шихты в смеси шихты-зародыши (см. рисунок 5). Если шихта полностью отсутствует в смеси ( $Ш/ЗР=0$ ), то происходит частичное разрушение граней и углов зародышей с образованием до 28 % (Ш1) и 20 % (Ш2) мелочи ( $W_{бр}=0$ ). Частично разрушенные зародыши формируют фракцию материалов размером 2-10 мм. Если смесь зародышей ( $W_{ЗР}=6,90\%$ ) и шихты ( $W_{Ш}=8,25\%$ ), содержит более 40 % (Ш1) и 22 % (Ш2) исходной шихты, то накатывание шихты доминирует над разрушением зародышей и происходит рост массы. Образование мелочи фракции 0-2 мм и наличие влажной шихты при зародышеобразовании являются факторами, ограничивающими разрушение зародышей. Исходная шихта и мелочь в смеси «Ш/ЗР» частично разобцает зародыши, смягчает ударные взаимодействия между ними и снижает скорость переката, создавая сопротивление качению на поверхности гарнисажа. Для зародышей, сформированных из более тонких шихт (Ш2), скорость окомкования выше скорости разрушения. Эксперименты показали, что прочность сырых зародышей менее 20-30 кПа недостаточна для выдерживания усилий, необходимых для разрезания слоя и среза зародышей с гарнисажа в процессе принудительного зародышеобразования.

Для формирования шихтовой смеси с отношением ( $Ш/ЗР > 0,3$ , см. рис. 5) на тарели окомкователя зародыши необходимо ориентировать в нисходящий поток шихты. При этом сразу начинается процесс сфероидизации зародышевой массы. Сначала сминаются и частично разрушаются острые края и грани. Затем, после попадания зародышей в слой шихтовых материалов рабочей зоны окомкователя, их поверхность частично увлажняется и на нее накатывается шихтовая мелочь. Доокомкование зародышей сопровождается увеличением массы и размеров. На рисунке 6 показано изменение фракционного состава материалов на окомкователе при  $\theta_L=5$ , комкуемых на основе реального состава зародышевой массы, включающей наличие мелочи размером от 0-2 мм и зародышей размерами до 10-12 мм.

В исходном состоянии Ш1/ЗР равнялось 1,0, в процессе доокомкования в течение 300 с оно повысилось до 3,5. Размер кондиционных окатышей оценивали по фракции 12-16 мм. Как видно из графика, основное влияние на фракционный состав материалов оказывает интенсивность увлажнения шихтовой массы. Доокомкование зародышей по технологии ЗНД сопровождается уменьшением мелочи (0-2 мм) в шихте с 40,4 % до 8,8 %, связанным с переходом зародышей в окатыши, и ростом содержания сформированных материалов размером 12-14 мм с 0 % до 59,2 %. Это значение достигнуто дополнительным увлажнением всей массы шихты тонкораспыленной водой с расходом 0,04 кг/кг зародышей. Если доувлажнение исключить полностью ( $M_{H_2O}$ ), то динамика роста массы зародышей, относительная влажность которых при зародышеобразовании уменьшалась до  $\theta_w = 0,96$ , резко снизится. При этом выход кондиционных окатышей составляет 13,1 %. Интенсивное

доувлажнение зародышевой и шихтовой массы водой расходом 0,02-0,04 кг/кг позволяет получить максимальное количество окатышей размером 12-14 мм и одновременно снизить содержание влаги в окатышах на 2,0-2,5 %.



Расход воды на доувлажнение, кг/кг зародышей: 1 – 0; 2 – 0,02; 3 – 0,04

**Рисунок 6 – Фракционный состав окатышей (—) и зародышей (- - -) в зависимости от расхода воды на доувлажнение последних**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павловец В.М. Принципы организации принудительного зародышеобразования в холостой зоне тарельчатого окомкователя / Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 4. С. 3 – 6
2. Павловец В. М. Исследование упрочняющих режимов напыления влажной железорудной шихты в процессе принудительного зародышеобразования / Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 6. С. 9 – 13.
3. Павловец В. М. Исследование капиллярной пропитки образцов, полученных напылением влажной шихты сжатым воздухом / Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 4.
4. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей / Ю. С. Юсфин, Н. Ф. Пашков, Л. К. Антоненко и др. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
5. Доменное производство / И. Д. Балон, Е. Ф. Вегман, Г. А. Воловик и др. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.



УДК 621.746

В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина, О.Е. Дмитровская

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ

В работе рассматриваются основные положения разработанной математической модели, позволяющей рассчитать параметры кристаллизации сплавов.

The basic theses of elaborated mathematic model that can calculate the parameters of the alloy crystallization are rated in the article.

Качество отливок в значительной степени зависит от технологий обработки расплавов (модифицирование примесными модификаторами и внешними воздействиями, рафинирование и т.д.), которые, в свою очередь, определяют весь процесс кристаллизации. Изучение параметров кристаллизации расплавов позволяет наметить дальнейшие пути по совершенствованию технологий обработки, в связи с чем является весьма актуальным.

Однако, как правило, если параметры кристаллизации – температуры фазовых превращений, величину переохлаждения, полное время затвердевания можно определить с помощью современных методик исследования (термического анализа, дифференциально-термического анализа и другими способами), то такие важные для исследователя параметры как количество и критический радиус зародышей кристаллизации выявить невозможно. Именно эти параметры могут свидетельствовать об эффективности применяемой технологии модифицирующей обработки расплава. Поэтому актуальным является разработка математических моделей, позволяющих рассчитать (оценить) вышеуказанные параметры с использованием табличных и экспериментальных данных.

Ниже представлены основные положения разработанной авторами статьи математической модели, позволяющей рассчитать параметры кристаллизации сплавов.

В соответствии с кластерной моделью жидких расплавов основными структурными составляющими жидкости считаются отдельные разобобщенные кластеры, окруженные трехмерной сеткой разупорядоченной зоны, обладающей хаотической атомной структурой. Внутренняя атомная структура кластеров близка к структуре исходного твердого тела. Характерный размер кластера имеет нанопорядок, который не превышает размеры критического

зародыша ( $r_k$ ). Для того, чтобы свободный атом закрепился на поверхности кластера при образовании зародыша критических размеров, его валентный электрон должен перейти на уровень Ферми кластера с работой выхода  $W_{\text{вых}}$  и затратить работу, равную  $\Delta W = J_1 - W_{\text{вых}}$ , где  $J_1$  – первый потенциал ионизации, эВ.

При кристаллизации возникает импульс тока  $I$  за счет перехода электронов с уровня ионизации свободного атома разупорядоченной зоны на уровень Ферми зародыша (кластера). Работа, которая при этом затрачивается или выделяется обратимо в виде теплоты, равна теплоте Пельтье  $\Delta Q$ , которая по определению и экспериментальным данным равна

$$\Delta Q = \frac{\Delta W}{e} \cdot J \cdot F_K \cdot \Delta \tau = \frac{J_1 - W_{\text{вых}}}{e} \cdot J \cdot F_K \cdot \Delta \tau, \quad (1)$$

где  $e$  – заряд электрона, Кл;  $F_K$  – площадь поверхности зародыша критических размеров, м<sup>2</sup>;  $\Delta \tau$  – интервал времени зародышеобразования, с.

Обратимая теплота Пельтье, связанная с переходом валентных электронов свободного атома на уровень Ферми твердого зародыша критических размеров, восполняется за счет расходования внутренней энергии системы  $\Delta E$ . Для обратимых процессов  $\Delta E = S \Delta T$ , где  $\Delta T$  – переохлаждение при фазовом переходе. При равновесной температуре кристаллизации  $T_0$  энтропия фазового перехода при образовании критического зародыша объемом  $V_k$  равна  $S = \frac{\rho L \cdot V_k}{T_0}$ , где  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $L$  – удельная теплота кристаллизации расплава, Дж/кг.

Учитывая вышесказанное, можно записать

$$\Delta Q = \Delta E$$

или

$$\frac{J_1 - W_{\text{вых}}}{e} J \cdot F_K \cdot \Delta \tau = \frac{\rho L \cdot V_k}{T_0} \cdot \Delta T. \quad (2)$$

Так как для зародыша сферической формы  $F_K = 4\pi r_k^2$  и  $V_k = \frac{4}{3} \pi r_k^3$ , из (2) можно определить критический радиус зародыша кристаллизации

$$r_K = \frac{3J \cdot \frac{\Delta W}{e} \cdot T_0}{\rho \cdot L} \left( \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где  $\frac{\Delta W}{\epsilon}$  – скачок потенциала на границе кластера с разупорядоченной зоной;  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  – скорость охлаждения расплава в период зарождения кристаллов, К/с.

При изотермическом зародышеобразовании от объема расплава  $V_0$  с переохлаждением расплава на  $\Delta T$  форма отнимает тепло

$$Q_1 = c\rho V_0 \Delta T. \quad (4)$$

Это тепло восполняется путем образования  $N$  зародышей, каждый из которых имеет критический объем  $V_K$ , то есть

$$Q_2 = N \cdot \rho L \cdot V_K. \quad (5)$$

Приравнивая (4) и (5), можно определить количество зародышей в единице объема расплава

$$n_0 = \frac{N}{V_0} = \frac{3c \cdot \Delta T}{4\pi \cdot L} \cdot \frac{1}{r_K^3}. \quad (6)$$

Таким образом, предлагаемая математическая модель позволяет определить критический радиус зародыша кристаллизации и количество зародышей в единице объема расплава для сплавов, обработанных любыми модифицирующими воздействиями. При расчетах использовались справочные данные, приведенные в таблице 1 [1, 2] и экспериментальные данные, полученные методом термического анализа.

Оценочные расчеты проводились для литых цилиндрических заготовок длиной 300 мм и диам. 26 мм из сплавов АК7ч, АМ5, АК5М2, обработанных ТВО и магнитным полем, и залитых в песчано-глинистую форму с коэффициентом теплоаккумуляции  $b_{\Phi} = 950 \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}^{0,5}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ . Начальная температура формы – 293 К. Шихта для данных сплавов состояла из 10...15 % чушковых материалов и 80...85 % вторичного сырья.

Предварительно определенные оптимальные параметры ТВО расплавов составляли: для сплава АК7ч  $T = 970...1000$  °С,  $\tau = 7...10$  мин (для 100 % чушковых материалов в шихте);  $T = 1000...1030$  °С,  $\tau = 10...12$  мин (для 50...100 % вторичного сырья в шихте); для сплава АК5М2  $T = 970...990$  °С,  $\tau = 8...10$  мин; для сплава АМ5  $T = 950...970$  °С,  $\tau = 7...10$  мин.

Обработку расплавов переменным магнитным полем в процессе заливки осуществляли с помощью специального устройства, сконструированного на кафедре литейного производства ГОУ ВПО «СибГИУ» [3]. Параметры обработки расплавов магнитным полем составляли: индукция магнитного поля  $B = 0,4...0,5$  Тл, угол наклона устройства  $30...50^\circ$ .

Для получения первичных данных, необходимых для расчета, использовали методы термического анализа (ТА), дифференциального термического анализа (ДТА), которые реализовывали с помощью разработанного на кафедре литейного производства ГОУ ВПО «СибГИУ» измерительного комплекса [4]. В состав комплекса входят первичные датчики (термопары), аналого-цифровой преобразователь IPC CON 7018 и персональный компьютер. Образцы заливались в цилиндрическую полость песчано-глинистой формы, с обеих сторон закрытую графитовыми пробками, по оси цилиндрического образца устанавливали хромель-алюмелевые термопары. С помощью измерительного комплекса фиксировали изменение температуры кристаллизующегося сплава с интервалом времени 1 сек.

**Таблица 1 – Данные для определения параметров кристаллизации**

Материал отливки	Первый потенциал ионизации, эВ	Импульс тока, А/м <sup>2</sup>	Работа выхода электрона, эВ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплота кристаллизации, Дж/кг	Теплоемкость, Дж/кг К
AK7ч	5,984	8,134	4,23	2500	281 000	1085
AM5	5,984	8,134	4,23	3200	355 000	1047
AK5M2	5,984	8,134	4,23	2500	290 000	1080

Из таблицы 2 следует, что обработка расплавов ТВО (как отдельно, так и в комплексе с другим внешним воздействием – магнитным полем при заливке) по оптимальным режимам приводит к уменьшению  $r_k$  и повышению  $n_0$ . В результате в сплавах формируется мелкозернистая структура.

**Таблица 2 – Расчетные значения параметров кристаллизации**

Сплав	Технология обработки расплава	$r_k$ (3), м	$n_0$ (6), м <sup>-3</sup>
AK7ч	Исходный (без обработки)	$0,9589 \cdot 10^{-7}$	$0,1046 \cdot 10^{14}$
	ТВО	$0,3981 \cdot 10^{-7}$	$0,3112 \cdot 10^{14}$
	ТВО + магнитное поле	$0,2326 \cdot 10^{-7}$	$0,4137 \cdot 10^{14}$
AM5	Исходный (без обработки)	$0,1193 \cdot 10^{-6}$	$0,4152 \cdot 10^{13}$
	ТВО	$0,0598 \cdot 10^{-6}$	$0,8112 \cdot 10^{13}$
	ТВО + магнитное поле	$0,0407 \cdot 10^{-6}$	$1,1244 \cdot 10^{13}$
AK5M2	Исходный (без обработки)	$0,9567 \cdot 10^{-7}$	$0,10156 \cdot 10^{14}$
	ТВО	$0,4827 \cdot 10^{-7}$	$0,2121 \cdot 10^{14}$
	ТВО + магнитное поле	$0,3305 \cdot 10^{-7}$	$0,28741 \cdot 10^{14}$

Данная математическая модель является универсальной и позволяет прогнозировать параметры кристаллизации ( $T_K$ ,  $n_0$ ) расплавов после обработки различными внешними воздействиями. Для расчета требуются экспериментально определенные по кривым охлаждения величина переохлаждения расплава и интервал времени зародышеобразования. Оценка с помощью модели значений  $T_K$  и  $n_0$  может способствовать выявлению эффективности конкретного способа (технологии) обработки расплава.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. Ч. 1. / Г.Ф. Баландин. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
2. Свойства элементов. Ч. 1. Физические свойства. Справочник / Под ред. Г.В. Самсонова. – М.: Metallurgia, 1976. – 600 с.
3. Цецорина С.А. Исследование влияния магнитного поля на свойства литейных алюминиевых сплавов и разработка ресурсосберегающей технологии их получения. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. 19 с.
4. Деев В.Б., Дегтярь В.А., Селянин И.Ф. Комплексный контроль качества литейных сплавов // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сборник научных трудов. Вып. 18 – Москва-Новокузнецк: ГОУ ВПО «СибГИУ», 2007. – С. 82 – 85.

УДК 669.16

А.Г. Никитин, В.М. Пятов\*

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

\*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ВСКРЫТИЯ ЧУГУННОЙ ЛЁТКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Проведён критический анализ существующих способов вскрытия чугуновой лётки доменной печи. Определены требования к процессу, позволяющему вскрывать лётку гарантированно, быстро и без разрушения футеровки.

The critical research obtaining methods of development cast-iron notch of the blast-furnace was made. Requests to process which allowing development notch guaranteed, rapidly and without detriment to fettling was specified.

Производство чугуна является одним из основных металлургических процессов, в связи с этим, задача интенсификации и уменьшения энергопотребления технологических процессов доменного производства является актуальной.

Процесс вскрытия чугуновой лётки является одним из компонентов доменного производства, следовательно, его интенсификация и уменьшение энергопотребления позволяет повысить эффективность работы доменных печей.

Для решения задачи интенсификации и уменьшения энергопотребления процесса вскрытия чугуновой лётки необходимо провести обзор известных способов вскрытия чугуновой лётки в современной металлургии с точки зрения требований, предъявляемых к этому процессу, а также применительно к доменному производству ОАО «ЗСМК».

Известны и применяются в металлургии следующие способы вскрытия чугуновой лётки доменных печей [1]:

- 1) сверление (вращение сверла) до полного вскрытия лётки;
- 2) сверление до раскаленной зоны лётки с последующим прожиганием кислородом;
- 3) сверление до раскаленной зоны с последующей пробивкой массы пневматическим молотком;

- 4) использование кумулятивного заряда направленного действия;
- 5) ударно-вращательное бурение.

На большинстве металлургических предприятий России чугунную лётку доменной печи вскрывают первым способом – сверлением лётки до конца. Этот способ обеспечивает безударное вскрытие лётки, что обеспечивает её сохранность. Такой процесс идёт очень медленно с большим потреблением энергии, а также сверло не может вскрыть лётку, если в ней находится затвердевший чугун. С целью устранения последнего недостатка способ вскрытия сверлением дополняют либо последующим прожиганием канала лётки кислородом, либо пробивкой её пневматическим молотком. Однако оба этих способа обладают специфическими недостатками. При прожигании кислородом операция протекает медленно, а кислородная трубка подается вручную, что значительно ухудшает условия труда. В свою очередь, пробивка лётки пневматическим молотком из-за вибрации лома приводит к частичному разрушению футеровки, а также образованию трещин и откалыванию кусков от лёточной массы внутри горна доменной печи, при этом молоток к лётке подаётся вручную.

На некоторых металлургических предприятиях США и Германии чугунную лётку вскрывают при помощи кумулятивного заряда. Опыт показал, что применение взрывчатых веществ не вызывает повреждения окружающих конструкций из-за направленности взрывного давления в осевом направлении лётки. Данный способ вскрытия чугунной лётки не нашел применения в России из-за высоких требований Ростехнадзора к проведению взрывных работ, а также к хранению и транспортировке взрывчатых веществ.

Использование бурильных машин ударно-вращательного действия позволяет вскрывать лётку гарантировано и быстро, но при этом из-за того, что ударная волна распространяется во все стороны, происходит разрушение не только лёточной массы в канале, но и футеровки горна доменной печи.

Кроме перечисленных способов в современной промышленности используются плазменные установки. Такой способ имеет ряд преимуществ: позволяет производить процесс с высокой скоростью даже в очень твердых массивах и исключается опасность разрушения массива прилегающего к каналу. Однако использование этого метода ограничено в связи с тем, что энергозатраты на проведение такого способа бурения очень большие и оправданы только при необходимости разрушения очень твердых пород (например, кварцевых) [2].

Таким образом, ни один из способов вскрытия чугунной лётки, рассмотренных выше, не удовлетворяет полностью требованиям, предъявляемых к данному процессу.

Перспективным решением данной проблемы является создание механизма, способного гарантировано и быстро вскрывать лётку без разруше-

ния футеровки, что может быть обеспечено ударно-вращательным способом бурения летки доменной печи с переменной силой удара для постепенного разрушения лёточной массы в осевом направлении канала.

При реализации ударно-вращательного процесса с переменной силой удара после первого удара образуются первичные трещины, веером направленные от острия бура, в том числе одна из них совпадёт с осью лёточного канала. При одновременном вращении бура выбирается некоторый объём разрушаемого материала в осевом направлении. Если следующий удар на некотором расстоянии от первого удара будет произведён с такой же силой, что и предыдущий, то опять будут образовываться веерные трещины и произойдёт наложенные первичных и последующих трещин, от чего их размер резко увеличивается. После нескольких ударов одинаковой силы возникнет лавинообразное нарастание трещин в различных направлениях, что приводит к разрушению футеровки, особенно на выходе лёточного канала из футеровки горна.

В том случае, если следующий удар на некотором расстоянии от первого удара будет произведён с меньшей силой, то возникающие веерные трещины будут меньшего размера и вероятность их совпадения с первичными веерными трещинами будет мала, а вторичная осевая трещина совпадёт с первичной осевой трещиной, которая расширится и сила, необходимая для продвижения бура в осевом направлении канала летки, будет меньше. После нанесения второго удара бура отколовшиеся фрагменты массы имеют больший размер, что затрудняет их вынос из лёточного канала, поэтому необходимо нанести третий удар с силой меньшей чем у второго, при этом длина образующихся веерных трещин будет ещё меньше, в то время как основное силовое воздействие направлено на разрушение образовавшихся при первых двух ударах отколовшихся фрагментов лёточной массы и на расширение осевой трещины. Таким образом, третий удар с минимальной силой удара позволит разрушить и вынести из канала летки вращательным движением бура разрушенную первым и вторым ударами лёточную массу.

Из выше изложенного следует, что для гарантированного и быстрого вскрытия чугунной лётки необходимо реализовать ударно-вращательный процесс бурения такой, чтобы за один ударный цикл было произведено три последовательно уменьшающихся по силе удара бура.

Ударно-вращательный процесс бурения может осуществляться с помощью различных ударных приводов: гидравлических, пневматических или кулачковых.

Использование гидро- или пневмоударных механизмов в Сибирском регионе осложняется климатическими условиями эксплуатации (диапазон температуры окружающей среды  $-50^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$ ), а так же связанными с реализацией удара посредством жидкости или газа технические сложности. Применение пьезоэлектрических генераторов ударов ограничено из-за их высокой стоимости и повышенными требованиями к условиям работы, в



том числе к соблюдению температурного режима работы. Таким образом, все вышеперечисленные методы реализации ударно-вращательного бурения требуют организации и создания дополнительных мер и коммуникаций, а следовательно, ведут к удорожанию оборудования и затрат на процесс бурения летки. Более того, эти способы генерации ударов не могут обеспечить переменную силу ударов. Перечисленные недостатки отсутствуют у ударных механизмов с кулачковым приводом: они в меньшей степени требовательны к условиям эксплуатации и, кроме того, не требуют создания дополнительных коммуникаций и установок для реализации ударного воздействия. Так же кулачковые механизмы способны реализовать практически любой закон перемещения рабочего инструмента, что позволяет реализовать ударное воздействие переменной силой и частотой для разрушения леточной массы, не разрушая футеровку доменной печи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. – М.: Машиностроение, 1987. – 307 с.
2. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Проселков Ю. М. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. – 632 с.

УДК 669.187

А.А. Уманский, Н.А. Чернышева

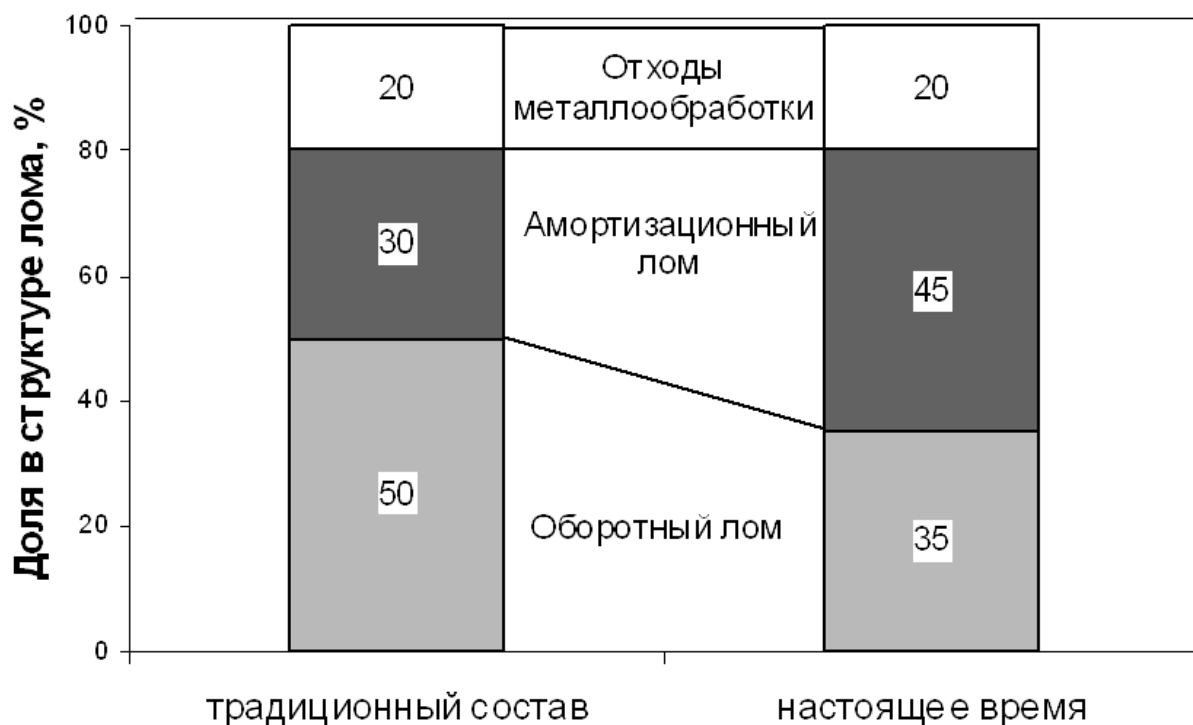
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ИСХОДНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ШИХТЫ НА КАЧЕСТВО КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

В условиях кислородно-конвертерного производства ОАО «ЗСМК» проведено исследование влияния состава исходной металлошихты и концентрации вносимых с ее компонентами примесей на качество конструкционной стали. Установлено, что наиболее значимое влияние на снижение трещиностойкости оказывает повышение содержания меди в готовой стали, определяемое структурой используемого металлического лома и его долей в металлозавалке. При этом резко отрицательное влияние меди на качество поверхности производимых из слитков заготовок проявляется даже при ее низких концентрациях в готовой стали (0,05-0,07%). По результатам проведенных исследований проведена оптимизация параметров металлозавалки для конвертеров емкостью 160 т, что позволило снизить отсортировку заготовок конструкционной стали по дефектам поверхности на 4%.

In the converter shop of «ZSMK» it was made the research of charge composition influence on the quality conditions of constructional steel. It was determined that the negative influence of cuprum concentration in steel on quality of steel billets appear even if concentration of cuprum is in low level (0,05-0,07%). By the results of research it was made the optimization of technological parameters for the converter with capacity 160 t, with the help of which the quantity of defective billets was decreased on 4%.

Одной из отличительных особенностей современного этапа развития сталеплавильного производства является все возрастающий дефицит качественного металлического лома, используемого в качестве исходной металлошихты. Данная проблема, в первую очередь, связана с изменением структуры потребляемого лома при переводе предприятий на непрерывную разливку стали. Снижение отходов в виде прокатной обрезки на 10-15% обуславливает соответствующее снижение доли собственного оборотного лома в металлозавалке и необходимость его замены получаемым от внешних поставщиков амортизационным ломом (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Изменение структуры потребляемого металлического лома**

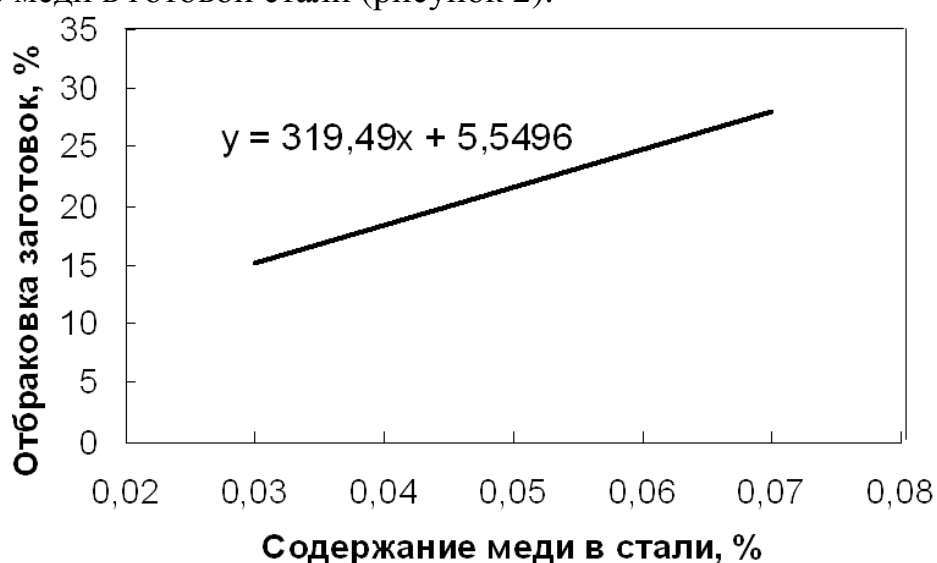
Амортизационный лом, представляющий собой отслужившие свой срок детали и механизмы различных машин и агрегатов, как правило, обогащен повышенным количеством примесей цветных металлов, которые по данным многочисленных исследований [1-6] оказывают негативное влияние на целый комплекс свойств стали даже при незначительной концентрации. Важной особенностью присутствующих в исходной металлошихте примесей цветных металлов является то, что они практически не удаляются в процессе выплавки и внепечной обработки стали. Данный факт обусловлен меньшим, а для ряда элементов значительно меньшим, химическим сродством к кислороду по сравнению с железом. Отсутствие эффективных технологий по удалению примесей цветных металлов в процессе производства стали в сочетании с повышением их концентрации в металлическом ломе приводит к увеличению их содержания в готовой стали. Особенно данная тенденция ощутима применительно к меди. По имеющимся данным [6] за период с 1985г. по 1997г. доля плавок электростали углеродистых и конструкционных марок с содержанием меди более 0,20% (по результатам ковшевых проб) увеличилась с 0,7% до 52,7%. Хотя для конвертерного способа производства стали проблема загрязненности исходной металлошихты примесями цветных металлов менее актуальна, чем для выплавки стали в электродуговых печах (в связи со значительно большей долей чугуна в металлозавалке), существуют данные о негативном влиянии меди даже в малых концентрациях на трещиностойкость сталей. Например, по результатам проведенной С.И. Жульевым с соавторами работы [1], значительное охрупчивание стали происходит уже в случае концентрации меди более 0,16%, по данным работы [2] значительное количество поверхностных трещин возникает при достижении концен-

трации меди 0,15%. Особо значимым снижением трещиностойкости является для конструкционных сталей, поскольку технология изготовления деталей из проката таких сталей обуславливают повышенные требования к показателям пластичности.

В условиях ОАО «ЗСМК» проведено исследование влияния состава металлической шихты и вносимых с ее компонентами примесей на отбраковку заготовок конструкционной стали марки 20кп по дефектам поверхности. Схема производства заготовок включает в себя разливку в изложницы с последующей прокаткой на обжимном и непрерывно-заготовочном станах. Выбор указанной марки стали обусловлен ее наиболее массовым производством и повышенной отсортировкой по дефектам поверхности по отношению к другим конструкционным сталям.

Исследование провели с использованием множественного корреляционного и регрессионного анализа на годовой выборке плавок. В качестве технологических факторов, характеризующих состав металлической шихты, выбрали удельный расход чугуна на тонну металлошихты и долю оборотного лома в общем количестве используемого металлического лома. Для исследования влияния вносимых металлошихтой примесей анализировали влияние концентрации следующих химических элементов в готовой стали: углерод, сера, отношение марганца к сере, фосфор, медь, азот. Кроме того, для получения более полной и объективной картины также исследовали влияние температуры выпуска и разливки стали, основности и окисленности шлака.

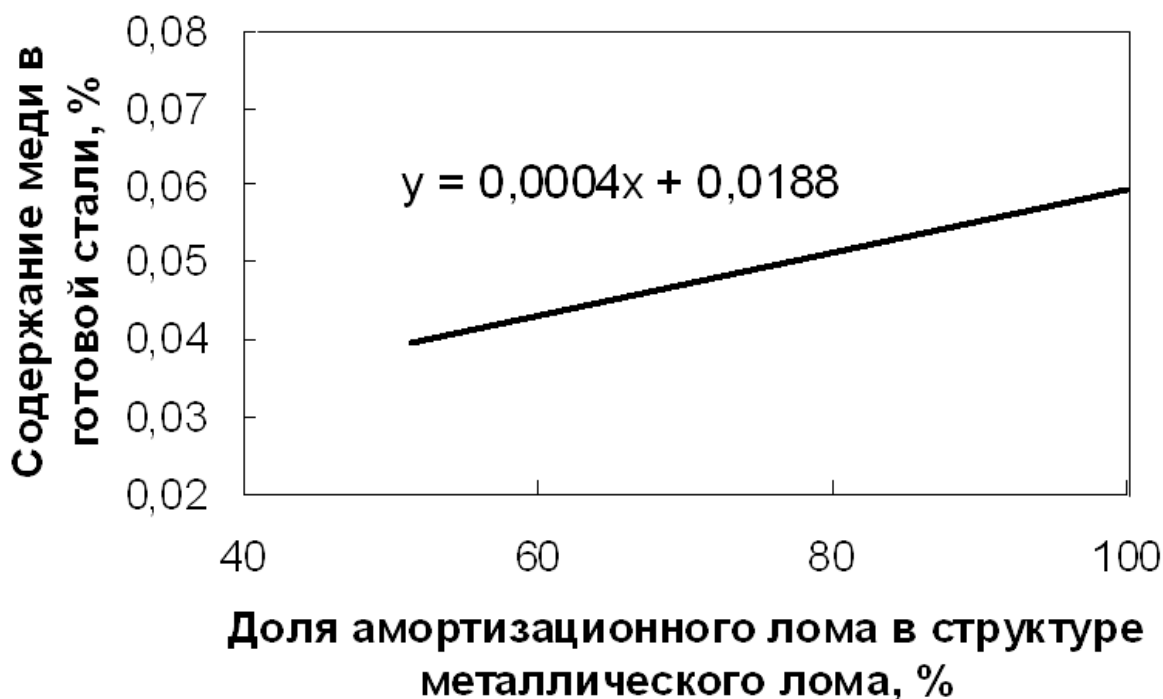
В результате установлено, что значимое влияние на качество поверхности заготовок оказывают следующие факторы: удельный расход чугуна, содержание меди и азота в готовой стали, основность шлака. При этом наибольшее влияние в относительном и абсолютном выражении оказывает содержание меди в готовой стали (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Влияние содержания меди в стали марки 20кп на отбраковку заготовок по дефектам поверхности**

Установлено, что даже при низких концентрациях меди в стали увеличение ее содержания приводит к резкому ухудшению качества поверхности заготовок: при увеличении содержания меди с 0,05% до 0,07% отсортировка заготовок по дефектам поверхности повышается на 26,0%.

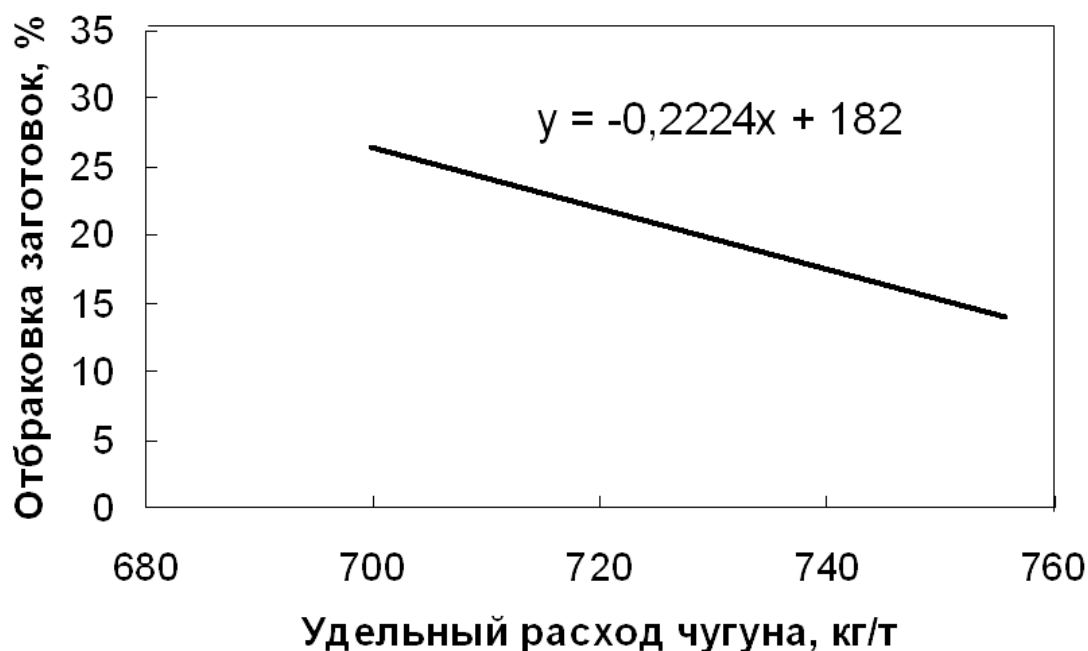
Механизм отрицательного влияния меди на качество поверхности заготовок заключается в следующем. При кристаллизации медь имеет свойство концентрироваться в межзеренном пространстве. Низкая температура плавления меди (1083°C), вызывает красноточность стали при горячей деформации. Ситуация усугубляется склонностью меди к диффузии, что приводит к значительному увеличению ее концентрации в приповерхностных слоях, тем самым увеличивая риск образования рванин на поверхности заготовок при прокатке. Как уже отмечалось, содержание меди в металлоломе и, следовательно, в готовой стали в значительной степени определяется структурой используемого металлического лома. Действительно, по полученным в ходе корреляционного анализа данным можно констатировать значимое влияние доли амортизационного лома в металлозавалке на содержание меди в готовой стали: увеличение доли такого лома в металлошихте приводит к значительному повышению концентрации меди в стали (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Влияние структуры металлического лома в исходной металлозавалке на содержание меди в готовой стали**

Вторым по степени влияния на качество поверхности заготовок фактором явился удельный расход чугуна (рисунок 4). При снижении доли чугуна в металлозавалке с 728,7 кг/т до 699,9 кг/т отсортировка по дефектам поверхности увеличивается на 20,2%. Влияние удельного расхода чугуна на

качество поверхности заготовок очевидно связано с меньшей концентрацией в нем относительно лома примесей цветных металлов. Существующие методы контроля и приборная база ОАО «ЗСМК» не позволяют с достаточной степенью точности фиксировать в технологическом потоке содержание таких примесей цветных металлов, как мышьяк, олово, свинец, висмут, цинк. Поскольку концентрация примесей цветных металлов в готовой стали напрямую зависит от соотношения чугуна и лома в металлической шихте, то удельный расход чугуна в данном случае выступает в роли показателя, характеризующего совокупное влияние вышеперечисленных элементов на качество стали.



**Рисунок 4 – Влияние удельного расхода чугуна при выплавке стали 20кп на отбраковку заготовок по дефектам поверхности**

По результатам проведенных статистических исследований внесены изменения в технологических режим выплавки конструкционной кипящей стали марок 10кп, 15кп, 20кп в кислородно-конвертерном цехе №1 ОАО «ЗСМК». По фактическим данным оптимизация параметров металлозавалки в большегрузные конвертеры емкостью 160 т позволила снизить отсортировку производимых из слитков заготовок по дефектам поверхности на 4% [7, 8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жульев С.И. Совместное влияние примесных элементов в высокочистой стали на конструкционную прочность металлоизделий / С.И. Жульев, С.А. Гузенков, В.В. Данилин // Черная металлургия. Изв. вузов. – 2004. №5. – С. 48 – 50.
2. Дегенкольбе Й. Воздействие примесей на свойства материалов / Й. Дегенкольбе, К. Кальва, К. Кауп // Черные металлы. – 1988. – №11. – С. 3 – 12.
3. Харченков В.П. Влияние микропримесей цветных металлов на качество непрерывнолитой стали / В.П. Харченков [и др.] // Сталь. – 2001. – №5. – С. 60 – 62.
4. Гуляев А.П. Чистая сталь / А.П. Гуляев – М.: Металлургия, 1975. – 184 с.
5. Мовшевич Е.И. Пути обеспечения допустимого содержания меди в электростали / Е.И. Мовшевич, Н.Ф. Мотинга // Электрометаллургия – 2000. – №1. – С. 36 – 37.
6. Обласов Г.А. Выплавка стали 20А для труб в хладокоррозионно-стойком исполнении / Г.А. Обласов, А.В. Мурзин // Сталь. – 2001. – №10. – С. 15 – 18.
7. Кадыков В.Н. Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных марок сталей / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк, 2007. – Вып. 18. – С. 40 – 48.
8. Кадыков В.Н. Применение статистических моделей для оптимизации технологии производства заготовок из слитков / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. - №6. – С. 20 – 22.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХОДУВНЫХ  
УСТРОЙСТВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВАГРАНОЧНОЙ  
УСТАНОВКИ

В работе проведен расчет потерь напора дутья для всего нормального ряда вагранок. Был сделан вывод, что воздуходувные средства существующих вагранок не дают требуемого напора дутья и не позволяют вести технологию плавки в режиме оптимальных параметров по производительности и температуре выплавляемого чугуна.

The losses accounts of blowing pressure for all cupolas normal series is carried out in the article. At summary delivery blowers of modern cupolas make not sure necessary blowing pressure and make not possible to guide melting process in optimum behavior by productivity and tapping temperature.

Выбор вентилятора является важным этапом проектирования ваграночной установки. Методически верно предварительно выполнить расчет гидравлического сопротивления шихты и всего воздушного тракта.

Сопротивление шихты определяется многими параметрами: высотой слоя кокса и шихты, расходом кокса, размером и формой кусков топлива и шихты, порозностью слоя материалов, температурой и составом ваграночных газов, количеством рядов фурм.

Расчетная схема ваграночной установки показана на рисунке 1. Воздух от вентилятора 1 (рисунок 1) поступает в шахту вагранки 2 через трубопроводы 3, распределительную фурменную коробку 4 и параллельные каналы фурменного пояса 5. На главном трубопроводе установлен шибер 8. В шихте воздух проходит через слой кокса холостой колоши 6 высотой  $H_{х.к}$  и дальше через слой рабочих металлических 7 и топливных 9 колош общей высотой  $H = H_{в} - H_{х.к}$ . Расход воздуха на единицу площади печи равен

$$q = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \xi_i}} \times \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (1)$$

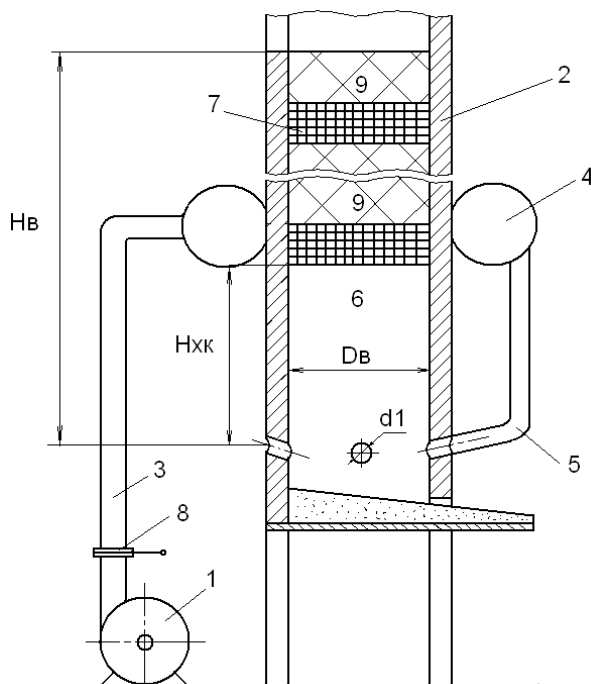
где  $\sum \xi_i$  – сумма коэффициентов сопротивлений по всему воздушному тракту

$H$  – давление, развиваемое воздуходувкой, м. вод. ст.



$\rho_1$  и  $\rho_2$  – плотность воды и воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

В общую сумму сопротивлений входит сопротивление трубопроводной системы, заслонок, поворотов, расширений и сужений трубопроводов, раздающего короба, системы параллельных каналов фурменного пояса, слоев кокса и шихты. Основные трудности возникают при расчете сопротивлений системы параллельных каналов фурменного пояса, слоев кокса и шихты.



- 1 – вентилятор; 2 – шахта вагранки; 3 – трубопровод; 4 – фурменная коробка;  
 5 – параллельные каналы фурменного пояса; 6 – холодная колоша;  
 7 – металлический слой; 8 – шибер; 9 – топливная колоша

**Рисунок 1 – Схема воздушного тракта вагранки**

Суммарное сопротивление параллельных каналов определяется по формуле

$$\xi = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{\sqrt{\xi_1^0}} + \frac{F_2}{\sqrt{\xi_2^0}} + \dots + \frac{F_n}{\sqrt{\xi_n^0}}} \quad (2)$$

где  $\xi_1^0, \xi_2^0, \dots, \xi_n^0$  – суммарные коэффициенты местных сопротивлений соответствующего канала;  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – проходные сечения фурм к скорости в которых отнесены соответственно  $\xi_1^0, \xi_2^0, \xi_n^0$ , коэффициент  $\xi$  отнесен к

скоростному давлению при  $v = \frac{Q_{\text{общ}}}{F_1 + F_2 + F_3}$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общий расход воздуха,  $v$  – скорость через систему каналов.

Сопротивление слоя кокса и шихты определяется по формуле Брауэра [1]

$$\Psi = 160 Re^{-1} + 3,1 Re^{-0,1}, \quad (3)$$

$$\text{где } Re = \frac{v_0 \times d_k \times \Phi}{\nu \times (1 - \varepsilon)} \times \frac{\bar{T}}{T_0} \times K_\Gamma$$

$$K_\Gamma = \frac{CO_2 + CO}{CO_2 + 0,5CO} - \text{коэффициент увеличения выхода газов;}$$

$CO_2, CO$  – содержание газов в зонах слоя, %

$v_0$  – скорость газа в пустой шахте, при  $T_0 = 273$  °К,

$\bar{T}$  – средняя температура газа в слое,

$d_k$  – диаметр куска кокса и шихты,

$\nu$  – кинематическая вязкость газа,

$\varepsilon$  – порозность слоя,

$\Phi$  – коэффициент формы куска.

Коэффициент сопротивления связан с критерием  $\Psi$  зависимостью

$$\xi_{ко} = 2\Psi \times \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3 d_k \Phi} \times H \quad (4)$$

где  $H$  – высота слоя кокса или шихты.

При движении газа по каналам между кусками кокса или шихты последний подогревается за счет тепла химических реакций. Известно, что в этом случае коэффициент сопротивления увеличивается и будет равен [1]

$$\xi_k = \xi_{ко} \left( \frac{\bar{T} + 3T_0}{4T_0} \right) \quad (5)$$

где  $\xi_{ко}$  – коэффициент сопротивления при начальной температуре газа  $T_0$ ;  $\bar{T}$  – средняя температура газа в слое.

Сопротивление при входе из сопел фурм через отверстие в стенке трубы, перекрытое диафрагмой, равно [3]

$$\xi_{bx} = \left[ \left( 1,7 \frac{S}{\sum S_\phi} - 1 \right)^2 + 1,2 \right] \times \left( \frac{S}{\varepsilon} \right)^2 \quad (6)$$

где  $\sum S_\phi$  – суммарная площадь сечения фурм, м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь сечения вагранки в свету, м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – порозность слоя кокса в кислородной зоне.

Все остальные гидравлические сопротивления определяются по известным формулам и справочным данным [2,3] и приводятся к скорости воздуха в пустой шахте при нормальных условиях  $P = 10^5$  Па;  $T = 273$  °К.

Рассчитаем требуемый напор воздуходувки  $H_{60}$  для эталонной вагранки с внутренним диаметром  $D = 1,13$  м, полезной высотой  $H = 5,0$  м. Площадь сечения вагранки в свету  $S = 1,0$  м<sup>2</sup>. Расчет будем вести на максимальный удельный расход дутья, когда достигаются оптимальные параметры плавки по производительности печи и по температуре выпускаемого чугуна.

Оптимальный дутьевой параметр равен [4]

$q_0 = 2,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{с}) = 2 \text{ м/с} = v_0$ , где  $v_0$  - скорость воздушного дутья в пустой шахте.

Вязкость газов при средней температуре в соответствующих зонах определялась по формуле [5]

$$v = v_0 \times \frac{C + T_0}{C + \bar{T}} \times \left( \frac{\bar{T}}{T_0} \right)^{5/2}$$

$v_0$  - кинематическая вязкость простых газов при нормальных условиях,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$C$  - константа.

Значения  $C$  и  $v_0$  приведены ниже:

параметр	газы				
	воздух	$\text{N}_2$	$\text{O}_2$	$\text{CO}$	$\text{CO}_2$
$C$	115	107	138	102	255
$v_0, \text{м}^2/\text{с}$	13,7	13,8	13,5	13,3	7,0

Вязкость газов в зонах определялась по их среднему составу, используя правило аддитивности.

При расходе кокса  $K = 14 \%$  средний состав отходящих газов:  $\text{CO}_2 = 12 \%$ ;  $\text{CO} = 14,5 \%$ ;  $\text{N}_2 = 73,5 \%$ .

Коэффициент увеличения выхода газов из зон горения равен [4]

$$K_{\Gamma} = \frac{\text{CO}_2 + \text{CO}}{\text{CO}_2 + 0,5\text{CO}} = \frac{12 + 14,5}{12 + 7,25} = 1,38,$$

Скорость газов в пустой шахте увеличивается и становится равной  $v_0 = v_0 \times K_{\Gamma}$

Это значение скорости необходимо подставить в формулу (3) для определения критерия Рейнольдса в слое шихты. В слое холостой колоши следует выделить две зоны. Кислородную зону высотой  $H_{\text{к.з.}} = 0,35 \dots 0,50$  м и восстановительную зону высотой  $H_{\text{в.з.}} = H_{\text{х.к.}} - H_{\text{к.з.}}$

Высоту холостой колоши определим по выражению [6]

$$H_{\text{х.к.}} = 0,45 + 0,7 D, \text{ м} \quad (7)$$

где  $D$  - внутренний диаметр вагранки, м.

Для эталонной вагранки  $H_{\text{х.к.}} = 1,24$  м.

В кислородной зоне идет реакция



коэффициент выхода газов в соответствии со стехиометрией реакции (8), равен  $K_{\Gamma} = 1$ .

В восстановительной зоне идет реакция частичного восстановления диоксида углерода



Коэффициент выхода газов вначале зоны равен  $K_G = 1$ , в конце на границе холостой колоши  $K_G = 1,38$  при составе газов  $CO_2 = 12 \%$  и  $CO = 14,5 \%$ .

Среднее значение параметра составит

$$K_G = 0,5(1+1,38) = 1,19$$

Средний размер кусков кокса при загрузке в вагранку составляет  $d_k = 0,06 \dots 0,065$  м. Углерод кокса начинает расходоваться в восстановительной зоне за счет реакции (9) и в конце зоны уменьшается до размера  $d_k = 0,04 - 0,055$  м.

В кислородной зоне выгорание углерода топлива продолжается и на уровне фурм, по нашим наблюдениям, составляет  $d_k = 0,03 - 0,04$  м, средний размер куска кокса в кислородной зоне будет равен  $\bar{d}_k = 0,040$  м.

Результаты расчета по формулам (1 – 7) сведены в таблицу.

**Таблица 1 – Исходные параметры и результаты расчета гидравлических сопротивлений**

	$\bar{d}_k, \text{м}$	$\bar{\varepsilon}$	$\bar{\Phi}$	$\bar{T}_G, \text{К}$	$K_G$	$\bar{V} \cdot 10^6$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Re$	$\Psi$	$\xi$	$\xi$ ( $H=1\text{м}$ )
Кислородная зона, $H_{к.з.} = 0,4\text{м}$	0,040	0,4	0,35	2000	1,0	368	929	1,737	2402	6005
Восстановительная зона, $H_{в.з.} = 0,84\text{м}$	0,055	0,5	0,35	1800	1,19	297,2	1020	1,247	447	532
Зона подогрева шихты, $H_{ш.} = 3,76\text{м}$	0,1	0,55	0,46	1250	1,38	173,4	7450	1,292	572	152,2

Коэффициент сопротивления на выходе из шихты в трубу вагранки  $\xi = 2,2$ .

Значения  $\bar{d}_k, \bar{\varepsilon}, \bar{\Phi}$  взяты из работы [7], средние температуры газов  $\bar{T}_G$  из [3]. В последнем столбце таблицы приведены коэффициенты сопротивлений соответствующих зон высотой  $H = 1$  м.

Расчет гидравлических сопротивлений воздушного тракта от вентилятора до вагранки выполним по формулам и таблицам работ [2,3].

1. Трубопровод от вентилятора до фурменной коробки:

$$\varnothing = 0,3 \text{ м}, l = 15 \text{ м}, S = 0,07065 \text{ м}^2, \lambda_{тр} = 0,02$$

$$\xi_1 = 0,02 \times \frac{15}{0,3} \left( \frac{1}{0,07065} \right)^2 = 200,3;$$

2. Два плавных поворота на  $90^\circ$

$$\xi_2 = 0,15 \left( \frac{1}{0,07065} \right)^2 = 60,1;$$

3. Задвижка лудло с полным открытием

$$\xi_3 = 0,15 \left( \frac{1}{0,07065} \right)^2 = 30;$$

4. От трения в фурменной коробке  $\varnothing = 0,5$  м,  $S = 0,196$  м<sup>2</sup>

$$\xi_4 = 0,02 \times \frac{(1,13 + 0,25)3,14}{0,5} \left( \frac{1}{0,196} \right)^2 = 4,5;$$

5. Суммарное сопротивление параллельных каналов от фурменной коробки до вагранки, всего 6 каналов  $\varnothing = 0,15$  м,  $l = 1,5$  м.

Сопротивление отдельного канала.

5.1. Вход из фурменной коробки в канал

$$\xi_{5.1} = 0,5$$

5.2. Сопротивление трубопровода

$$\xi_{5.2} = 0,02 \frac{1,5}{0,15} = 0,2$$

5.3. Поворот на 80° в фурменном колене

$$\xi_{5.3} = \varepsilon_{90} (1 - \cos \alpha) = 0,91$$

5.4. Резкое сужение от колена к фурменному соплу  $\varnothing = 0,146$  м

$$\xi_{5.4} = 0,5 \left[ 1 - \left( \frac{0,146}{0,150} \right)^2 \right] = 0,0263$$

5.5. Полное сопротивление отдельного канала

$$\xi_{5.5} = (0,5 + 0,2 + 0,91 + 0,0263) = 1,6363$$

Суммарное сопротивление параллельных каналов

$$\xi_5 = \frac{6 \cdot 0,0166}{\sqrt{1,6363}} \cdot \left( \frac{1}{0,1055} \right)^2 = 114,7$$

6. Сопротивление на вход воздуха из фурм в холостую колошу

$$\xi_6 = \left[ \left( 1,7 \frac{1}{0,1} - 1 \right)^2 + 1,2 \right] \cdot \left( \frac{1}{0,4} \right)^2 = 1607,5 \quad (10)$$

7. Сумма всех коэффициентов сопротивлений равна

$$\sum_i \xi_i = 2402 + 447 + 572 + 2,2 + 200,3 + 60,1 + 30 + 4,5 + 114,7 + 1607,5 = 5440,3$$

Полные потери напора составляют

$$\sum h_{nom} = \sum_i \xi_i \cdot \frac{v_0^2 \rho_2}{2g\rho_1} = 5440,3 \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{1,29}{10^3} = 1,431 \text{ м.в.ст.} \quad (11)$$

Для требуемого напора вентилятора ( $H_1$ ) должно выполняться условие

$$H_1 \geq \sum h_{nom}.$$

Для печи полезной высотой  $H_e = 5,0$  м, с внутренним диаметром  $D = 1,13$  м, и площадью сечения в свету  $S = 1$  м<sup>2</sup> требуемый напор вентилятора составит  $H = 1500$  мм.в.ст., производительностью  $Q = v_0 S \cdot 3600 = 7200$  нм<sup>3</sup>/час.

При проектировании для таких печей рекомендуется воздуходувка завода «Станколит» с номинальным давлением  $H = 1250$  мм.в.ст. [8].

Такая воздуходувка может дать максимальную подачу дутья в печь

$$Q = 1,86 \cdot 1,0 \cdot 3600 = 6370 \text{ м}^3/\text{час}$$

и она не обеспечит оптимальных параметров по производительности жидкого металла и его температуры на выпуске.

Суммарные потери напора при  $v_0 = 1,86$  м/с, определенные по вышеприведенной методике составят

$$\sum h_{\text{пот}} = 5494 \cdot \frac{1,86^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{1,29}{10^3} = 1,2497 \text{ м.в.ст.} \approx 1250 \text{ мм.в.ст.}$$

Сумма всех коэффициентов сопротивлений увеличивается и составляет

$$\sum_i \xi_i = 5494, \text{ так скорость } v_0 = 1,86 \text{ м/с входит в выражение для}$$

критерия Рейнольдса, критерий  $\Psi$  по (3) увеличивается, увеличиваются соответственно коэффициенты сопротивлений для слоев кокса и шихты.

По рекомендациям «Гипромеза» отношение сечения фурм к сечению вагранки должно составлять  $\sum S_{\phi} / S = 0,4$  [8]. Большая часть производственных вагранок имеет такое соотношение  $\sum S_{\phi} / S$ . Фурмы таких печей часто шлакуются, над фурмами образуются мощные козырьки, состоящие из шлака и металла. Это связано с тем, что кинетическая энергия струи воздуха недостаточна для проникновения к центру печи для вагранок с внутренним диаметром  $D \geq 1$  м. Воздух, вытекая из фурм, идет по периферии шахты, над фурмами локализуется вихревая зона с пониженным давлением, где и накапливается шлак с последующим затвердеванием.

Для крупных шахтных печей (доменных печей) на основе опытно-промышленных исследований установлено, что параметры  $\sum S_{\phi} / S = 0,0045 - 0,0047$  [9].

Теория данного вопроса дана в работе [4], где рекомендовано для вагранок рассчитывать параметр  $\sum S_{\phi} / S$  по формуле

$$\frac{\sum S_{\phi}}{S} = \frac{4\varepsilon T_0 (D - R_r)}{T \cdot D^2} \quad (12)$$

где  $\varepsilon = 0,4$  - порозность слоя кокса в кислородной зоне,

$D$  – диаметр печи, м;

$\bar{T}$  - средняя температура газа в кислородной зоне;

$R_r$  - протяженность зоны горения к центру печи,  $R_r = 0,35 - 0,45$  м.

Из (12) следует, что соотношение  $\sum S_{\phi} / S$  уменьшается с увеличением диаметра печи. В таблице 2 этот параметр был определен по формуле (12).

Уменьшение  $\sum S_{\phi} / S$  увеличивает сопротивление на вход из фурм в коксовую насадку в соответствии с формулой (6), но для достижения оптимальных параметров по дутью ( $q_0 = 1,9 - 2,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$ ) необходимо применять

воздуходувки с большим номинальным давлением, чем рекомендуется «Ги-промезом» [8].

По данной методике, используя ПЭВМ, провели расчет потерь напора для всего нормального ряда вагранок [8, с.167].

**Таблица 2 – Расчетные потери напора для вагранок нормального ряда**

Н <sub>в</sub> , мм	Д, мм	v <sub>0</sub> , м/с	Н <sub>хк</sub> , м	Н <sub>кз</sub> , м	Количество фурм, шт	Диаметр фурм, мм	$\frac{\sum S_{\phi}}{S}$	Сумма коэффициентов сопротивления от вентилятора до вагранки	Общая сумма к-тов воздушного тракта	$\sum h_{nom}$ (8) мм.в.ст
5000	850	2,0	1,045	0,35	4	147	0,10	420	5440	1500
5500	1100	2,0	1,22	0,4	5	155	0,09	420	5785	1580
5750	1350	1,9	1,395	0,42	6	156	0,08	442	6930,5	1645
6000	1700	1,8	1,64	0,45	6	155	0,05	450	11514,3	2453
6500	2100	1,7	1,92	0,47	7	137	0,03	473	24393,7	4635

Рекомендуемый проектный напор вентилятора должен быть на 5 % больше  $\sum h_{nom}$ , т.е.  $H = 1,05 \sum h_{nom}$ .

**Выводы.** Воздуходувные средства существующих вагранок не дают требуемого напора дутья и не позволяют вести технологию плавки в режиме оптимальных параметров по производительности и температуре выплавляемого чугуна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В.П. Газодинамика доменного процесса. – М.: Metallurgy 1982. – 224 с.
2. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. – 373 с.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 2-ое издание. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
4. Селянин И.Ф., Маркс Г.Л. Ваграночный процесс с оптимальным распределением дутья по высоте зоны горения. – Новокузнецк: СибГМА, 1997. – 240 с.
5. Лавров Н.В. Физико-химические основы горения и газификации топлива. – М.: Metallurgizdat, 1957. – 288 с.
6. Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Мочалов С.П. и др. Механика движения материалов в шахтных печах и высота коксовой насадки / Заготовительное производство в машиностроении. 2008. № 9. С. 9 – 11.
7. Селянин И.Ф., Маркс Г.Л., Куценко А.И. и др. Коэффициенты сопротивления плотного слоя материалов ваграночной плавки / Известия вузов. Черная металлургия. 1993. № 11. С. 51 – 54.
8. Справочник по чугунному литью. Под ред. Н.Г. Гиршовича. Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
9. Вопросы теории и практики производства чугуна. – М.: Metallurgy, 1983. – 96 с.

УДК 622.4

Г.В. Галевский, В.С. Кондратенко

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА АЛЮМИНИЯ ПО ТОКУ ПРИ ЕГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрены расчетные методы определения выхода алюминия по току при его электролитическом производстве.

In given article are considered some accounting ways of the determination of the output on current aluminum.

В электролитическом производстве алюминия важное значение имеет выход металла по току, т.е. отношение практически полученного количества металла к теоретически возможному. Выход по току связан с потерями металла следующим выражением

$$\eta = 1 - \Delta m / (q \cdot j_k), \quad (1)$$

где  $\eta$  – выход по току, доля единицы;

$\Delta m$  – потери металла, г/(см<sup>2</sup>·ч);

$q$  – электрохимический эквивалент алюминия, г/(А·ч);

$j_k$  – катодная плотность тока, А/см<sup>2</sup>.

В формуле (1) учитываются потери металла с 1 см<sup>2</sup> поверхности катода в час ( $\Delta m$ ) и количество металла, теоретически образующееся на той же поверхности за то же время ( $q \cdot j_k$ ). Выход по току зависит от многих факторов, среди которых основными являются температура и состав электролита, плотность тока, междуполюсное расстояние, форма и размеры электролизера. На снижение выхода по току также влияют периодические замыкания между анодом и металлом, особенно при низких значениях междуполюсного расстояния (до 2-3 %) и протечи металла через футеровку ванны и транспортных ковшей (1 % и более) [1]. На рисунке 1 приведено влияние некоторых факторов на выход по току [2].

Целью настоящей работы является оценка применимости для определения выхода по току известных функциональных зависимостей, полученных на основе статистической обработки промышленных данных для электролизеров различных типов. Следует отметить, что зависимости такого вида немногочисленны и ограничиваются формулами М.А. Коробова [3, 4] и К. Гротхейма – В.Д. Велча [5, 6].

Формула М.А. Коробова имеет следующий вид:



$$\eta = 1 - \frac{256700 \cdot S_a^{0,21}}{j_a^{0,58} \cdot l \cdot e^{12940/t}}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – выход по току в долях единицы;

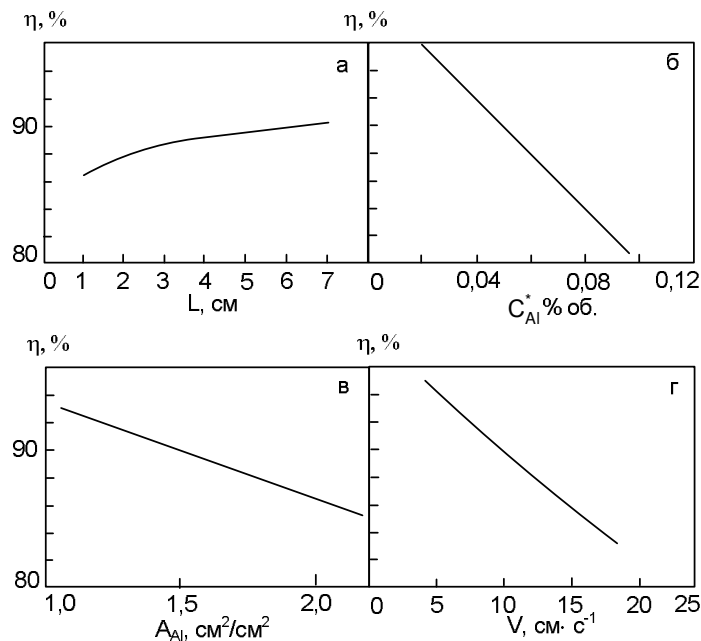
$S_a$  – площадь анода, м<sup>2</sup>;

$j_a$  – анодная плотность тока, А/см<sup>2</sup>;

$l$  – междуполосное расстояние, см;

$t$  – температура электролиза, °С.

Формула (2) получена на основе статистической обработки заводских данных для электролизеров с анодом Содерберга с боковым и верхним токоподводами и охватывает наибольшее число основных параметров электролиза. Соответствующие зависимости выхода по току для некоторого электролизера с площадью анода 25 м<sup>2</sup>, рассчитанные по формуле М.А. Коробова, приведены на рисунке 2.

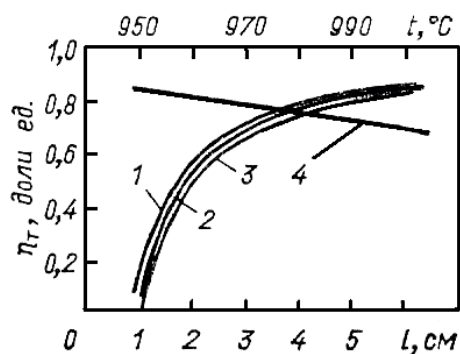


а – от МПР ( $\eta = 90\%$  при МПР = 6 см); б – от растворимости Al в электролите ( $\eta = 90\%$  при  $C^*Al = 0,05\%$  (масс.)); в – от соотношения площадей катода и анода ( $\eta = 90\%$  при  $S_k/S_a = 1,5$ ); г – от скорости движения металла по отношению к электролиту ( $\eta = 90\%$  при  $v = 10$  см/с)

**Рисунок 1 – Зависимость выхода по току от некоторых факторов**

Зависимость выхода по току от расстояния между электродами можно объяснить следующим образом: с уменьшением этого расстояния при прочих равных условиях сила, действующая на электролит со стороны анодных газов, остается практически неизменной, а масса электролита уменьшается, что приводит к усилению циркуляции электролита и повышению потерь металла. В формуле М.А. Коробова не учтено то обстоятельство, что начиная с некоторого междуполосного расстояния, наступает возможность непосредственного контакта между анодными газами и поверхностью металла, который совершает волнообразное движение. Поэтому при малых междуполос-

ных расстояниях падение выхода по току происходит на самом деле быстрее, чем показывают кривые. По этой причине в заводской практике стремятся обеспечить это расстояние в пределах 4 - 5 см. Чем больше размер анода, тем это расстояние больше, поскольку возможность замыканий электродов и волнение металла повышаются с увеличением размера анода. С повышением плотности на аноде (и соответственно на катоде) увеличивается выход по току. Потери металла возрастают с ростом плотности тока, так как увеличивается скорость циркуляции, но не прямопропорционально, а слабее, что и приводит к повышению выхода по току. Особенно резко влияет на выход по току повышение температуры: процессы диффузии ускоряются с повышением температуры по экспоненте, что учитывается формулой М.А. Коробова, и соответственно увеличиваются потери металла. Как следует из формулы М.А. Коробова, чем больше площадь анода, тем энергичнее циркуляция электролита и выше потери алюминия.



**Рисунок 2 – Зависимость выхода по току от расстояния между электродами (1-3) при 960 °С и температуры (4) при анодной плотности тока, А/см<sup>2</sup>: 1 – 0,75; 2 – 0,65; 3 – 0,55**

Формула М.А. Коробова охватывает наибольшее число основных параметров электролиза, но дает несколько заниженные результаты. Так, у электролизера с верхним токоподводом на силу тока 156 кА следующие параметры:  $S_a = 23,1 \text{ м}^2$ ;  $j_a = 0,675 \text{ А/см}^2$ ;  $l = 5,2 \text{ см}$ ;  $t = 960 \text{ °С}$ . Подставив эти значения в формулу М.А. Коробова, получаем  $\eta = 83,2 \%$ , в то время как данные электролизеры в настоящее время имеют выход по току 85,0-85,4 %.

В результате детального изучения производительности электролизеров с обожженными анодами зарубежных предприятий с контролем междуполюсного расстояния и определением выхода алюминия по току К. Гротхеймом и Б.Д. Велчем получена и предлагается к использованию следующая формула:

$$V_t = 163,7 - 0,1388 \cdot t + 0,59 \cdot \text{AlF}_3 + 58,9 \cdot \sin(3 \cdot h) - 0,032 \cdot A, \quad (3)$$

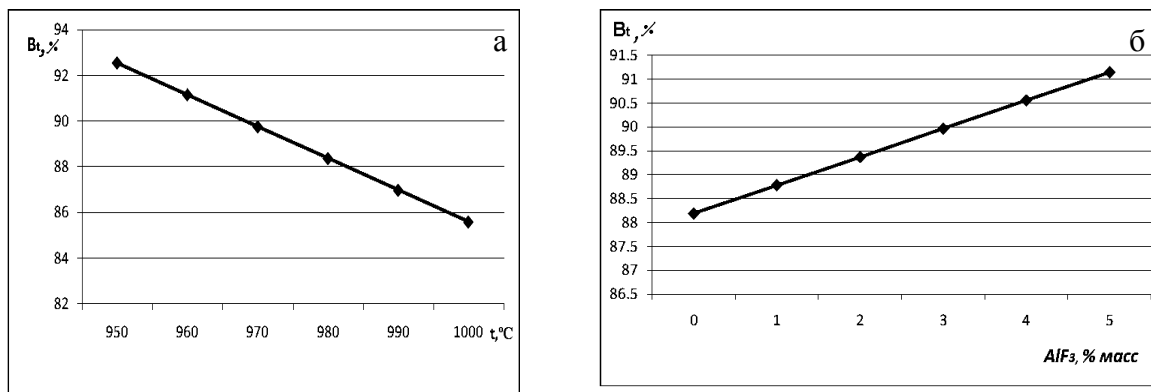
где  $t$  – температура электролита, °С;

$\text{AlF}_3$  – избыток фторида алюминия по сравнению с чистым криолитом, % масс.;

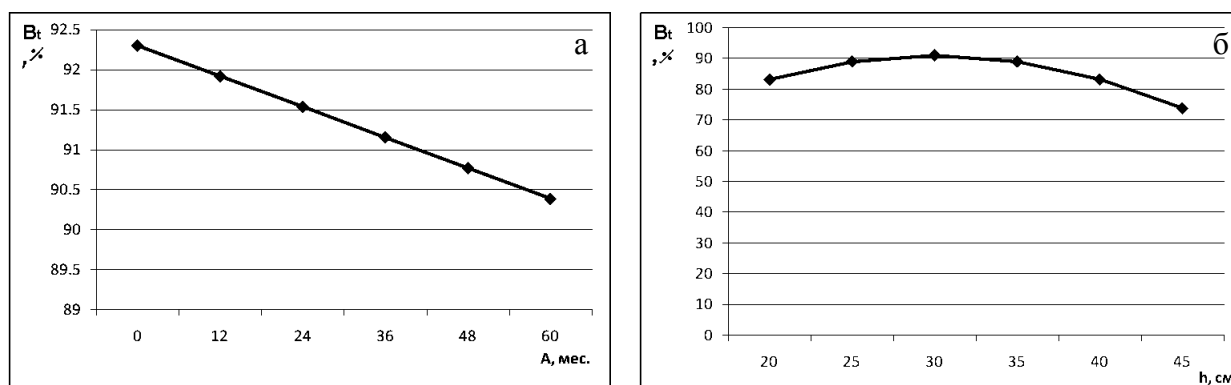
$h$  – уровень металла, см;

$A$  – срок службы электролизера, мес.

С использованием формулы К. Гротхейма – Б.Д. Велча проведено исследование влияния технологических параметров процесса на выход алюминия по току. При этом начальные значения параметров составили: температура 960 С°, избыток фторида алюминия 5 % масс., уровень металла 30 см, время работы электролизера 3 года. Ниже приведены полученные расчетным методом зависимости выхода алюминия по току от температуры, избытка фторида алюминия, продолжительности эксплуатации электролизера, уровня металла в электролизере. При расчете использовалась программа Microsoft Excel.



**Рисунок 3 – Зависимость выхода по току от температуры процесса (а) и избытка фторида алюминия (б)**



**Рисунок 4 – Зависимость выхода по току от времени эксплуатации электролизера (а) и уровня металла в электролизере (б)**

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Известные формулы, связывающие выход по току с параметрами электролизера, содержат эмпирические константы, устанавливаемые из экспериментальных данных, включают только отдельные параметры электролиза и не являются универсальными.

2. Установленный в них характер зависимостей выхода алюминия по току от основных технологических параметров соответствует известным научно-производственным данным.

3. Формула М.А. Коробова получена для электролизеров с анодом Содерберга с боковым и верхним токоподводом, учитывает наибольшее число основных параметров электролиза, но дает заниженные результаты.

4. Значения выхода по току, рассчитанные по формуле К. Гротхейма – Б.Д. Велча, имеют хорошую сходимость с опытными данными, полученными на современных типах электролизеров, что делает возможным применение этой формулы для практических оценок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васюнина И.П. Выход по току: текст лекций VII Высших российских алюминиевых курсов / И.П. Васюнина, П.В. Поляков. – Красноярск, 2004. – 28 с.

2. Grjotheim K. Introduction to aluminium electrolysis / K. Grjotheim, H. Kvande. – Dusseldorf : Aluminium Verlag, 1993. – 260 p.

3. Ветюков М.М. Электрометаллургия алюминия и магния / М.М. Ветюков, А.М. Цыплаков, С.Н. Школьников. – М. : Metallurgia, 1987. – 320 с.

4. Борисоглебский Ю.В. Metallurgia алюминия / Ю.В. Борисоглебский [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2000. – 438 с.

5. Grjotheim K. Aluminium smelter technology / K. Grjotheim, B.J Welch. – Dusseldorf : Aluminium Verlag GMBH, 1980. – 146 p.

6. Галевский Г.В. Metallurgia алюминия. Технология. Электроснабжение. Автоматизация / Г.В. Галевский [и др.]. – М. : Флинта : Наука, 2008. – 528 с.

УДК 669.04

О.Л. Базайкина, М.В. Темлянцев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ЗАДАЧА ОБ ОСТЫВАНИИ СТАЛЬНОГО БРУСА С СЕЧЕНИЕМ В ВИДЕ ПРАВИЛЬНОГО МНОГОУГОЛЬНИКА

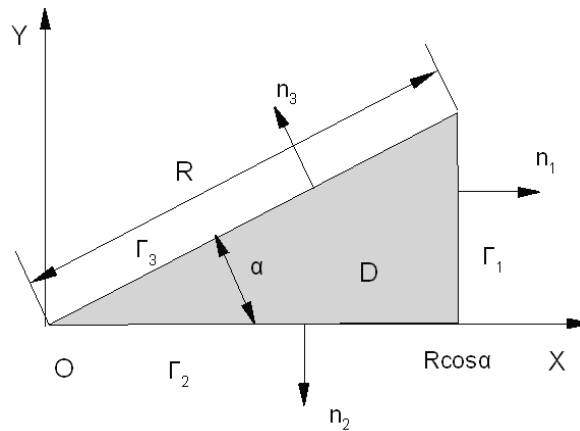
Поставлена и решена задача для уравнения теплопроводности, моделирующая остывание нагретого до высокой температуры стального бруса с сечением в виде правильного многоугольника.

Is delivered and solved the problem for the heat conduction equation, simulating cooling of a steel beam, heated up to high temperature, with section as a regular polygon is decided

**1. Постановка задачи.** В настоящее время в кузнечном производстве широкое распространение получили слитки, имеющие в поперечном сечении форму 8, 12 и 16-ти гранников. В прокатном производстве получают заготовки, имеющие в поперечном сечении форму шестигранника. При расчете процессов нагрева или охлаждения тел такой формы используют либо математические модели, реализованные на ЭВМ с помощью численных методов, либо с рядом допущений аналитические решения для цилиндра или квадратной призмы бесконечной длины. Отсутствие точных аналитических решений для нахождения температурных полей в стальных брусах бесконечной длины, имеющих в сечении форму правильного многоугольника, приводит к значительным погрешностям расчетов их теплового состояния в процессах нагрева и охлаждения, является ощутимым препятствием на пути вскрытия резервов по оптимизации и рационализации теплотехнологий. В связи с этим в рамках данной работы была поставлена задача – получить решение уравнения теплопроводности для нахождения нестационарных температурных полей в бесконечно длинном бруске, имеющем в поперечном сечении форму правильного многоугольника.

Рассматривается брус с сечением в виде правильного многоугольника, достаточно длинный для того, чтобы считать распределение температуры в бруске однородным по его длине. В момент времени  $t = 0$  температура на поверхности бруса равна  $u_0$ , брус помещается в среду с нулевой температурой (в градусах стоградусной шкалы). При постоянной температуре среды  $0^\circ\text{C}$  происходит охлаждение бруса. На его поверхности задан теплообмен со средой по закону Ньютона. В силу симметрии сечения и условий задачи правильный  $n$ -угольник сечения можно разбить на  $n$  одинаковых областей-

треугольников, а каждый такой треугольник — на два одинаковых треугольника с одинаковыми и симметричными температурными полями. Очевидно, что внутренние границы каждого из  $2n$  таких треугольников должны быть теплоизолированными (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Геометрия элементарного треугольника в правильном  $n$ -угольном сечении бруса**

Математическая постановка этой задачи такова. Требуется найти решение  $u(t, x, y)$  уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

такое, что на границе области  $D$  выполняются условия:

- 1) на  $\Gamma_1$  задан теплообмен со средой:

$$k \cdot \frac{\partial u}{\partial n_1} = -h(u - u_0), \quad u_0 = 0, \quad k \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + h \cdot u = 0 \quad \text{при } x = R \cdot \cos \alpha,$$

здесь  $k$  - коэффициент теплопроводности,  $h$  - коэффициент теплообмена,  $R$  - радиус описанной вокруг сечения окружности,  $\alpha$  - угловой размер области  $D$ ,  $n_1$  - единичная нормаль к  $\Gamma_1$ ;  $k, h = \text{const}$ .

- 2) отрезок  $\Gamma_2$  ( $y = 0, 0 \leq x \leq R \cdot \cos \alpha$ ) теплоизолирован:

$$\frac{\partial u}{\partial n_2} = \frac{\partial u}{\partial y} = 0;$$

- 3) отрезок  $\Gamma_3$  ( $y = \tan \alpha \cdot x, 0 \leq x \leq R \cdot \cos \alpha$ ) теплоизолирован:

$$\frac{\partial u}{\partial n_3} = (\nabla u \cdot \bar{n}_3) = 0, \quad \nabla u = \left( \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y} \right), \quad \bar{n}_3 = (-\sin \alpha, \cos \alpha),$$

$$-\sin \alpha \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + \cos \alpha \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \quad \tan \alpha = \frac{\partial u / \partial y}{\partial u / \partial x} \quad \text{на отрезке } y = \tan \alpha \cdot x.$$

**2. Общее решение задачи.** Решение уравнения (1) ищется методом разделения переменных [1]:  $u(t, x, y) = T(t) \cdot X(x) \cdot Y(y)$ , в силу чего само

уравнение распадается на связанные обыкновенные обыкновенные дифференциальные уравнения :

$$\frac{T'}{T} = a^2 \left( \frac{X''}{X} + \frac{Y''}{Y} \right), \quad \frac{X''}{X} = \text{const} = -\nu^2, \quad \frac{Y''}{Y} = -\lambda^2, \quad \frac{T'}{T} = -a^2 (\nu^2 + \lambda^2),$$

где  $\nu^2, \lambda^2$  - неопределённые положительные постоянные. Решения  $X(x)$  и  $Y(y)$  имеют вид:

$$X(x) = A \cdot \cos \nu x + B \cdot \sin \nu x, \quad Y(y) = C \cdot \cos \lambda y + D \cdot \sin \lambda y.$$

Здесь  $A, B, C, D$  - неопределённые постоянные. Выполнение граничного условия 2) на  $\Gamma_2$  требует, чтобы  $D = 0$ . Таким образом, уравнение (1) и граничное условие 2) определяют вид решения по переменным  $x, y$ :

$$u(t, x, y) = T(t) \cdot C \cdot \cos \lambda y (A \cdot \cos \nu x + B \cdot \sin \nu x).$$

Далее, выполнение условия 1) на  $\Gamma_1$  приводит к уравнению связи между постоянными  $\nu, A, B$ :

$$\tan(\nu R \cos \alpha) = \frac{kB\nu + hA}{kA\nu - hB}. \quad (2)$$

При  $B \neq 0$  возникает возможность бесконечных значений в уравнении (2). Поэтому примем:  $B = 0$ . Получаем алгебраическое уравнение

$$\tan(\nu R \cos \alpha) = \frac{h}{k} \cdot \frac{1}{\nu} \quad \text{или} \quad \tan(z) = \frac{b}{z}, \quad z = \nu R \cos \alpha, \quad b = \frac{hR \cos \alpha}{k},$$

корнями  $\nu_0, \nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n, \dots$  которого являются собственные числа задачи, определяющие собственные функции  $X_n(x) = \cos \nu_n x$ . Решение приобретает вид:

$$u(t, x, y) = T(t) \cdot C \cdot \cos \lambda y \cdot A_n \cos \nu_n x.$$

Наконец, выполнение граничного условия 3) на  $\Gamma_3$  приводит к соотношению:

$$\frac{\lambda}{\nu_n} \cdot \frac{\tan(\lambda \cdot \tan \alpha \cdot x)}{\tan(\nu_n \cdot x)} = \tan \alpha, \quad (3)$$

которое точно выполняется при  $\alpha = \pi/4$  (брус квадратного сечения), при этом собственные числа  $\lambda_n$  совпадают с собственными числами  $\nu_n$  (что и понятно — задача симметрична относительно координатных осей). В общем случае сечения — правильного  $n$ -угольника имеем  $\alpha = \pi/n$ , уравнение (3) выполняется приближённо. Это означает, что при неквадратном сечении бруса через границу  $\Gamma_3$  может происходить переток тепла. В этом случае надо изменить граничные условия на  $\Gamma_3$  так, чтобы из них можно было получить собственные числа  $\lambda_m$  задачи. Имея общее представление решения через собственные функции задачи:

$$u_{mn}(t, x, y) = T(t) \cdot C_{mn} \cdot \cos \lambda_{my} \cdot \cos \nu_n x,$$

подставив его в дифференциальное уравнение для функции  $T(t)$ , нетрудно получить полное представление произвольного частного решения уравнения (1):

$$u_{mn}(t, x, y) = E_{mn} \cdot \exp(-a^2(\lambda_m^2 + \nu_n^2)t) \cdot \cos \lambda_m y \cdot \cos \nu_n x.$$

Общее решение уравнения теплопроводности с указанными выше граничными условиями имеет вид:

$$u(t, x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \left( \sum_{n=0}^{\infty} E_{mn} \cdot \exp(-a^2(\lambda_m^2 + \nu_n^2)t) \cdot \cos \lambda_m y \cdot \cos \nu_n x \right).$$

Используем начальное условие задачи:  $u(t=0, x=R \cdot \cos \alpha, y) = u_0$ , получим разложение постоянной  $u_0$  по собственным функциям  $Y_m(y)$ :

$$u_0 = \sum_{m=1}^{\infty} g_m \cos \lambda_m y, \quad g_m = \sum_{n=0}^{\infty} E_{mn} \cdot \cos(\nu_n R \cos \alpha).$$

Система функций  $\{\cos \lambda_m y\}$  является ортогональной на отрезке  $[R \cos \alpha, -R \cos \alpha]$  и коэффициенты  $g_m$  легко находятся как коэффициенты ряда Фурье [2,3]. Ограничившись конечным числом членов разложения  $g_m$  в ряд:

$$g_m = \sum_{n=1}^N E_{mn} \cdot \cos(\nu_n R \cos \alpha),$$

получим систему линейных алгебраических уравнений для определения коэффициентов  $E_{mn}$  решения полной задачи.

**3. Частный случай — брус квадратного сечения.** Так как  $\lambda_n = \nu_n$ , то общее решение задачи запишется:

$$u(t, x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} E_n \exp(-2a^2 \nu_n^2 t) \cdot \cos \nu_n y \cdot \cos \nu_n x, \quad (4)$$

разложение постоянной  $u_0$  по базису из собственных функций представляется:

$$u_0 = \sum_{m=1}^{\infty} g_m \cos \nu_m y, \quad g_m = E_m \cdot \cos(\nu_m R \cos \alpha).$$

Домножив разложение  $u_0$  по базису  $\{\cos \nu_m y\}$  на функцию  $\cos \nu_m y$  этого базиса и проинтегрировав обе части по общему периоду  $[R \cos \alpha, -R \cos \alpha]$  функций базиса, получим:

$$\int_0^{R \cos \alpha} u_0 \cos \nu_m y \cdot dy = \sum_{n=0}^{\infty} g_n \int_0^{R \cos \alpha} \cos \nu_n y \cdot \cos \nu_m y \cdot dy = g_m \int_0^{R \cos \alpha} \cos^2 \nu_m y dy,$$

$$\frac{u_0}{\nu_m} \cdot \sin(\nu_m R \sin \alpha) = \frac{g_m}{2\nu_m} \cdot (\nu_m R \cos \alpha - \sin(\nu_m R \cos \alpha) \cdot \cos(\nu_m R \cos \alpha)).$$

Учитывая, что при  $n = 1, 2, 3, \dots$   $\nu_n R \cos \alpha = z_n \approx n\pi$ ,  $\sin(\nu_n R \cos \alpha) \approx 0$ , получаем:

$$g_0 = \frac{u_0 \sin(\nu_0 R \sin \alpha)}{\nu_0 R \cos \alpha}, \quad g_m = \frac{2u_0 \sin(\nu_m R \sin \alpha)}{\nu_m R \cos \alpha}, \quad m = 1, 2, \dots$$

Отсюда  $E_m = g_m / \cos(\nu_m R \cos \alpha)$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$



Рассмотрим конкретный вариант задачи. Металлический брус квадратного сечения имеет следующие характеристики [4]:

$$R = 0,1 \text{ м}, \quad a = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}, \quad k = 45 \text{ Вт/м} \cdot \text{°К}, \quad h = 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°К}.$$

Собственные числа находим как корни уравнения:

$$\tan(z) = \frac{b}{z}, \quad z = \nu R \cos \alpha, \quad b = \frac{hR \cos \alpha}{k} = 0.0157,$$

сами корни легко вычисляются методом секущих с помощью функции root пакета программ Mathcad при подходящем начальном приближении:

$$z := z^*, \quad \text{root}(\tan(z) - 0.0157/z, z) = z_m, \quad \nu_m = z_m/R \cos \alpha.$$

Первые 11, наибольшие по величине, собственные числа представлены в таблице.

**Таблица – Собственные числа  $\nu_m$  и соответствующие им коэффициенты  $E_m$  решения задачи**

m	0	1	2	3	4	5
$\nu_m$	1,768	44,512	88,911	133,324	177,768	222,192
$E_m$	1005	3,737	1,200	0.563	0,593	0,431

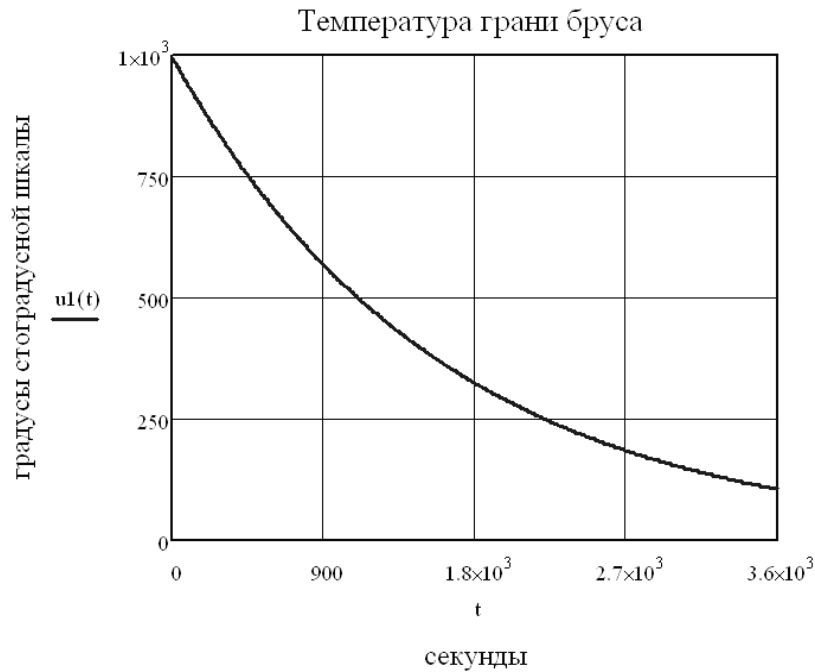
m	6	7	8	9	10
$\nu_m$	266,62	311,061	355,488	399,929	444,356
$E_m$	0,353	0,381	0,323	0,348	0,305

Приходим к приближённому решению задачи в виде отрезка бесконечного ряда (4):

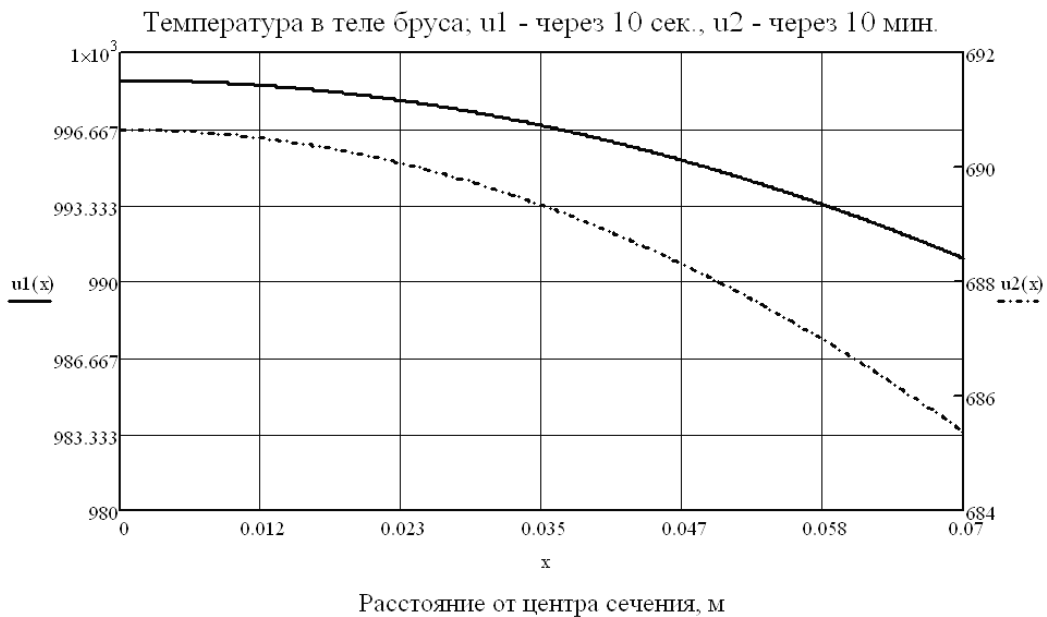
$$u(t, x, y) \approx \sum_{n=0}^{10} E_n \exp(-2a^2 \nu_n^2 t) \cdot \cos \nu_n y \cdot \cos \nu_n x.$$

Следует отметить особенность решения (4). В силу симметрии геометрии сечения и граничных условий относительно координатных осей можно пользоваться этим решением для всего квадратного сечения бруса, а не только для выделенной треугольной области D.

На рисунках 2 и 3 представлены графики распределения температуры во времени и по сечению бруса. Видно, что градиент температуры в теле бруса мал ввиду небольших размеров сечения и достаточно высокого коэффициента теплопроводности. Наиболее существенным результатом является возможность прогнозирования во времени температур остывания бруса.



**Рисунок 2 – Изменение температуры поверхности грани в процессе остывания бруса**



**Рисунок 3 – Распределение температуры по телу бруса в процессе его остывания**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Араманович И.Г. Уравнения математической физики [Учебное пособие] / И.Г. Араманович, В.И. Левин // М.: Наука, 1969. – 286 с.
2. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров [Монография] / М.: Мир, 1985. – 383 с.
3. Кошляков Н.С. Уравнения в частных производных математической физики [Учебное пособие] / М.: Высшая школа, 1970. – 710 с.
4. Теплотехника металлургического производства [Учебное пособие] / Под ред. В.А. Кривандина / М.: МИСИС, 2002. – 606 с.

УДК 621.73

М.В. Филиппова, А.В. Бахаев, Г.С. Котлов, В.Н. Перетяцько

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## МАЛООТХОДНАЯ ШТАМПОВКА ИЗ ШАРОВОЙ ЗАГОТОВКИ

В работе представлены результаты штамповки из цилиндрической и шаровой заготовки. Можно рекомендовать шаровую заготовку для технологических процессов штамповки.

In the article outcomes drop forging of metals from cylinder and sphere of storing. It is possible to recommend sphere of storing to processing of metals by pressure.

Развитие кузнечно-штамповочного производства позволяет в настоящее время получать точные по массе поковки с минимальными припусками на механическую обработку и с существенным уменьшением металлоотходов за счет применения безоблойной схемы штамповки. Но широкое внедрение этой прогрессивной технологии сдерживается отсутствием достаточно простого, экономичного и вместе с тем высокопроизводительного процесса получения точных заготовок. Традиционные способы получения заготовок резкой сдвигом характеризуются следующими недостатками:

- разделительные операции сопровождаются колебанием массы заготовок за счет искажений геометрии торцов заготовки и изменения ее длины. Поэтому штамповка поковок из таких заготовок происходит с облоем;

- разделительные операции нередко сопровождаются дефектами (трещины, сколы) по торцам заготовки, что может приводить к браку штампованных поковок;

- нагрев заготовок перед штамповкой вызывает необходимость защиты всей поверхности заготовки от окалины, которая снижает эксплуатационные характеристики штампового инструмента и качество поверхности поковки;

- цилиндрические заготовки в момент штамповки имеют перепад температуры по сечению, что существенно снижает ресурс пластичности металла;

- цилиндрические заготовки необходимо ориентировать в штампе.

Все вышеперечисленные недостатки делают процесс штамповки и последующую их механическую обработку более трудоемкой, снижают коэффициент использования металла, а также сужают номенклатуру штампуемых деталей. Поэтому поиск других форм заготовок, которые уменьшили бы

негативные явления, сопровождающие штамповку цилиндрических заготовок актуален.

Одним из таких перспективных направлений является штамповка осесимметричных деталей (шестерни, диски, ролики) из шаровых заготовок. Небольшое удорожание шаровой заготовки по сравнению с цилиндрической заготовкой компенсируется следующими преимуществами:

- шаровая поверхность имеет минимальную площадь поверхности по сравнению с любой другой формой заготовки равного объема и может быть качественно защищена от окисления при нагреве;

- при движении шара через проходной индуктор ТВЧ достигается более равномерный прогрев заготовки по сравнению с цилиндрической. Таким образом, в момент штамповки наблюдается меньший перепад температуры по сечению шаровой заготовки, что повышает ресурс ее пластичности;

- шаровая заготовка имеет большую точность по массе, что создает возможность для безоблойной штамповки;

- при штамповке из шаровых заготовок не требуется ориентации при подаче их в штамп;

- шаровая заготовка обеспечивает меньшую разнотолщинность штампованной детали за счет посадки ее в матрицу с расчетным натягом;

- отсутствие окалины на поверхности шаровой заготовки позволяет повысить работоспособность штампового инструмента.

Для широкого промышленного использования технологии штамповки из шаровой заготовки более приемлемой является схема с централизованным производством шаровых заготовок различных типоразмеров на базе шаропрокатного стана, установленного на металлургическом предприятии.

Промышленная апробация отдельных звеньев технологической линии по производству заготовок, по нагреву и штамповке из них осесимметричных поковок позволила разработать комплексный технологический процесс, на основании которого на Новокузнецком металлургическом комбинате (НКМК) построен специализированный кузнечный цех. На шаропрокатном стане 80-125 производительностью 150 тысяч тонн шаров в год получают заготовки для поставок на некоторые машиностроительные предприятия.

Технологическая линия для штамповки из шаровой заготовки на НКМК выглядит следующим образом. В заготовительном отделении цеха на шаропрокатном стане предусмотрено прокатывать шаровые заготовки диаметром 80...125 мм. Исходный сортовой прокат поставляется из прокатного цеха комбината. Нагрев проката происходит в печи с шагающей балкой до температуры 1150-1250°С. В валках шаропрокатного стана происходит прокатка шара, отделение шара от штанги и последующая калибровка. На поверхности шара не допускаются трещины, закаты и другие дефекты.

Для оценки отклонения массы прокатных шаров был проведен статистический анализ результатов взвешивания двух партий шаров диаметром 93 мм по 50 штук в каждой партии. Прокатку шаров проводили на шаропрокатном стане ОАО «НКМК».

По результатам первой серии испытаний на новых прокатных валках ( $n=50$ ) было получено выборочное среднее значение  $m=3335$ г., выборочная дисперсия  $S^2=946,79$  и среднее квадратическое отклонение  $S=30,77$ . Ширина доверительного интервала для математического ожидания:

$$\Delta m = \frac{s}{\sqrt{n}} t \quad (1)$$

составляет  $\Delta m = \pm 9,2$ . Следовательно, для доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  доверительные интервалы средней массы шара равны:

$$3344\text{г.} < m < 3326\text{г.}$$

По результатам второй серии испытаний после прокатки 800т. имеем  $n=50$ ;  $m=3330$ г. ;  $S^2=989,1$ ;  $S=31,45$  и  $\Delta m = \pm 9,2$ . Таким образом, масса шара может составлять от 3326г. до 3344г. для первой серии и от 3321г. до 3339г. для второй серии опытов. Максимальная относительная ошибка массы шара составляет около 0,3%. Критерий равенства двух совокупностей определяли по F – критерию:

$$F = S^2/S^2 < F_{\alpha} \quad (2)$$

Можно считать, что результаты двух проведенных исследований принадлежат одной генеральной совокупности.

Таким образом, отклонение массы шаровой заготовки от среднего значения незначительно, и шаровую заготовку можно с успехом использовать для безоблойной штамповки осесимметричных поковок. Исследования подтверждают данные других авторов [1,2].

В связи с тем, что после прокатки шаровая заготовка имеет два полюса отрыва (место отделения шара от прутка) провели исследование связанные с ориентацией осей полюсов на качество поковки при осадке. Для этого шаровые заготовки нагретые до ковочной температуры осаживали на плоских плитах до высоты 22 мм, при этом величина относительной деформации составляла 76%. Осадку шаров проводили с расположением оси полюсов горизонтально (параллельно плоскости плит), вертикально (перпендикулярно плоскости плит) и под углом  $45^\circ$  к плоскости плит.

Исследования показали, что в том случае, когда ось полюсов отрыва заготовки прутка расположена горизонтально и полюс отрыва находится на свободной боковой поверхности, на поковке наблюдается раскрытие рисок и мелких трещин, которые образовались во время прокатки. Максимальная ширина раскрытия трещин до 2 мм и глубина трещин до 0,75 мм. Количество и размеры дефектов вблизи полюсов отрыва зависят от условий прокатки шаров, настройки стана и износа калибров. При соответствующей настройке валков и соблюдения технологии прокатки в месте отрыва шаров от прокатываемой штанги трещины и рыхлости металла практически отсутствуют.

Из всех осаженных заготовок вырезали темплеты для исследования макроструктуры и замеров твердости, при этом плоскость разреза поковки из

шаровой заготовки проходила через полюса отрыва. Направление волокон, выявленное после травления реактивом Фри, слабо зависит от положения полюсов при осадке шара.

При вертикальном расположении оси полюсов шара волокна вытянуты и симметрично изогнуты в соответствии с контуром заготовки. При горизонтальном расположении оси полюсов волокна также вытянуты и симметрично изогнуты в соответствии с контуром заготовки. При расположении оси под углом 45° волокна вытянуты относительно полюсов и расположены несимметрично.

Таким образом, исследования показали, что при осадке заготовки из шара текстура металла не зависит от расположения оси полюсов перед осадкой, и шаровую заготовку можно штамповать с любым расположением осей полюсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошаров А.А. Применение поперечно-винтовой прокатки в кузнечно-штамповочном производстве / А.А. Мошаров – Кузнечно-штамповочное производство, 1969, №12. С. 38, 39.

2. Специальные прокатные станы / А.И. Целиков, М.В. Барбарич, М.В. Васильчиков и др. – М.: Металлургия, 1971. – 336 с.

УДК 669.046.564:621.785

В.Н. Перетяцько, М.В. Темлянцев, А.В. Бахаев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ШАРОВОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВОК ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ГОРЯЧУЮ ОБЪЕМНУЮ ШТАМПОВКУ

В статье представлены результаты теоретических исследований теплового состояния шаровой и цилиндрической заготовок при нагреве под горячую объемную штамповку.

In the article the outcomes of theoretical researches of a thermal condition of spherical and cylindrical bars are shown at heating under hot volumetric punching.

Замена цилиндрических заготовок на шаровые при горячей объемной штамповке осесимметричных деталей существенно изменяет теплофизические условия, температурные и тепловые режимы нагрева металла в печах и индукционных установках.

В связи с этим проведены многофакторные сравнительные исследования теплофизических особенностей нагрева шаровой заготовки диаметром  $D = 60$  мм и цилиндрической заготовки диаметром  $D = 49$  мм и высотой  $H = 60$  мм, выполненной из углеродистой стали марки 40. Примем, что начальная температура металла  $t_0 = 0 \dots 20$  °С распределение температуры по толщине металла равномерно. Конечная температура нагрева  $t_k = 1200$  °С. Теплофизические свойства стали определяли по справочным данным [1, 2], средними в исследуемом интервале температур, коэффициент теплопроводности  $\lambda = 35,9$  Вт/(м·К), коэффициент температуропроводности  $a = 7,75 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Нагрев указанных заготовок реализуют в индукционных установках или печах скоростного струйного нагрева при коэффициенте теплоотдачи  $\alpha = 600$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [3]. При пламенном нагреве температура греющей среды  $t_c = 1250$  °С.

### *Разработка расчетной модели*

Анализ термической массивности указанных заготовок показывает, что числа Био для шара и цилиндра соответственно составляют:

$$Bi_{ш} = \alpha R / \lambda = 600 \cdot 0,03 / 35,9 = 0,5 > 0,25 \quad (1)$$

$$Bi_{ц} = \alpha R / \lambda = 600 \cdot 0,0245 / 35,9 = 0,41 > 0,25$$

Поскольку числа Био превышают пороговое значение 0,25, то шаровая заготовка относится к термически массивному телу простой формы типа

«шар». Цилиндрическая заготовка исследуемых размеров относится к термически массивному телу типа «ограниченный цилиндр». Характерные точки для исследуемых тел представлены на рисунке 1.

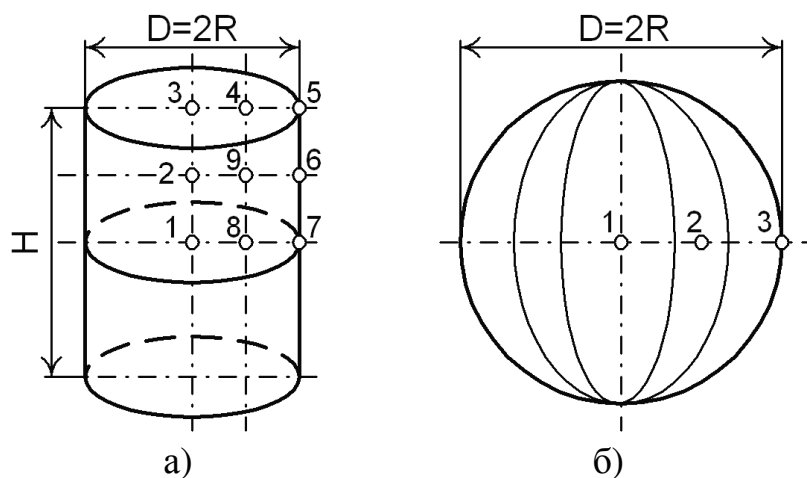
Для решения задачи внутреннего теплообмена при нагреве шара при граничных условиях III рода ( $\alpha = \text{const}$ ,  $t_c = \text{const}$ ) использовали аналитическое решение дифференциального уравнения теплопроводности для шара [4] при этом учитывали первые шесть членов суммы ряда:

$$\Theta_{\text{ш}} = \frac{t_{(r,\tau)} - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum_{n=1}^6 A_n \frac{R \sin \mu_n \frac{r}{R}}{r \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (2)$$

где  $\Theta_{\text{ш}}$  – безразмерная температура;  $A_n = \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n}$ ;  $\mu_n$  –

корни характеристического уравнения  $\text{tg} \mu = -\frac{\mu}{\text{Bi} - 1}$ ;  $r/R$  – относительная

координата,  $t_{(r,\tau)}$  – искомая температура в текущей координате в заданный момент времени,  $Fo = \alpha \tau / R^2$  относительное время,  $\tau$  – время нагрева, с. Температуры в характерных точках  $t_1, t_2$  и  $t_3$ , определяли для соответствующих относительных координат  $r/R = 0; 0,5$  и  $1$ . Расчет реализовали с применением численно-аналитического метода (ЧАМ) [5] в среде Microsoft Excel.



**Рисунок 1 – Характерные точки для исследуемых тел**

Для решения задачи внутреннего теплообмена при нагреве цилиндра конечных размеров при граничных условиях III рода ( $\alpha = \text{const}$ ,  $t_c = \text{const}$ ) использовали аналитическое решение дифференциального уравнения теплопроводности для бесконечной пластины (3) (плоскость  $x$ ) и бесконечного цилиндра (4) (плоскость  $y$ ) [4]:

$$\Theta_{\text{п}} = \sum_{i=1}^6 \frac{2 \sin \eta_i}{\eta_i + \sin \eta_i \cos \eta_i} \cos\left(\eta_i \frac{x}{S}\right) \exp(-\eta_i^2 Fo), \quad (3)$$



где  $x/s$  – относительная координата;  $\eta_i$  – корень трансцендентного уравнения  $\frac{\eta_i}{Bi} = \text{ctg}\eta_i$ ; в расчетах использовали первые шесть членов ряда ( $i=6$ );  $S$  – характерный размер, м;

$$\Theta_{\text{ц}} = \frac{t_{(r,\tau)} - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum_{n=1}^6 A_n J_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (4)$$

где  $A_n = \frac{2Bi}{(\mu_n^2 + Bi^2) J_0(\mu_n)}$  – постоянные коэффициенты (начальные тепловые амплитуды);  $J_0$  – функции Бесселя [4].

Безразмерные температуры в характерных точках находили посредством перемножения температурных критериев [6]:

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= \Theta_{\text{п}, x/s=0} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=0}, & \Theta_2 &= \Theta_{\text{п}, x/s=0,5} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=0}, & \Theta_3 &= \Theta_{\text{п}, x/s=1} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=0}, \\ \Theta_4 &= \Theta_{\text{п}, x/s=1} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=0,5}, & \Theta_5 &= \Theta_{\text{п}, x/s=1} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=1}, & \Theta_6 &= \Theta_{\text{п}, x/s=0,5} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=1}, \\ \Theta_7 &= \Theta_{\text{п}, x/s=0} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=1}, & \Theta_8 &= \Theta_{\text{п}, x/s=0} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=0,5}, & \Theta_9 &= \Theta_{\text{п}, x/s=0,5} \cdot \Theta_{\text{ц}, r/R=0,5} \end{aligned} \quad (5)$$

Расчет аналогичным образом, как и в случае шара, реализовали с применением численно-аналитического метода (ЧАМ) [5] в среде Microsoft Excel.

На основе данных, полученных в результате расчета температурных полей определяли поверхностный угар  $Y$ , г/см<sup>2</sup> стали по соотношению

$$Y = k \sqrt{\tau}, \quad (6)$$

где  $\tau$  – продолжительность окисления, мин;  $k$  – константа скорости окисления, г/(см<sup>2</sup>·мин<sup>0,5</sup>).

Константу скорости окисления определяли по соотношению

$$k = A \exp\left(-\frac{B}{T}\right), \quad (7)$$

где  $A$  и  $B$  – эмпирические коэффициенты, для стали марки 40 равные 6,78 г/(см<sup>2</sup>·мин<sup>0,5</sup>) и 7877 К соответственно [7, 8].

Поскольку угар существенно интенсифицируется при температурах стали более 900 °С, его расчет начинали в момент времени  $\tau_0$  при достижении температуры поверхности заготовок этого значения.

Поскольку соотношения (6) и (7) предназначены для расчета угара при постоянной температуре поверхности металла, траекторию изменения температуры поверхности  $t = f(\tau)$  заменяли отрезками продолжительностью  $\Delta\tau$ , при этом принимали, что на участке  $\Delta\tau$  температура поверхности металла  $t$  постоянна и равна средней температуре  $t_i^{\text{cp}}$  поверхности в  $i$ -ом временном интервале.

Указанную среднюю температуру используют для определения угара в соотношении (7). Таким образом, на каждом  $i$ -ом временном интервале

рассчитывали прирост угара стали  $\Delta U_i$ . Суммируя прирост угара на каждом временном интервале по формуле

$$U = \sum_{i=1}^n \Delta U_i \quad (8)$$

определяли общий угар  $U$  стали за весь период нагрева. При задании шага по времени 2 с используемая методика обеспечивает достаточно высокую точность расчета [8].

Плотность теплового потока  $q$ , Вт/м<sup>2</sup> от среды к поверхности металла рассчитывали по соотношению

$$q = \alpha(t_c - t_{\text{пов}}), \quad (9)$$

где  $t_{\text{пов}}$  – температура поверхности заготовки, °С.

На основе разработанных расчетных моделей провели сравнительные исследования трех вариантов нагрева:

1 – нагрев цилиндрической и шаровой заготовок производят при одинаковых условиях внешнего теплообмена ( $\alpha = \text{idem}$ ) и при одинаковой продолжительности ( $\tau = \text{idem}$ );

2 – нагрев цилиндрической и шаровой заготовок производят при одинаковых условиях внешнего теплообмена ( $\alpha = \text{idem}$ ) и до одинаковой ( $\pm 3$  °С) средней температуры по сечению  $t_{\text{ср}}$  ( $t_{\text{ср}} = \text{idem}$ ), характеризующей общее теплосодержание заготовки;

3 – нагрев цилиндрической и шаровой заготовок производят при одинаковой продолжительности ( $\tau = \text{idem}$ ) и до одинаковой ( $\pm 3$  °С) средней температуры по сечению ( $t_{\text{ср}} = \text{idem}$ ).

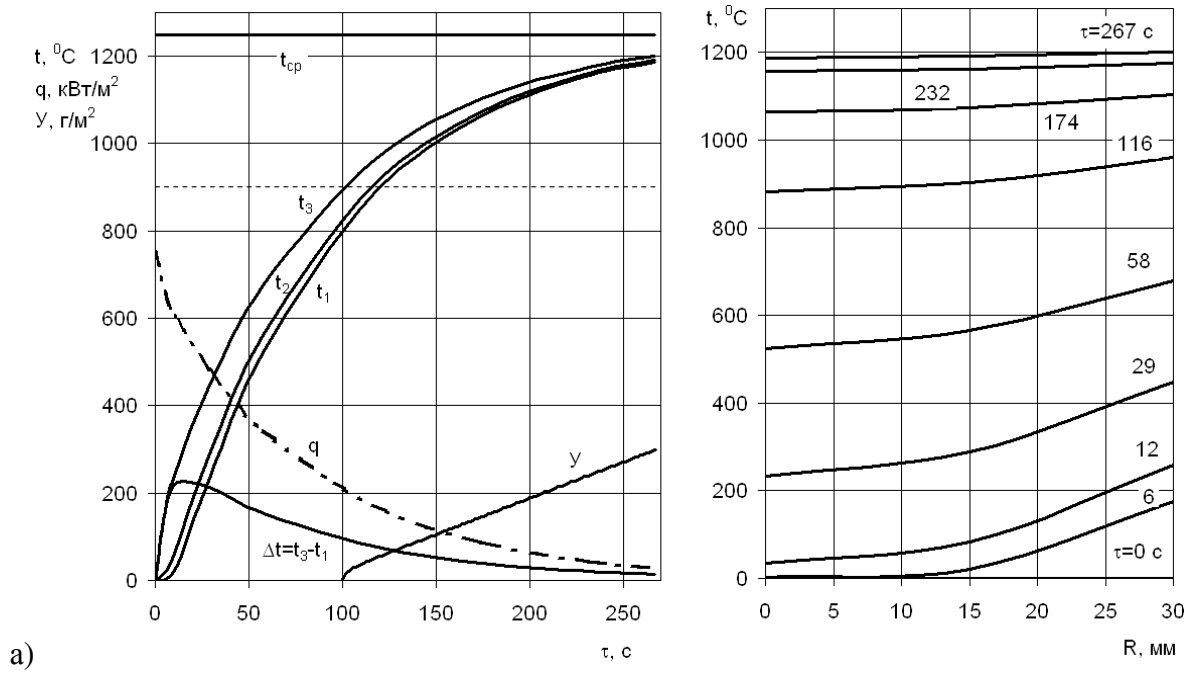
Параметры различных вариантов нагрева представлены в таблице.

#### *Анализ результатов многовариантных расчетов теплового состояния заготовок*

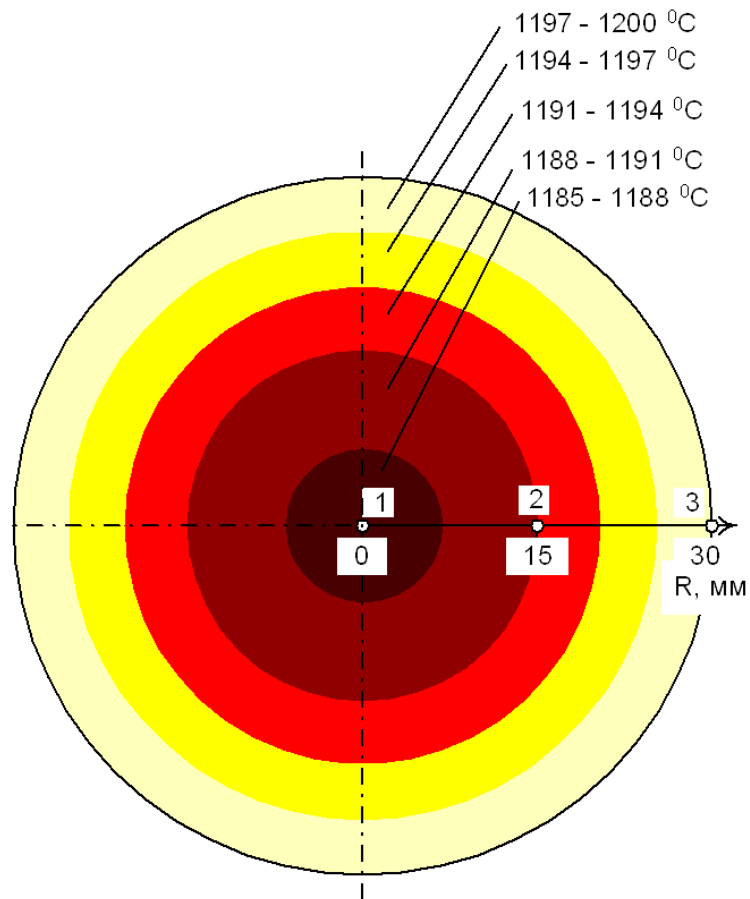
На рисунках 2 – 5 и в таблице представлены результаты многовариантных расчетов. Нагрев шара до температуры поверхности 1200 °С реализован за  $\tau = 267$  с, что соответствует числу  $Fo = 2,3$ . При этом температуры в характерных точках составят  $t_1 = 1187$  °С,  $t_2 = 1191$  °С,  $t_3 = 1200$  °С, перепад температуры по сечению в конце нагрева  $\Delta t_k = 13$  °С, средняя температура по сечению  $t_{\text{ср}} = t_3 - 2/5 \Delta t = 1195$  °С [9]. Допустимый перепад температур по сечению при нагреве под обработку давлением рекомендуется на уровне 1–3 К/см [9], т.е. для шара диаметром 60 мм  $\Delta t_{\text{доп}} = 6 - 18$  К/см. Соответственно выбранный режим нагрева обеспечивает необходимые параметры качества нагрева. Угар составляет 0,0299 г/см<sup>2</sup> и приводит к потере слоя стали толщиной 38 мкм, соответственно после нагрева масса шара уменьшится на 0,38 %. Расчетные данные по угару качественно и количественно хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований [10].

**Таблица – Различные параметры исследуемых режимов нагрева**

Вариант	Заготовка	Плоскость	Характерный размер, S (R), м	$\tau$ , с	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Fo	Bi	$t_{ср}$ , °С	$\Delta t_{кв}$ , °С	$t$ , °С / У, г/см <sup>2</sup> (%) в различных характерных точках								
										1	2	3	4	5	6	7	8	9
–	Шар	–	0,03	267	600	2,3	0,5	1195	13	1187	1191	1200	–	–	–	–	–	–
										–	–	0,0299 (0,38)	–	–	–	–	–	–
№1 $\tau, \alpha = idem$	Цилиндр	X	0,0245	267	600	3,45	0,4	1212	16	1205	1207	1214	1216	1221	1215	1213	1207	1209
		У	0,03	267	600	2,3	0,5			–	0,0323 (0,48)	–	0,0345 (0,51)	–	0,0316 (0,47)	–	–	–
№2 $\alpha, t_{ср} = idem$	Цилиндр	X	0,0245	240	600	3,1	0,4	1196	22	1186	1190	1199	1202	1208	1200	1197	1189	1192
		У	0,03	240	600	2,07	0,5			–	0,0282 (0,42)	–	0,0306 (0,45)	–	0,0276 (0,41)	–	–	–
№3 $\tau, t_{ср} = idem$	Цилиндр	X	0,0245	267	520	3,45	0,35	1192	21	1183	1186	1195	1198	1204	1196	1193	1185	1189
		У	0,03	267	520	2,3	0,45			–	0,0284 (0,42)	–	0,031 (0,46)	–	0,0278 (0,41)	–	–	–

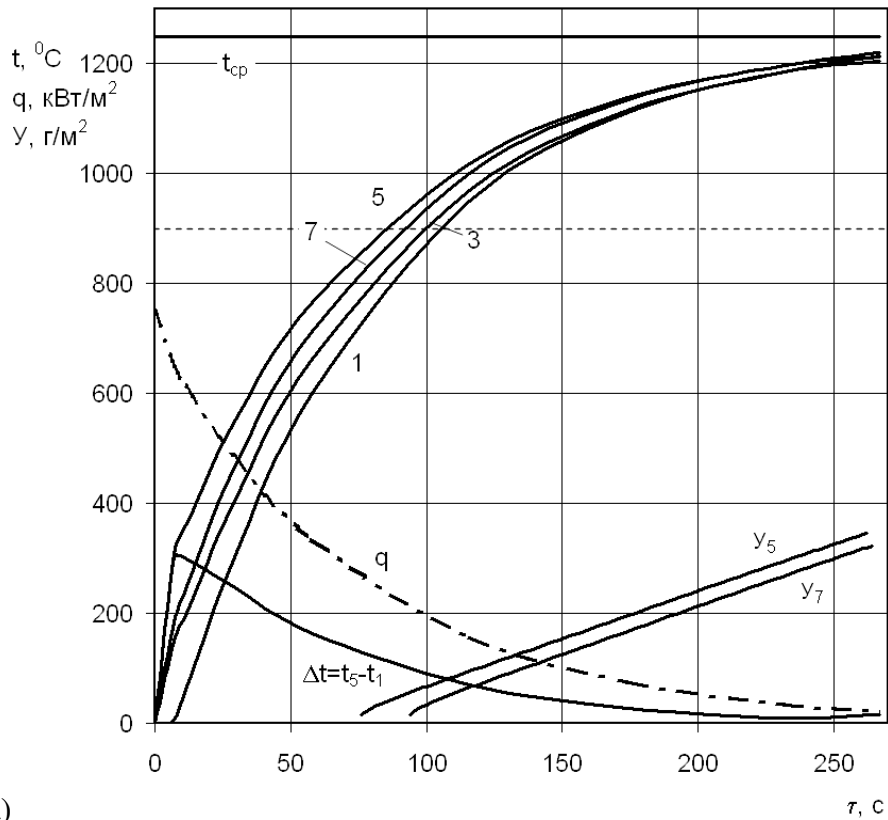


a)

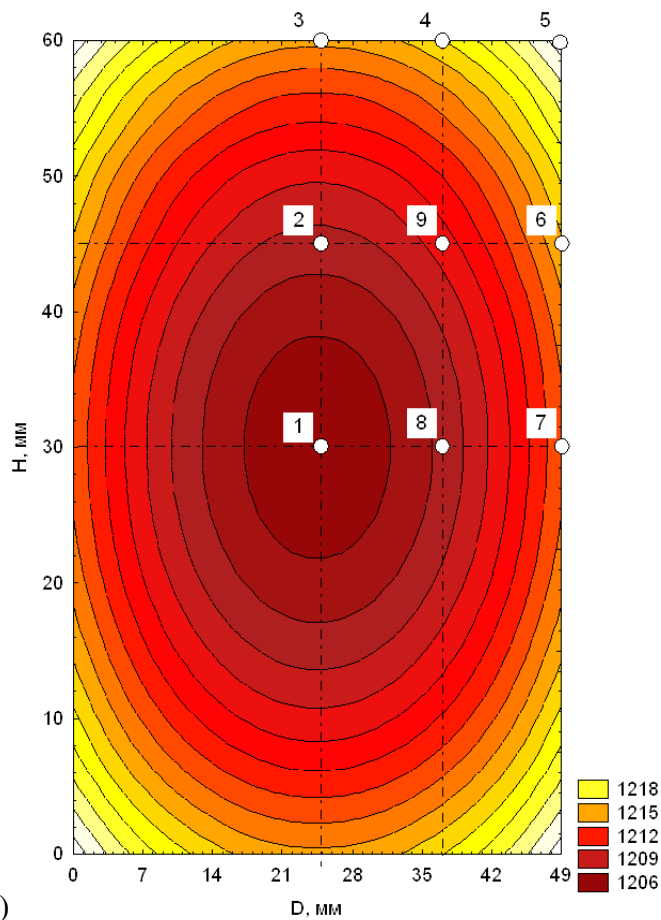


б)

**Рисунок 2 – Температурный режим нагрева (а) и температурное поле шара в конце нагрева (б)**

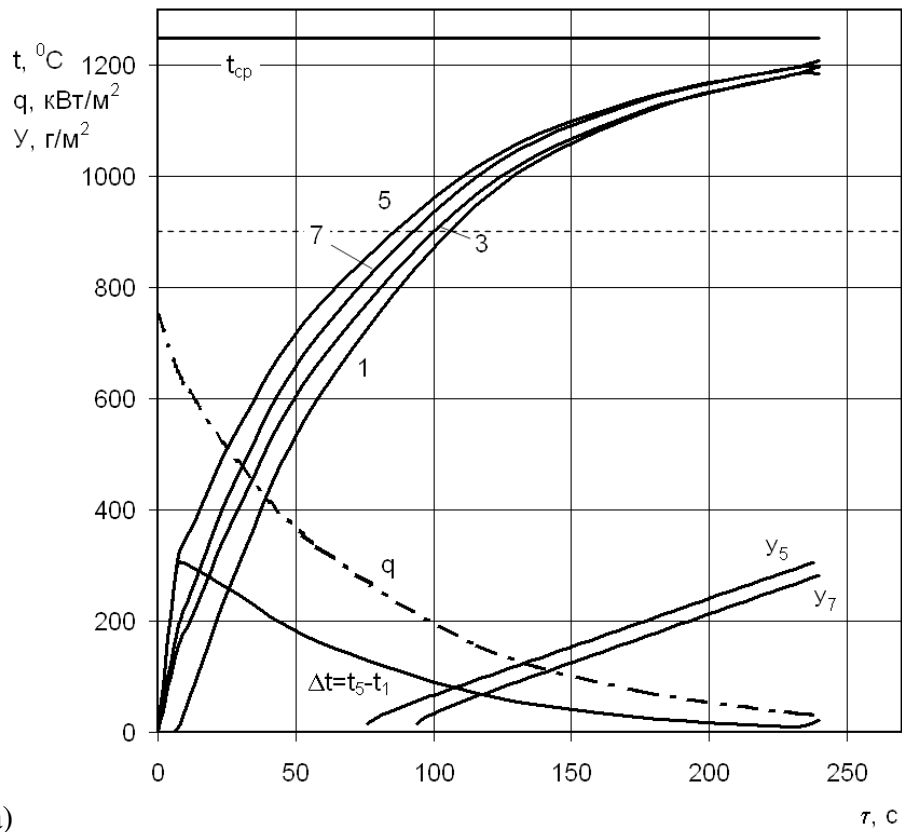


a)

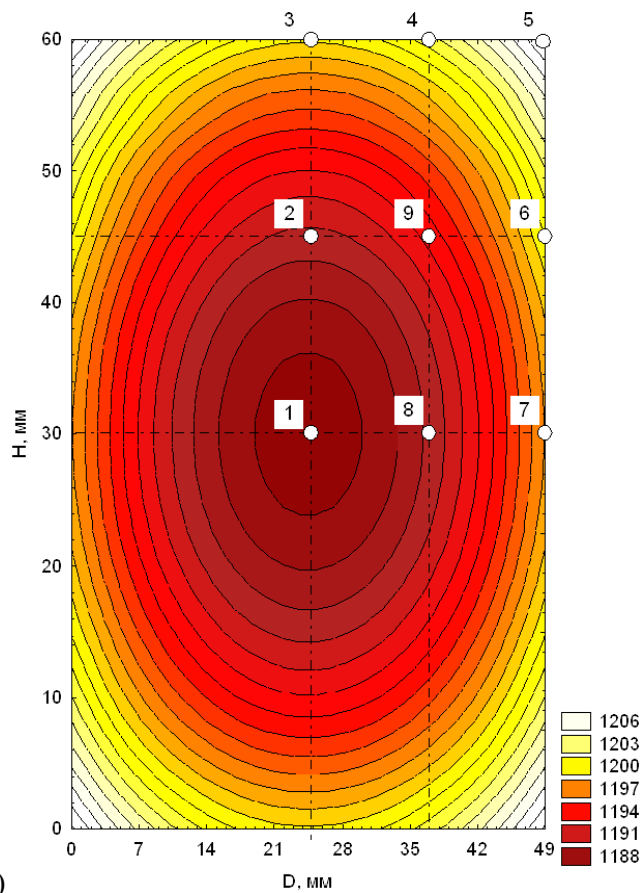


б)

**Рисунок 3 – Температурный режим нагрева №1 (а) и температурное поле цилиндра в конце нагрева (б) (цифрами показаны температуры характерных точек)**

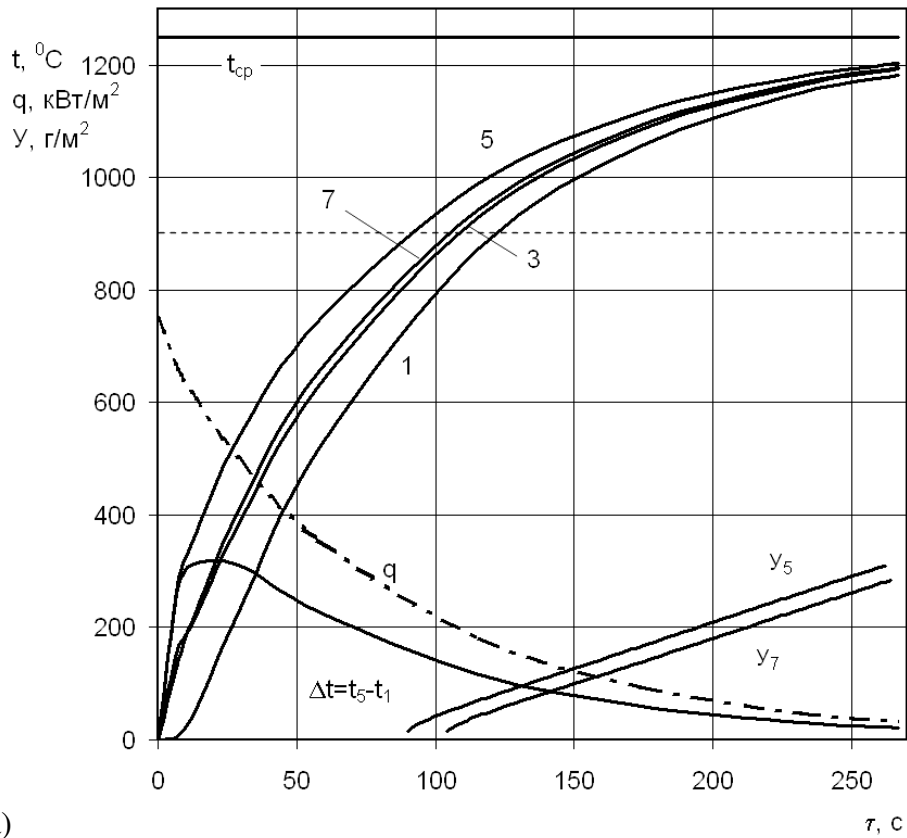


a)

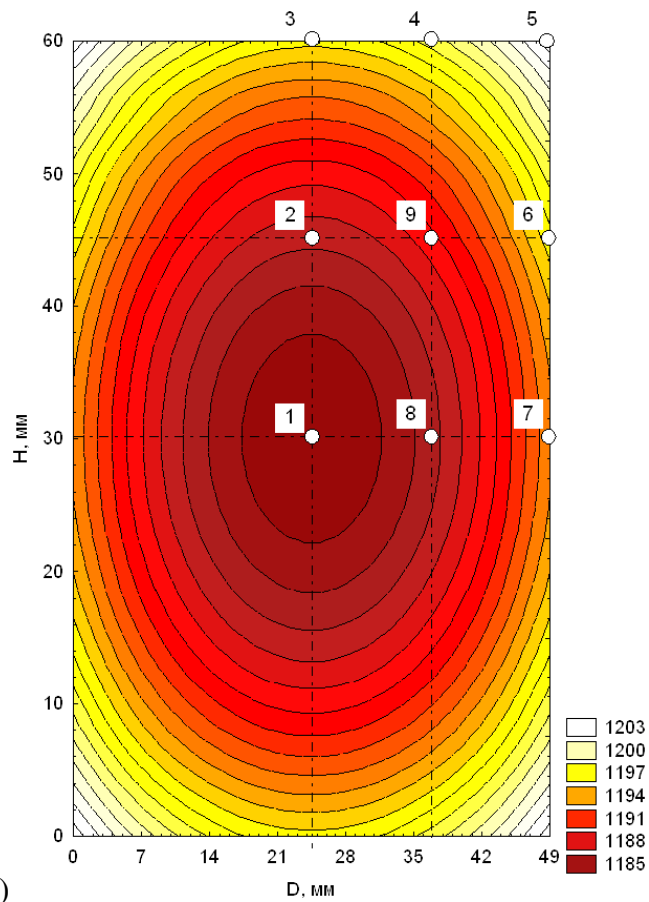


б)

**Рисунок 4 – Температурный режим нагрева №2 (а) и температурное поле цилиндра в конце нагрева (б) (цифрами показаны температуры характерных точек)**



а)



б)

**Рисунок 5 – Температурный режим нагрева №3 (а) и температурное поле цилиндра в конце нагрева (б) (цифрами показаны температуры характерных точек)**

Оценку допустимости применения режима нагрева с точки зрения трещинообразования от температурных напряжений провели по методике, изложенной в работах [11, 12]. В расчетах приняли, что допустимая, для данной марки стали, разность температур по сечению  $\Delta t_{д.р} = 420$  °С, коэффициент запаса для шара с предварительно деформированной (катаной) структурой  $K_3 = 1,5$ . Максимально допустимый перепад температур при нагреве не должен превышать  $\Delta t'_{max} = \Delta t_{д.р} \cdot K_3 = 420 \cdot 1,5 = 280$  °С. При заданных параметрах определили допустимую температуру среды при нагреве шара по соотношению

$$t'_c = t_0 + B \cdot \Delta t'_{max} = 0 + 5 \cdot 280 = 1400 \text{ °С}, \quad (10)$$

где  $t_0$  – начальная температура металла, °С;  $B$  – коэффициент, определяемый из номограммы [11, 12].

Соответственно исследуемый режим нагрева имеет резервы по интенсификации, путем увеличения температуры греющей среды до 1400 °С. Однако выбранную температуру 1250 °С можно считать рациональной, поскольку повышение температуры среды более 1250 – 1300 °С не целесообразно, это может привести снижению стойкости футеровки, повышению потерь тепла с уходящими газами, снижению экономичности нагрева.

При нагреве цилиндра диаметром 49 мм и высотой 60 мм в аналогичных условиях по режиму №1 за время  $\tau = 267$  с происходит его перегрев. Цилиндрическая заготовка в аналогичных условиях нагревается быстрее шаровой. Это связано с тем, что при одинаковой массе шара и цилиндра указанных размеров, площадь тепловоспринимающей поверхности цилиндрической заготовки  $130 \text{ см}^2$  примерно на 15 % выше, чем шаровой, у которого этот параметр составляет  $113 \text{ см}^2$ . В итоге средняя температура по сечению цилиндра составляет 1212 °С, что на 17 °С выше, чем при нагреве шаровой заготовки. Температура в различных характерных точках по поверхности цилиндра составляет 1213 – 1221 °С, что на 13 – 21 °С выше, чем у шара. Максимальный перепад температур по толщине достигает 16 °С, что соответствует требованиям качественного нагрева. Повышенные температуры поверхности приводят к более интенсивному угару стали. В частности средний по поверхности угар при нагреве цилиндрической заготовки составляет  $0,0328 \text{ г/см}^2$ , что почти на 10 % выше, чем угар шаровой заготовки.

При нагреве цилиндрической заготовки по варианту №2 достижение одинаковой с шаром средней температуры по сечению достигается за счет сокращения времени нагрева до 240 с, т.е. на 11 %, что приведет к соответствующему повышению производительности печи. Однако, при одинаковой с шаром средней температуре по сечению, перепад температуры по сечению цилиндра составляет 22 °С, что не обеспечивает требований по качеству прогрева заготовок. Характерно, что не смотря на меньший по сравнению с шаром, удельный угар цилиндрической заготовки в



характерных точках поверхности 3 и 7, ее общий угар выше, чем шаровой, что объясняется большей площадью поверхности. Угар шаровой заготовки составляет 0,38 % по массе, а цилиндрической при нагреве по варианту № 2 порядка 0,41–0,45 %.

При нагреве цилиндрической заготовки по варианту №3 достижение одинаковой с шаром средней температуры по сечению достигается за счет снижения интенсивности нагрева посредством уменьшения  $\alpha$  до 520 Вт/(м<sup>2</sup>·К). При идентичной средней по сечению температуре перепад температур по сечению цилиндра составляет 21 °С, что не обеспечивает требований по качеству прогрева заготовок. Угар цилиндрической заготовки при нагреве по варианту № 3, близок к угару по варианту №2 составляет порядка 0,41–0,46 %, что так же превышает угар шаровой заготовки.

### *Выводы*

1. Таким образом, для всех исследованных случаев, нагрев цилиндрической заготовки сопровождается большими по сравнению с шаром перепадами температур по сечению, связанными с известным эффектом перегрева углов, граней, ребер заготовок.

2. В начальный период нагрева перепад температур по сечению шара составляет 224 °С, а цилиндра до 311 °С, соответственно цилиндр имеет меньше возможностей по повышению скорости нагрева, для него характерна большая вероятность образования трещин при скоростном нагреве.

3. Перепад температур по поверхности шара отсутствует, в то время как перепад температуры по поверхности цилиндра достигает 10 °С и более в зависимости от режима нагрева.

4. Для цилиндрической заготовки характерен неравномерный по поверхности и более высокий на 8 – 30 %, по сравнению с шаровой заготовкой угар стали.

5. Замена цилиндрической заготовки на шаровую позволяет повысить качество нагрева, в основном за счет повышения равномерности температур по сечению и поверхности, снизить потери металла от окисления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е. Методики расчета нагревательных и термических печей. – М.: Теплотехник, 2004. – 400 с.
2. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Под ред. А.С. Телегина. – М.: Металлургия, 1970. – 528 с.
3. Асцатуров В.Н. Скоростной струйный нагрев металла / В.Н Асцатуров, П.Г. Краснокутский, П.С. Берковская. – Киев : Техніка, 1984. – 120 с.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
5. Губинский В.И. Теория пламенных печей / В.И. Губинский, Лу Чжун-У. – М. : Машиностроение, 1995. – 256 с.
6. Расчет нагревательных и термических печей : справ. изд. / С.Б. Василькова [и др.]. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с.
7. Темлянцев М.В. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М.В. Темлянцев, Ю.Е. Михайленко. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.
8. Перетяцько В.Н. Нагрев стальных слябов / В.Н. Перетяцько, Н.В. Темлянцев, М.В. Темлянцев, Ю.Е. Михайленко. – М.: Теплотехник, 2008. – 192 с.
9. Казанцев Е.И. Промышленные печи. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
10. Кудрин Н.А. Установки пламенно–индукционного нагрева / Н.А. Кудрин, Л.А. Лукьянов, А.К. Соколов. – М. : Металлургия, 1971. – 152 с.
11. Темлянцев М.В. Трещинообразование в процессах нагрева и охлаждения сталей и сплавов / М.В. Темлянцев, Т.Н. Осколкова. – М.: Флинта: Наука, 2005. – 195 с.
12. Темлянцев М.В. Расчеты ограничений на технологические и управляющие параметры при форсированном нагреве шарообразных стальных тел / М.В. Темлянцев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2006. – № 2. – С. 52, 53.

УДК 621.73

М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, Г.С. Котлов,  
А.А. Фёдоров, А.В.Бахаев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## МАЛООТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ШТАМПОВКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК ИЗ ШАРОВЫХ ЗАГОТОВОК

В работе представлены результаты штамповки из цилиндрической и шаровой заготовки. Можно рекомендовать шаровую заготовку для технологических процессов штамповки.

In the article outcomes drop forging of metals from cylinder and sphere of storing. It is possible to recommend sphere of storing to processing of metals by pressure.

Развитие кузнечно-штамповочного производства позволяет в настоящее время получать точные по массе поковки с минимальными припусками на механическую обработку и с существенным уменьшением металлоотходов за счет применения безоблойной схемы штамповки. Но широкое внедрение этой прогрессивной технологии сдерживается отсутствием достаточно простого, экономичного и вместе с тем высокопроизводительного процесса получения точных заготовок. Традиционные способы получения заготовок резкой сдвигом характеризуются довольно большими допусками на размеры и искаженной геометрией, а способы, обеспечивающие качественную заготовку, отличаются либо повышенным расходом металла в стружку, либо недостаточной производительностью, либо сложностью дозирующих устройств.

Эту проблему можно решить за счет разделения прокатанных штанг на заготовки в использовании станов поперечно-винтовой прокатки. Единичные примеры внедрения новой технологии уже доказали её эффективность. Так, производительность получения шаровых заготовок поперечно-винтовой прокаткой в 7 – 10 раз выше, чем производительность получения цилиндрических заготовок традиционной резкой сдвигом сортового проката на кривошипных ножницах или в штампах. Современный шаропрокатный стан 60 - 125 имеет расчетную производительность прокатки шаров диаметром 90 ...100 мм - 19,7 т/ч; средняя производительность кривошипных ножниц при холодной резке проката такого же сечения составляет 450 шт/час [1]. При резке заготовок с соотношением  $D/H = 1$  часовая производительность будет 2,7 тонн. Если учесть, что при резке с нагревом производительность падает

на 20%, то получается, что один шаропрокатный стан может заменить почти 10 кривошипных ножниц.

Шаровая заготовка имеет хорошую поверхность, отличается высокой точностью по массе, что позволяет ужесточить допуски на размеры получаемой поковки. и Проведенное взвешивание партии шаров диаметром 93 мм в количестве 100 штук выявило отклонение по массе от номинала  $3330 \pm 9$  г., причем масса основной группы заготовок (90 штук) лежит в пределах 3332...3336 г. Как известно [2], подобной точности для заготовок, получаемых резанием на ножницах, достичь нельзя. Кривошипные ножницы обеспечивают допуск на заготовки не менее 5 – 9%, что не позволяет использовать такие заготовки для точной объемной штамповки, тем более для безоблойной штамповки.

Важным достоинством шаровой заготовки является тот факт, что она не требует ориентирования в штампе. Проведенные нами исследования показали, что различие положение оси шара относительно оси штампа не оказывает заметного влияния на качество поковки. В производственных условиях Алтайского тракторного завода поковку упорной шайбы штамповали из шаровых заготовок, ось прокатки которых была расположена вдоль оси штампа, под углом  $45^\circ$  к оси штамповки и параллельно плоскости разъема. Металлографические исследования в заводской лаборатории подтвердили соответствие всех поковок требованиям стандарта. Исключение операции ориентирования заготовки в штампе существенно упрощает средства автоматической подачи их в штамп.

Более высокая подвижность шара, по сравнению с цилиндром, способствует применению более простых устройств для механизации передачи заготовки по технологической линии от бункера – загрузчика к индуктору и далее к кривошипному прессу. Вместо приводных транспортёров можно применять наклонные лотки.

Во время производственных экспериментов подтверждена также возможность нагрева шаров в индукционных нагревателях. Замеры температуры по сечению шаровой заготовки позволили сделать вывод, что режим нагрева шаров близок к режиму нагрева цилиндрических заготовок того же диаметра. Облойная штамповка различных осесимметричных поковок из номенклатуры Алтайского тракторного завода г. Рубцовска, завода «Трансмаш» г. Барнаула и «Новокузнецкого металлургического комбината» (НКМК) г. Новокузнецка показала, что шаровую заготовку следует применять при открытой штамповке поковок, образуемых выдавливанием и имеющих выступы в центральной части. Периферийные углубления в штампе заполняются труднее, в этих случаях наблюдается ранее образование облоя. Поэтому поковки образуемые осаживанием предпочтительнее штамповать в безоблойных штампах или в штампах со смещенной плоскостью разъема.

Следует добавить, что шаровая заготовка по сравнению с цилиндрической обеспечивает более плавный режим нагружения деталей

пресса, что способствует более длительной работе оборудования и повышает стойкость инструмента. Процесс штамповки с использованием шаровой заготовки позволяет снизить трудоёмкость изготовления поковок и обеспечивает снижение норм времени на одну поковку. Особенно эффективно применение такого технологического процесса при крупносерийном и массовом производстве.

Промышленное использование новой технологии развивается по двум схемам: с установкой собственного шаропрокатного стана и с централизованным получением готовых шаровых заготовок нужных типоразмеров с металлургического завода.

По первой схеме уже длительное время успешно работает Новосибирский инструментальный завод (НИЗ). В цехе, специализированном на штамповке сменных головок торцевых ключей, установлены два стана поперечно-винтовой прокатки производительностью 1500 шт/час каждый, которые полностью обеспечивают заготовками кривошипные прессы, работающие в автоматическом режиме. Нагрев горячекатаного проката марки 40ХФА производится в индукционном нагревателе до температуры 950 – 1000°С. Сменные валки с однозаходной калибровкой обеспечивают получение заготовок диаметром 24,6...42,5 мм, из которых штампуются поковки сменных головок 21 типоразмера. Шаровые заготовки катают с допуском плюс 0,2 мм на диаметр. Так как при отрыве шара от штанги на заготовке остаются риски на полюсах отрыва, то все прокатанные заготовки после охлаждения на воздухе загружают в шароопиловочные станки, на которых происходит механическое удаление этих дефектов и общая опиловка поверхности. Затем шары загружаются в галтовочный барабан, в котором на них наносится технологическая смазка на основе сульфитно-спиртовой барды и серебристого графита. Смазанные заготовки мостовым краном загружаются в автоматический бункер-загрузчик, который питает двухручьевого индукционный нагреватель, обслуживающий два прессы. Чтобы смазка не выгорала, нагрев в индукторе производится до температуры 700-750°С. Стойкости валков шаропрокатного стана до перевалки составляет 100-150 тысяч шаров. Получение сменных головок осуществляется полугорячей штамповкой выдавливанием. Нагретые шары по наклонному лотку по очереди вкатываются через боковое окно кривошипного прессы в рабочую зону штампа и с помощью автоматического загрузчика фиксируются в матрице. После штамповки поковки нормализуются в печи с пульсирующим подом.

Для широкого промышленного использования технологии штамповки из шаровой заготовки более приемлемой является схема с централизованным производством шаровых заготовок различных типоразмеров на базе шаропрокатного стана, установленного на металлургическом предприятии..

Промышленная апробация отдельных звеньев технологической линии по производству заготовок, по нагреву и штамповке из них осесимметричных поковок позволила разработать комплексный

технологический процесс, на основании которого на НКМК построен специализированный кузнечный цех. На шаропрокатном стане 80-125 производительностью 150 тысяч тонн шаров в год получают заготовки не только для нужд комбината, но и для поставок на некоторые машиностроительные предприятия.

Технологическая линия для штамповки из шаровой заготовки на НКМК выглядит следующим образом.

В заготовительном отделении цеха на шаропрокатном стане предусмотрено катать шаровые заготовки диаметром 80...125 мм. Нагрев проката происходит в печи с шагающей балкой до температуры 1150-1250°С. Прокатка шаров осуществляется при температуре не менее 950...1050°С. Оба валка рабочей клетки стана имеют одно- или двухзаходную винтовую нарезку с изменяющейся высотой реборды. Средний темп прокатки 1,8 с. на одну шаровую заготовку. Стойкость валков до перевалки от 500 до 1000 тонн шаров. Из заготовительного отделения шаровые заготовки передаются в прессовое отделение цеха и загружаются в автоматизированную бункерную установку, состоящую из наклонного короба емкостью 2,25 т. шаров и вертикального штока, выталкивающего в заданном режиме шары из короба на приемный лоток, по которому заготовки скатываются к индукционному нагревателю. Нагрев шаровых заготовок осуществляется в серийном индукторе ИК-1-750/1, производительностью 2,1 тонн/час. Передача нагретых заготовок к кривошипному прессу АК-8544 происходит по наклонному лотку, скатываясь по которому шар через боковое окно пресса попадает в межштамповое пространство.

При штамповке поддонов в нижней половинке штампа штампа для фиксации шаровой заготовки выполнена сферическая выемка глубиной 0,03 D шара. Точная масса заготовки позволила выполнить штамп по облойной схеме и без компенсаторов. Допустимые превышения массы над номинальным значением вполне компенсируются упругим пружинением станины пресса. Штамповка происходит без предварительной осадки, сразу в чистовом ручье. Нижний штамп при штамповке поддона не имеет углублений, поэтому вся образующаяся при штамповке окалина выдувается сжатым воздухом в процессе деформирования и заштамповки окалина не происходит. В штампе предусмотрено выталкивание поковки из верхнего штампа. После штамповки поковки проходят нормализацию и обработку в галтовочных барабанах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норицын И.А. Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов и заводов. Учеб. Пособие для ВУЗов./А.И. Норицын, В.Я. Шехтер, А.М. Мансуров.– М.: Высшая школа, 1977. – 423 с.
2. Ковка и штамповка [Текст] : справочник / ред. совет : Е.И. Семенов (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 568 с.

**ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И  
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

УДК 666.76

К.А. Черепанов, М.В. Темлянцев, И.Г. Бычков\*, Д.Е. Зимин\*\*,  
Е.Н. Темлянцева

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк,

\* ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций»  
им. Н.Е. Крюкова, г. Новокузнецк,

\*\* Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН,  
г. Бийск

## ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СВЕРХЖЕСТКИХ БАЗАЛЬТОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

В статье представлены результаты исследования тепловой эффективности сверхжестких базальтоволоконных плит.

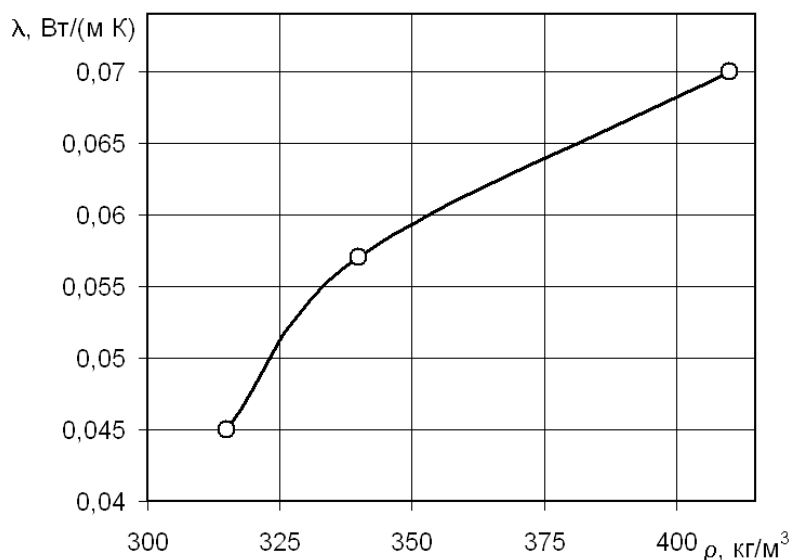
In the article the outcomes of research of thermal efficiency superrigid basalt plates are shown.

Известно, что чем более плотным является материал, тем выше его теплопроводность. Эта закономерность отчетливо проявляется при эксплуатации базальтоволоконных изделий. Так, в частности у базальтовых плит плотностью порядка  $100 - 150 \text{ кг/м}^3$  коэффициент теплопроводности колеблется в пределах  $0,04 - 0,042 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , в то время как у жестких (и сверхжестких) плит с плотностью  $250 - 350 \text{ кг/м}^3$  он равен  $0,045 - 0,055 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . В последние годы плоские кровли выполняют двухслойными, причем плиты нижнего слоя обычно имеют плотность  $120 - 150 \text{ кг/м}^3$ , в то время как плиты верхнего слоя, испытывающие большие механические нагрузки (в том числе и точечные) при их монтаже и эксплуатации должны иметь большую плотность порядка  $300 - 350 \text{ кг/м}^3$ . Нами разработана технология изготовления таких сверхжестких базальтоволоконных плит и определен их коэффициент теплопроводности [1]. Последнее позволило расчетным путем (на основе математического моделирования) выявить возможность использования опытных сверхжестких плит с точки зрения предотвращения увеличения при этом потерь тепла

Определение потерь тепла через двухслойное кровельное покрытие, выполненное из базальтоволоконных плит различной плотности, провели на основе математического моделирования. Расчеты проводили для двухслойного варианта плоской кровли, нижний слой которой выполнен из базальтоволоконной плиты с плотностью  $100 - 150 \text{ кг/м}^3$ , толщиной  $s_2 = 100 - 150 \text{ мм}$ , а верхний слой из опытной сверхжесткой плиты плотностью  $315 - 400 \text{ кг/м}^3$  и постоянной толщиной  $s_1 = 40 \text{ мм}$ . В качестве базового варианта

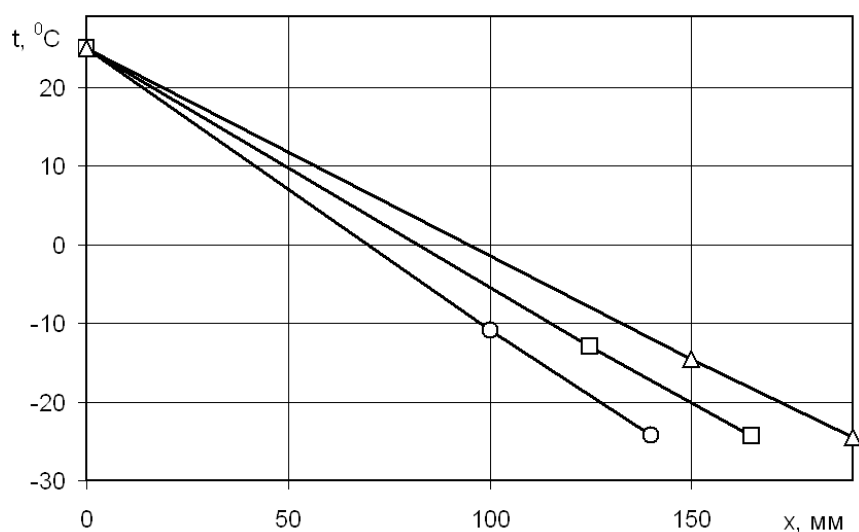


рассматривали конструкцию кровли, в которой используются плиты Rockwool «Руф Баттс Экстра», имеющие коэффициент  $\lambda$  теплопроводности для верхней плиты 0,045 Вт/(м·К), нижней плиты – 0,042 Вт/(м·К). Опытные сверхжесткие плиты, имеют зависимость коэффициента теплопроводности от плотности  $\rho$ , показанную на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплопроводности опытных плит от плотности**

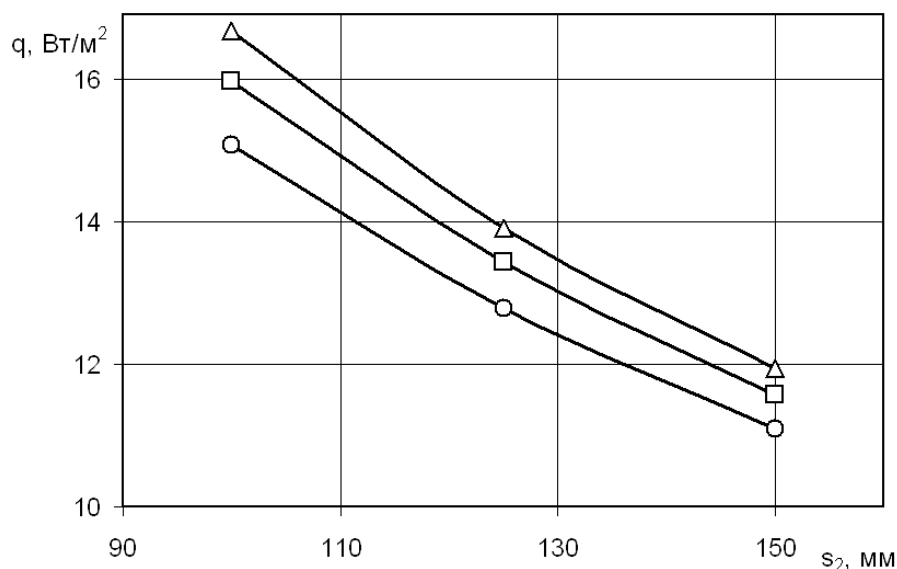
В работе провели серию расчетов по исследованию влияния толщины нижнего слоя и коэффициента теплопроводности (плотности опытных плит) верхнего слоя на тепловые потери (плотность теплового потока  $q$ ) через кровлю. На рисунке 2 показано распределение температур по толщине двухслойной кровли.



**Рисунок 2 – Распределение температур по толщине кровли при толщинах нижнего слоя 100 (○), 125 (□) и 150 (Δ) мм**

Как видно из рисунка 2 изменение толщины нижнего слоя не оказывает существенного влияния на температуру его наружной поверхности.

На рисунке 3 представлены зависимости тепловых потерь через кровлю от толщины нижнего слоя и плотности базальтоволоконистых плит верхнего слоя.



**Рисунок 3 – Зависимость плотности теплового потока через кровлю от толщины нижнего слоя при плотности верхнего слоя 315 (○), 340 (□) и 410 (Δ) кг/м<sup>3</sup>**

Анализ полученных результатов показал, что для базового варианта увеличение толщины нижнего слоя со 100 до 150 мм приводит к снижению тепловых потерь через кровлю примерно на 25 %. Использование в качестве верхнего слоя опытной плиты плотностью 315 кг/м<sup>3</sup> обеспечивает тепловые потери такие же как у плит Rockwool плотностью 250 кг/м<sup>3</sup>. Применение опытных плит плотностью 340 и 410 кг/м<sup>3</sup> приводит к увеличению тепловых потерь через кровлю в среднем на 5 и 10 % соответственно, однако такое повышение тепловых потерь может быть устранено увеличением толщины нижнего слоя на 8,0 – 8,5 и 12 – 14 мм соответственно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К.А. Черепанов, О.С. Татаринцева, И.Г. Бычков Рециклинг отходов производства сэндвич-панелей, изготовленных из базальтового волокна / Сб.тр. III Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические и социальные аспекты». – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2009. – С. 63, 64.

## **ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**

РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ ГОМОЯДЕРНЫХ ДВУХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ ( $A_2$ ) ПО МЕТОДУ ПОСТОЯННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ (ПЭП)\*

В статье приведен расчет энергии связи гомоядерных молекул по методу постоянной электронной плотности.

In the article the calculation of energy of connection of homonuclear molecules is resulted on the method of permanent electronic closeness.

В работе [1] на основе приближения ПЭП выведены формульные выражения для определения энергии двух электронов ковалентной связи ( $E_{A_2}$ ), межатомных расстояний ( $R_{ab}$ ) в молекулах  $A_2$

$$E_{A_2} = \frac{(Z_S^* - \sigma)^2}{n_A^{*2}} = \frac{Z_{A_2}^{*2}}{n_{A_2}^{*2}}, \quad (1)$$

$$R_{ab} = \frac{1,89n_{A_2}^{*2}}{Z_{A_2}^*}, \quad (2)$$

$$n_{A_2}^* = n_S^* (n_S^* - 0,37), \quad (2.1)$$

$$Z_{A_2}^* = Z_S^* - \sigma, \quad (2.2)$$

где  $\sigma=0,1557$  – константа экранирования молекулярных электронов;  $n_{A_2}^*$  – эффективное молекулярное главное квантовое число электрона;  $Z_{A_2}^*$  – эффективный заряд ядра в молекуле  $A_2$ ;  $\Delta=0,37$  – квантовый молекулярный дефект;  $n_S^*$  – эффективное квантовое число валентного электрона в атоме, которое определяется из квадратного уравнения через экспериментальные значения потенциала ионизации валентного электрона атома  $J$  и межатомного расстояния  $R_{ab}$  в молекуле [1];

\* В работе принята атомная система единиц  $e/\hbar=m_e=1$

$$n_S^{*2} - (0,5291R_{ab}\sqrt{2J} + 0,37) \cdot n_S^* + 0,08238R_{ab} = 0; \quad (3)$$

$Z_S^*$  – эффективный заряд ядра атомного валентного электрона, который определяется через  $n_S^*$

$$Z_S^* = n_S^* \sqrt{2J}. \quad (4)$$

Затем по формуле

$$\overline{r_s^{-1}} = \frac{Z_S^*}{n_S^{*2}} \quad (4.1)$$

определяем квантовое среднее значение величины  $\overline{\frac{1}{r}}$ . Энергия связи молекулы  $A_2$  складывается из членов

$$\Delta E_{A_2} = (E_{A_2} - 2J) + \Delta E_{A_2}^k + \Delta E_{A_2}^\alpha + \Delta E^u, \quad (5)$$

где  $\Delta E_{A_2}^k$  – энергия корреляции электронов на связи;  $\Delta E_{A_2}^\alpha$  – увеличение энергии связи, возникающей от поляризации ионного состава (поляризационная поправка);  $\Delta E^u$  – изменение полной энергии связи ковалентных электронов за счет эффектов их проникновения во внутренние оболочки по сравнению с электронами атома (дефект проникновения или изменения энергии реорганизации ионной оболочки).

Зависимость корреляционной поправки для двух  $n_S^2$ -электронов на атомной геминиали в модели ПЭП имеет вид [2]

$$\Delta E_{am}^k = -Ar_k, \quad (6)$$

где  $A$  – постоянная;  $r_k$  – классический радиус корреляционной дырки, который определяется равенством кинетической энергии двух взаимодействующих электронов ( $2E_{кин}^{am}$ ) и их электростатической энергии на расстоянии  $2r_k$ .

$$2E_{кин}^{am} = \frac{e^2}{2r_k}; \quad r_k = \frac{1}{E_{кин}^{am}} \quad (7)$$

где  $e=1$  – заряд электрона в атомных единицах.

В соответствии с (6) и (7) для молекулы  $A_2$  можем записать

$$\Delta E_{A_2}^k = -A_1 \frac{1}{E_{кин}^{A_2}}. \quad (8)$$

После деления (8) на (6) и, преобразуя полученное отношение, имеем

$$\Delta E_{A_2}^k = \Delta E_{am}^k \frac{E_{кин}^{am}}{E_{кин}^{A_2}}. \quad (9)$$

Значение атомной корреляционной поправки получено в работе [2] и равно  $\Delta E_{am}^k = 0,04920$  а.е.

Окончательно имеем

$$\Delta E_{A_2}^k = -0,0492 \frac{2J_S}{2J_S + \Delta E_{A_2}}, \quad (10)$$

где  $J_S$  – потенциал ионизации атома с  $n_S$ -уровня энергии.

В последнем выражении учтено вириальное соотношение между кинетической энергией двух электронов и полной энергией связи на атомных и молекулярных орбитах:

$$2E_{кин}^{am} = 2J_S; \quad 2E_{кин}^{A_2} = 2J_S + \Delta E_{A_2}.$$

Поляризационная поправка первого порядка равна разности энергий поляризации двух электронов в атоме и молекуле  $\Delta E_{A_2}^\alpha = 2(E_{A_2}^\alpha - E_{am}^\alpha)$  или

$$\Delta E_{A_2}^\alpha = -2 \left[ \frac{\alpha}{2} \left( \overline{r_{A_2}^{-2}} \right)^2 - \frac{\alpha}{2} \left( \overline{r_{am}^{-2}} \right)^2 \right] \quad (11)$$

где  $\alpha$  – поляризуемость ионного остова;

$$\overline{r_{A_2}^{-2}} = \frac{(Z_S^* - \sigma)}{n_{A_2}^{*3} (n_{A_2}^* - 0,5)}; \quad \overline{r_{am}^{-2}} = \frac{Z_S^{*2}}{n_S^{*3} (n_S^* - 0,5)}. \quad (12)$$

Квантовомеханическое среднее значение  $\frac{1}{r^2}$  для внешних электронов в молекуле и атоме, вычислено с использованием волновых функций Слэтера [2].

Дефект проникновения  $\Delta E^u$  равен разности

$$\Delta E^u = 2(E_{am} - E_{A_2}) = 2 \left[ \frac{n_S^2}{2} \left( \overline{r_{am}^{-1}} \right)^2 - \frac{n_S (n_S - 0,37)}{2} \left( \overline{r_{A_2}^{-1}} \right)^2 \right] \quad (13)$$

где  $n_S$  – действительное квантовое число валентных электронов ( $n_S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ).

$$\overline{r_{am}^{-1}} = \frac{Z_S^*}{n_S^{*2}}; \quad (13.1)$$

$$\overline{r_{A_2}^{-1}} = \frac{(Z_S^* - \sigma)}{n_S^* (n_S^* - 0,37)}.$$

Квантовомеханическое среднее значение  $1/r$  для внешних электронов в атоме и молекуле, вычислено с использованием волновых функций Слэтера [2].

Формула (13) получена с использованием выражений для полной энергии атомных электронов в приближении Хартри – Фока [3]

$$E_i = \frac{n_i^2}{2} \left( \overline{r_i^{-1}} \right)^2$$

где  $n_i$  – действительное квантовое число  $i$ -электрона,  $\overline{r_i^{-1}}$  – квантовомеханическое среднее значение величины  $\frac{1}{r_i}$   $i$ -электрона по (4.1).

Энергия связи молекулы  $\Delta E_{A_2}$  входит в выражение для корреляционной поправки (10), поэтому выражение (5) для энергии связи приобретает вид

$$\Delta E_{A_2} = E_{A_2} - 2J_S + \Delta E_{A_2}^\alpha + \Delta E^u + 0,0492 \frac{2J_S}{2J_S + \Delta E_{A_2}}, \quad (14)$$

и преобразуется в квадратное уравнение относительно  $\Delta E_{A_2}$ .

$$\Delta E_{A_2}^2 + (2J - A)\Delta E_{A_2} - 2J(A - 0,0492) = 0 \quad (15)$$

где  $A = E_{A_2} - 2J_S + \Delta E_{A_2}^\alpha + \Delta E^u$  – постоянная, введенная для сокращения записи уравнения (15).

Расчеты по выведенным формулам сведены в таблицу 1.

Выталкивание или втягивание внешнего электрона в ионную оболочку имеет квантовомеханическую природу и связано со свойствами симметрии ВФ. В атомах щелочных металлов верхние незанятые  $np_Z^2$ -орбитали имеют нечетную симметрию относительно центра атома в направлении связи. Верхние орбитали их ионных оболочек имеют различную симметрию ВФ. Так в атоме Li – это симметричная  $1S$ -ВФ. В других атомах периферийные внутренние электроны описываются нечетными  $np_{XYZ}^6$  ВФ.

В  $Li_2$  внешние незаполненные  $2p_Z^2$ -оболочки каждого атома значительно перекрываются с  $1S^2$ -оболочками соседнего атома. Так как один лепесток  $2p_Z^2$  ВФ всегда имеет один и тот же знак с  $1S^2$  ВФ соседа, то возникают две симметричные виртуальные связи  $\sigma(2p_Z^2(a) - 1S^2(b))$  и  $\sigma(1S^2(a) - 2p_Z^2(b))$ .

**Таблица 1 – Расчетные и экспериментальные параметры атомов и гомоядерных двухатомных молекул\***

Атом (молекула)	$\frac{E_{ab}}{R_{ab}}$ [6,7] $R_{ab}$ (2)	$\frac{J_S}{E_{A_2}}$ [5] $E_{A_2}$ (1)	$\frac{n_S^*}{n_{A_2}}$ (3) $n_{A_2}$ (2.1)	$\frac{Z_S^*}{Z_{A_2}^*}$ (4) $Z_{A_2}^*$ (13.1)	$\frac{\overline{r_S^{-1}}}{\overline{r_{xp}^{-1}}}$ [4] $\overline{r_S^{-1}}$ (13.1)	$\frac{\Delta E^u}{\Delta E_{A_2}^k}$ (10) $\Delta E^u$ (13)	$\frac{\alpha[\alpha_{\min} - \alpha_{\max}]}{\Delta E_{A_2}^\alpha}$ (11) $\alpha$ [9]	$\frac{\Delta E_{A_2}}{\Delta E_{A_2}}$ (15) $\Delta E_{A_2}$ [6] $\Delta E_{A_2}$ [7]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Li (Li <sub>2</sub> )	5,0493[6]	$\frac{0,19814}{0,37136}$	$\frac{1,823}{1,6285}$	$\frac{1,1475}{0,9918}$	$\frac{0,3453}{0,3454}$	$\frac{0,01973}{0,04468}$	$\frac{0,16[0,15 - 0,18]}{-0,00222}$	$\frac{0,0376}{0,042}$ 0,0377
Na (Na <sub>2</sub> )	5,8155[6]	$\frac{0,1888}{0,3535}$	$\frac{2,023}{1,829}$	$\frac{1,2432}{1,0875}$	$\frac{0,3038}{0,3014}$	$\frac{-0,0033}{0,04644}$	$\frac{1,65[1,2 - 1,78]}{+0,01048}$	$\frac{0,0281}{0,0279}$ 0,0282
K (K <sub>2</sub> )	7,43[7]	$\frac{0,1595}{0,2951}$	$\frac{2,36}{2,167}$	$\frac{1,3328}{1,177}$	$\frac{0,2433}{0,2366}$	$\frac{0,00364}{0,04638}$	$\frac{7,0[6,0 - 7,0]}{-0,0108}$	$\frac{0,0194}{0,0209}$ 0,0193
Rb (Rb <sub>2</sub> )	(7,75)[6]	$\frac{0,1535}{0,2826}$	$\frac{2,367}{2,174}$	$\frac{1,3115}{1,1558}$	$\frac{0,2341}{0,2178}$	$\frac{-0,01412}{0,04644}$	$\frac{5,43[8,0 - 9,5]}{0,0103}$	$\frac{0,018(15)}{0,018[6]}$
	(7,80)[7]	$\frac{0,1535}{0,2828}$	$\frac{2,3874}{2,1946}$	$\frac{1,3228}{1,1671}$	$\frac{0,23208}{0,2178}$	$\frac{-0,01264}{0,04644}$	$\frac{8,0[8,0 - 9,5]}{0,00886}$	$\frac{0,0161(15)}{0,0164[7]}$
Cs (Cs <sub>2</sub> )	(8,13)[6]	$\frac{0,1431}{0,2612}$	$\frac{2,3907}{2,198}$	$\frac{1,279}{1,1233}$	$\frac{0,22378}{0,1922}$	$\frac{-0,0229}{0,04629}$	$\frac{21,9[15 - 17]}{0,01971}$	$\frac{0,018(15)}{0,182[6]}$
	(8,48)[7]	$\frac{0,1431}{0,26216}$	$\frac{2,49}{2,2976}$	$\frac{1,3321}{1,1764}$	$\frac{0,21485}{0,1922}$	$\frac{-0,01576}{0,04629}$	$\frac{15,5[15 - 17]}{0,01545}$	$\frac{0,0167(15)}{0,01568[7]}$



Продолжение таблицы 1

Атом (молекула)	$\frac{E_{ab}[6,7]}{R_{ab}(2)}$	$\frac{J_S[5]}{E_{A_2}(1)}$	$\frac{n_S^*(3)}{n_{A_2}(2.1)}$	$\frac{Z_S^*(4)}{Z_{A_2}^*(13.1)}$	$\frac{r_S^{-1}(13.1)}{r_{xp}^{-1}[4]}$	$\frac{\Delta E''(13)}{\Delta E_{A_2}^k(10)}$	$\frac{\alpha[\alpha_{\min} - \alpha_{\max}][9]}{\Delta E_{A_2}^\alpha(11)}$	$\frac{\Delta E_{A_2}(15)}{\Delta E_{A_2}[6]}$ $\frac{\Delta E_{A_2}[7]}{\Delta E_{A_2}[7]}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
H (H <sub>2</sub> )	1,40107[6]	0,5 1,132672	0,995440 0,7890184	0,995440 0,839751	1,004581 1	- 0,041888	-	0,17456(15) 0,17456[10]
	1,4092923	0,5 1,1321723	1 0,7934985	1 0,844311	1 1	- 0,0419052	-	0,1740774(15) 0,17456[10]

Примечание: \* Таблица заполнена в атомной системе единиц ( $e/\hbar=m_e=\hbar=1$ ). Энергетические параметры

( $E_{A_2}$ ,  $\Delta E''$ ,  $\Delta E^k$ ,  $\Delta E^\alpha$ ,  $\Delta E_{A_2}$ ) вписаны с обратным знаком. Для Rb<sub>2</sub> и Cs<sub>2</sub> R<sub>ab</sub> даны в скобках как оценочные параметры по двум источникам [6, 7]. Расчет показал, что для Rb<sub>2</sub> и Cs предпочтительнее брать значения R<sub>ab</sub> равным 7,80 и 8,48 а.е. соответственно, т.к. в этом случае поляризуемость  $\alpha$  ионных оболочек и энергия связи попадают в рекомендуемый интервал экспериментальных значений [6, 7, 9].

Знак (-) в значении  $\Delta E''$  для Na<sub>2</sub>, Rb<sub>2</sub> и Cs<sub>2</sub> означает, что электроны связи в этих молекулах глубже проникают к ядру, чем в свободных атомах и они более эффективно экранируют внутренние электроны от ядра, энергия которых соответственно понижается на величину указанную в таблице 1.

Знак (+) в значении  $\Delta E''$  для Li<sub>2</sub> и K<sub>2</sub> означает, что ковалентные электроны в молекулах выталкиваются из ионной оболочки в область связи. Экранировка внутренних электронов от ядра уменьшается со стороны валентных, энергия внутренних электронов соответственно повышается на расчетную величину. (табл.1).

За счет таких связей  $1S^2$ -оболочки вытягиваются в направлении основных  $\sigma 2S^2$ -связей. Возникшие диполи квантовомеханического происхождения будут отталкивать внешние электроны от ионных оболочек. В общем балансе энергии связи по (14, 15) поляризационную поправку  $\Delta E^\alpha$  необходимо взять с обратным знаком.

Для того, чтобы внешний  $2S$ -электрон был вытолкнут из  $1S^2$ -оболочки, его ВФ должна частично гибридизироваться с безузловой  $2p_z$ ВФ. Такая гибридизация безузловой  $3d_z$ -ВФ с валентной  $4S$ -ВФ происходит и в молекуле  $K_2$ , что приводит к выталкиванию ковалентных электронов из ионных оболочек. Вне замкнутых оболочек данная гибридизация приводит к возникновению виртуальной  $\sigma$ -связи  $3d_z^2(a) - 3p_z^2(b)$  с участием замкнутых  $3p_z^2$ -орбиталей обоих атомов. Электроны внутренних оболочек вытягиваются по направлению основной ковалентной связи, т.е. квантовомеханическая поляризация ионного остова имеет направление противоположное электростатической, поэтому этот член ( $\Delta E^\alpha$ ) в молекуле  $K_2$  учитывается с противоположным знаком.

У других атомов ( $Na$ ,  $Rb$ ,  $Cs$ ) нет близлежащих к основному уровню, описываемых безузловыми ВФ. В атоме  $Cs$   $4f$ -орбитали геометрически лежит намного глубже уровня  $5d$ , который описывается ВФ с двумя узлами и квантовомеханического выталкивания ковалентных электронов из ионных оболочек не происходит.

Безузловые ВФ ( $2p_z$ ,  $3d_z$ ) не меняют знака в области, направленной в сторону связи, поэтому они эффективно взаимодействуют с  $1S^2(Li_2)$  и  $3p_z^2(K_2)$  внутренними электронами. Узловые ВФ возбужденных состояний в направлении связи имеют области с различными знаками, поэтому при перекрытии с ВФ соседних атомов возникают симметричные и антисимметричные составляющие связи с конечным нулевым эффектом взаимодействия.

Так как для расчетов эффективных параметров ( $n_s^*$ ,  $Z_s^*$ ) были взяты экспериментальные значения межатомного расстояния  $R_{ab}$  в молекулах  $A_2$  и потенциала ионизации ( $J_s$ ) валентного электрона, то вышеназванные эффекты уже отражены в числовых значениях этих величин.

В свободном состоянии  $1S$ -электрон атома водорода характеризуется квантовыми параметрами  $n_s = 1$ ,  $Z_s = 1$ ,  $J_s = 0,5$ ,  $\overline{r^{-1}} = 1$ . Если взять за основу расчета эти данные и использовать формулы (1, 2, 14, 15), то получим значения выходных параметров  $R_{ab} = 1,4092923$  а.е. и  $\Delta E_{H_2} = 0,1740774$  а.е., которые отличаются от экспериментальных на 0,56 % по  $R_{ab}$  и на 0,28 % по  $\Delta E_{H_2}$ .

Если взять за основу расчета экспериментальное значение межатомного расстояния  $R_{ab} = 1,40107$  и использовать формулы (3, 4, 5, 14, 15), то значе-

ния выходных параметров будут следующими:  $n_S^* = 0,0995613$ ;  $Z_S^* = 0,992613$ ;  $\Delta E_{H_2} = 0,17456$ . Расчетное значение энергии связи молекулы  $H_2$  полностью совпадает с экспериментальным значением с учетом округления величин промежуточных вычислений. Расчетные значения  $n_S^*$  и  $Z_S^*$  меньше действительных значений  $n_S$  и  $Z_S$  на 0,4387%. Это связано с тем, что за основу их расчета было взято экспериментальное значение  $R_{ab}$  в молекуле  $A_2$ , где на молекулярной орбите находятся два электрона и где за счет их коррелированного движения возникает корреляционная дырка в объеме связующей геминали.

Экспериментальное значение  $R_{ab}=1,40107$  меньше  $R_{ab}=1,4092923$ , которое определено без учета корреляции электронов при  $n_S=1$  и  $Z_S=1$  для атомного электрона.

В атоме водорода с одним электроном корреляция отсутствует, но корреляционная дырка при использовании в расчете экспериментального значения  $R_{ab}$  переходит в объем электронного распределения  $1S$ -электрона свободного атома, объем которого эффективно увеличивается на объем молекулярной корреляционной дырки.

Увеличение объема электронного распределения приводит к уменьшению кинетической энергии, а, следовательно, к уменьшению эффективного квантового числа  $n_S^* < 1$ . Так как в формулу (3) для расчета  $n_S^*$  входит экспериментальное значение потенциала ионизации электрона свободного атома

$J_S = 0,5 \left( \frac{Z^2}{n^2} \right)$ , то при  $J_S = const$  с уменьшением действительного квантового

числа  $n_S$  до  $n_S^*$ , одновременно уменьшается и заряд ядра от  $Z_S$  до  $Z_S^*$ . В формуле (2) для  $R_{ab}$  входит в квадрате, а  $Z_S^*$  только в первой степени. Поэтому действительное значение  $R_{ab}=1,40107$  меньше рассчитанного  $R_{ab}=1,4092923$ , которое получено с использованием действительных квантовых параметров  $n_S=1$  и  $Z_S=1$ .

Для других молекулярных систем и кристаллов относительный эффект изменения  $n^*$  и  $Z^*$  при их определении по формулам (3, 4) меньше чем для

молекулы  $H_2$ , так радиус корреляционной дырки  $r_k \sim (E_{кин})^{-1} \sim \frac{n_{A_2}^{*2}}{Z_{A_2}^{*2}}$ , а  $R_{ab} \sim \frac{n_{A_2}^{*2}}{Z_{A_2}^{*2}}$

отношение объемов корреляционной дырки и связующей геминали будет иметь зависимость

$$\left( \frac{r_K}{R_{ab}} \right)^3 \sim (Z_{A_2}^*)^{-3}$$

Учитывая, что  $(Z_{H_2}^*)^3 \ll (Z_{A_2})^2$ , то влияние корреляционных электронов в других молекулах на уменьшение квантовых параметров  $n_S^*$  и  $Z_S^*$  валентных электронов атомов будет всегда меньше экспериментальной погрешности в определении  $R_{ab}$ .

Точность экспериментального определения энергии связи молекулы  $H_2$  составляет  $2 \cdot 10^{-6}$  а.е. [6] межатомного расстояния –  $10^{-4}$  а.е. Поэтому все константы входящие в уравнение (1, 2, 3, 4, 14, 15) брались до шестого порядка:

$$\Delta = 1 - \frac{1}{(1+1)^{2/3}} = 0,370036,$$

$$\sigma = 0,155689,$$

$$R_{ab} = 1,5\sqrt[3]{1+1} \cdot \frac{n^*(n^* - \Delta)}{(Z^* - \sigma)} = \frac{1,889882n^*(n^* - \Delta)}{(Z^* - \sigma)}.$$

Для других молекул  $A_2$  экспериментальные ошибки значительно больше и составляют для  $Li_2 \Delta R_{ab} = 5,05 - 5,0493 = 0,0007$  а.е.;  $Na_2 \Delta R_{ab} = 5,82 - 5,815 = 0,005$  а.е.;  $K_2 \Delta R_{ab} = 7,42 - 7,413 = 0,027$  а.е.;  $Rb_2 \Delta R_{ab} = 7,80 - 7,75 = 0,1$  а.е.;  $Cs_2 \Delta R_{ab} = 8,48 - 8,13 = 0,35$  а.е. Первое значение взято из [7], второе из [6]. Поэтому для них достаточно взять  $\Delta = 0,37$ ;  $\sigma = 0,1557$ ;  $R_{ab} = 1,89 n^*(n^* - 0,37)/(Z^* - \sigma)$ .

Поляризуемость  $\alpha$  ионной оболочки атома имеет значительный разброс по различным оценкам [9], значения  $\alpha$  взятые для расчета энергии связи молекул  $A_2$  всегда попадают в интервал рекомендуемых величин  $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$ .

Из расчетов следует, что основной вклад в энергию связи молекул  $A_2$  вносит энергия корреляции  $\Delta E^k$ . Энергия ковалентной связи  $E_{A_2}$  без корреляционной поправки всегда меньше потенциала ионизации двух валентных электронов ( $2J_S$ ) на 0,023-0,025 а.е. Нами рассчитаны энергия связи  $\Delta E_{расч}$  ионизированных молекул  $A_2^+$ , дано сравнение с экспериментальным значением ( $\Delta E_{экс}$ ) (таблица 2).

**Таблица 2 – Энергия связи молекул  $A_2^+$**

Энергия	Молекула				
	$Li_2^+$	$Na_2^+$	$K_2^+$	$Rb_2^+$	$Cs_2^+$
$\Delta E_{расч}^+$	0,051	0,0449	0,0321	0,0271	0,026
$\Delta E_{экс}^+$	0,0601	0,0259	0,0335	0,0296	0,0200

В формуле (1) в этом случае отсутствует константа экранирования, обусловленная взаимодействием двух электронов и без учета

взаимодействия ядер в первом приближении энергия связи ионизированных молекул  $A_2^+$  будет равна.

$$\Delta E_{A_2^+} = -\frac{Z_S^{*2}}{2n_S^+(n_S^* - 0,37)} + 2J_S. \quad (16)$$

Сравнение с данными расчета  $\Delta E_{A_2}$  (табл.1) показывает, что всегда как в эксперименте, так и в расчете  $\Delta E_{A_2^+} > \Delta E_{A_2}$ , что не находит объяснения в рамках расчета из первых принципов, так как применяемые методы расчета корреляционной энергии математически громоздки и недостаточно разработаны (метод ХФ с МКВ).

Следует отметить, что полуэмпирические методы расчета энергии связи, длин связей в молекулах и кристаллах, где используются спектроскопические экспериментальные данные для построения потенциала взаимодействия (метод псевдопотенциала в теории металлов или для определения энергетических параметров  $\pi$ -орбиталей валентных состояний в органических молекулах (метод Паризера – Пара – Попла) дают хорошее количественное соответствие, рассчитанных и опытных значений сопоставляемых величин.

Неэффективность методов расчета атомных и молекулярных систем, исходя из первых принципов, проявляется уже на молекуле  $Li_2$ , где взаимодействуют всего шесть электронов и два ядра. Метод ХФ с учетом конфигурационного взаимодействия (КВ) дает для энергии связи данной молекулы  $\Delta E_{Li_2} = 0,0169$  а.е. [8], что значительно отличается от экспериментального значения  $\Delta E = 0,03774$  [6].

В принципе корреляционную энергию двух электронов на атомных и молекулярных орбитах можно рассчитать достаточно точно в расширенном методе Хартри-Фока с учетом конфигурационного взаимодействия (ХФ МКВ) всех возбужденных состояний дискретного и сплошного спектров. На практике этот детерминантный ряд разумно обрывают. Так для атома бериллия с учетом 37 возбужденных конфигураций получено значение энергии корреляции всего лишь на 12 % ниже точного значения [10].

В предлагаемом методе расчета ПЭП состояния дискретного и сплошного спектров при расчете константы экранирования  $\sigma$  учитываются в равной степени с множителем 0,5 [11].

$$\sigma = \frac{0,5}{N} [0,4N(N-1) - 0,3054N^{1/3}(N-1)] + \frac{0,5}{N} [0,4N^2 - 0,3054N^{4/3}], \quad (17)$$

где  $N=2$ , число взаимодействующих электронов на гемини.

Поэтому, корреляционная энергия учитывается полностью с использованием выражений (10 и 17).

**Выводы:** приближение ПЭП показало, что все экспериментальные и теоретические параметры атомов и молекул  $(J, \bar{r}^{-1}, \bar{r}^{-2}, \alpha, R_{ab}, \Delta E_{A_2})$

взаимосвязаны между собой через простые алгебраические соотношения и это позволяет выявить ошибки в их экспериментальном определении через сопоставление вышеназванных параметров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селянин И.Ф., Деев В.Б., Приходько О.Г. Эффективные квантовые числа валентных электронов, определенные по экспериментальному значению межатомного расстояния в гомоядерных двухатомных молекулах ( $A_2$ ) // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. тр. Вып. 24 – Москва-Новокузнецк: СибГИУ, 2009. С. 164 – 170.
2. Гомбаш П. Проблема многих частиц в квантовой механике. М.:ИЛ., 1953. – 276 с.
3. Селянин И.Ф. // ЖФХ. 1982. №10. С.1382.
4. Fischer Ch.F. // Atomic Data, 1972. V26. P39. S. 301 – 399.
5. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматиз, 1962. – 892 с.
6. Молекулярные постоянные неорганических соединений: Справочник / Под ред. Краснова К.С. – Л.: Химия, 1979. – 448 с.
7. Щукарев А.С. Неорганическая химия. Т.1 М.: Высшая школа, 1970. – 353 с.
8. Минкин В.И., Симкин Б.В., Миняев Р.М. Теория строения молекул. М.: Высшая школа, 1979. – 407 с.
9. Бацанов С.С. Структурная рефрактометрия. М.: Высшая школа, 1976. – 304 с.
- 10.Цюлике Л. Квантовая химия, Т.1. М.: Мир, 1976. – 512 с.
- 11.Селянин И.Ф., Целлермаер В.Я., Куценко А.И. / Известия вузов. Черная металлургия. 2002. № 10. С. 44 – 46.

УДК 669.017:539.376

Н.В. Котова, С.В. Коновалов, В.Е. Громов, Л.Б. Зуев\*, В.Г. Кондратьев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк,

\*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

## РОЛЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА К МЕДИ В ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ МИКРОТВЕРДОСТИ

В настоящей работе представлены данные о влиянии длительности подключения электрического потенциала на микротвердость меди. Проанализирована ее зависимость от значения электрического потенциала, подаваемого на образец.

Investigation results of electrical potential charging time influence upon the copper microhardness have been presented in this article. The microhardness dependence on electric potential value fed on the sample is analyzed.

Изучению зависимости механических свойств металла от приложенного потенциала посвящено большое количество исследований. Установлено, что они характерны, в частности, для таких свойств, как твердость [1], микротвердость [2]. Хорошо известно, что пластическая деформация начинается на поверхности металла, и состояние поверхностного и приповерхностного слоев сильно влияет на динамику пластичности [3]. По этой причине исследования микротвердости являются дополнительными к механическим испытаниям и способны дать новую информацию о механических свойствах.

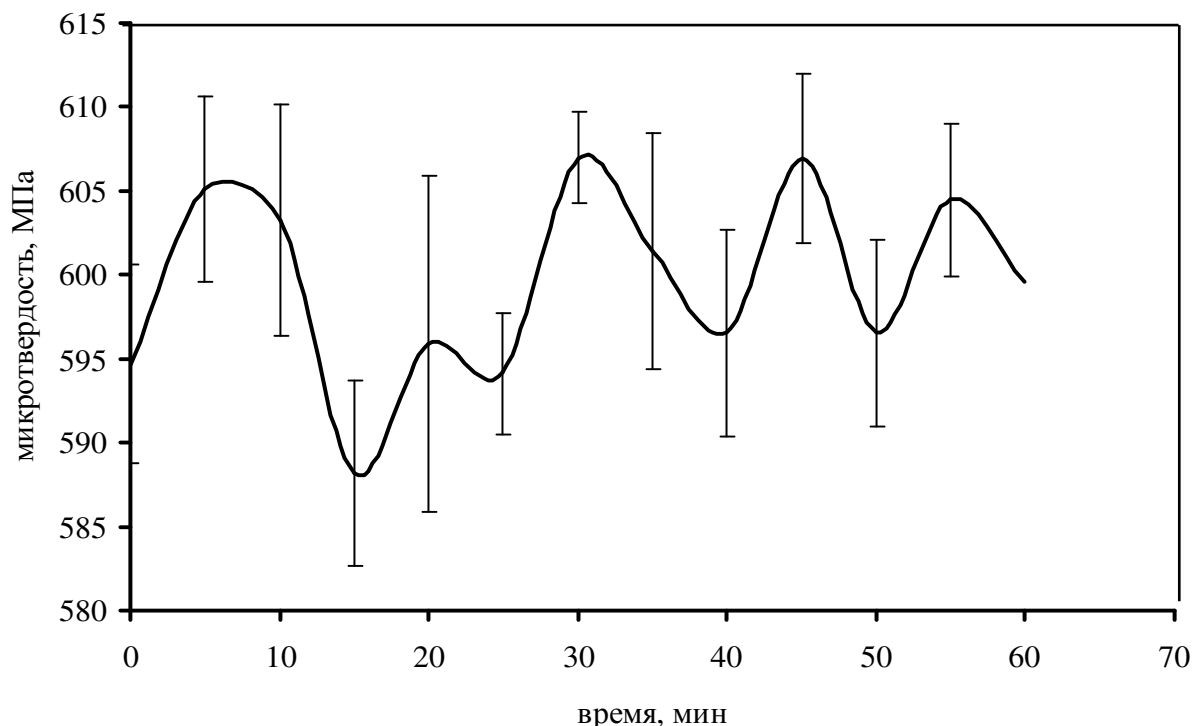
В связи с изложенным была поставлена цель исследования – проанализировать изменение величины микротвердости поликристаллической меди в зависимости от продолжительности и величины энергетического воздействия, влияющего на состояние поверхности металла.

Для исследования микротвердости металлов, измеряемой стандартным способом с помощью микротвердомера ПМТ-3, использовался пирамидальный индентор Виккерса. Испытания проводились при нагрузке на индентор 30 г. Время выдержки под нагрузкой 18 с. Электрическое зарядение поверхности образца осуществлялось путем его присоединения к внешнему источнику постоянного тока.

Исследовался характер влияния на микротвердость режима подключения потенциала, его величины и времени выдержки.

Из приведенного на рисунке 1 графика видно, что существование электрического эффекта не вызывает сомнений, но имеет место большой разброс данных, что вообще характерно для методики измерения

микротвердости. По этой причине оказалось трудно однозначно оценить характер влияния электрического потенциала на измеряемую величину.

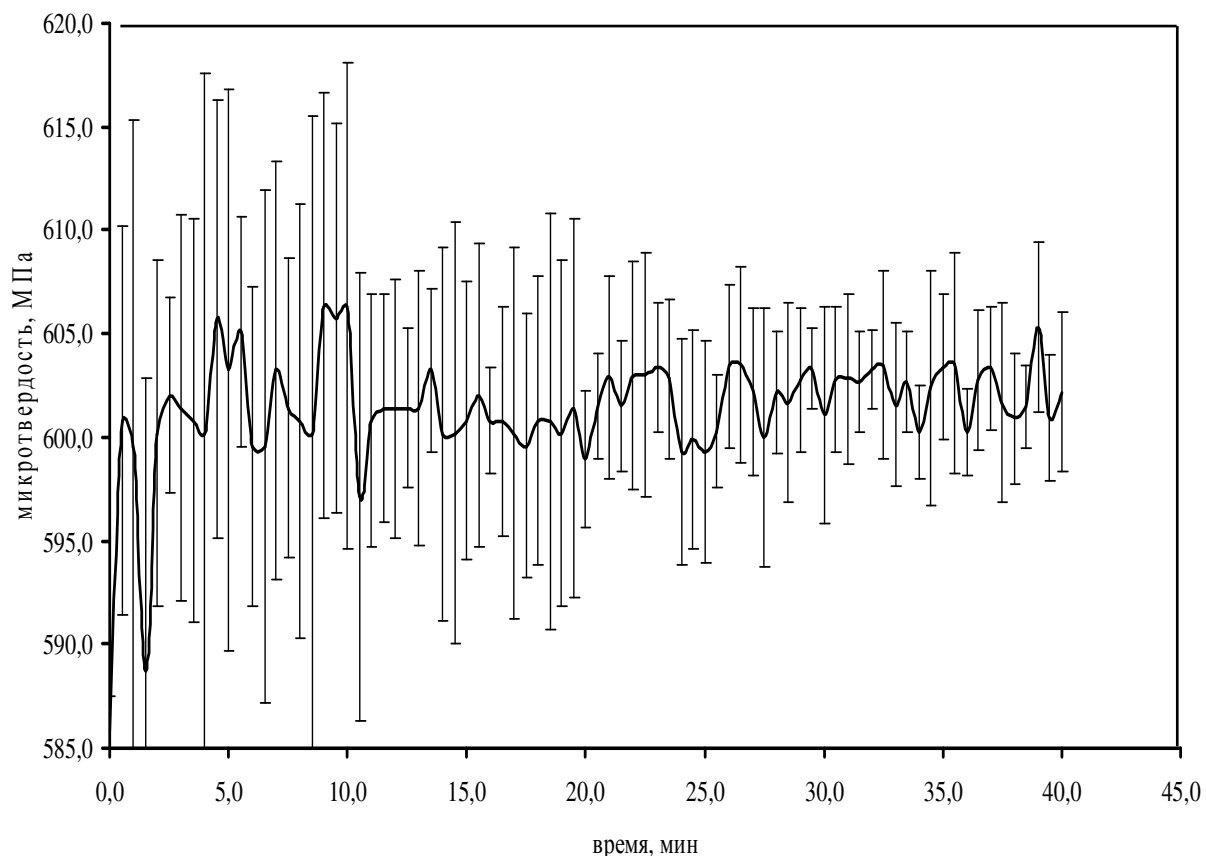


**Рисунок 1 – Зависимость микротвердости меди от времени после подключения. Потенциал 1,5В подключен к образцу сразу (без постепенного наращивания)**

Для уточнения влияния потенциала проводились измерения микротвердости при постепенном наращивании потенциала. Значение подключенного потенциала было уменьшено до 0,2В. Определялось время стабилизации микротвердости при заданном значении потенциала, как это показано на рисунке 2.

Запаздывание начала эффекта наблюдалось исследователями и ранее. А. А. Клыпин [4] предполагал, что влияние заряженного поверхностного слоя на ползучесть состоит, по-видимому, из двух эффектов. Первый обусловлен изменением размеров образца вследствие наличия заряда на поверхности (электрострикционный эффект), второй перемещением дислокаций и других дефектов при изменении характера заряженного поверхностного слоя. Второй эффект, связанный с движением дефектов, предполагает присутствие определенного заряда на дефектах. Подтверждением того, что движение дефектов играет определяющую роль в характере кривых ползучести при воздействии, служит запаздывание начала эффекта после контакта, что и было подтверждено последующими исследованиями.





**Рисунок 2 – Зависимость микротвердости от времени выдержки при подключении потенциала 0,2В. Интервал между измерениями 1 мин**

В настоящей работе предварительные исследования позволили определить оптимальные условия наблюдения электрического влияния на микротвердость меди. Оказалось, что при таких измерениях электрический потенциал следует наращивать постепенно с шагом  $\sim 0,2$  В, выдерживая не менее 20 мин до проведения измерений для стабилизации значения микротвердости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Венстрем, Е. К. Электрокапиллярный эффект понижения твердости металлов / Е. К. Венстрем, П. А. Ребиндер // ДАН СССР. – 1949. – Т. 68. – С. 329 – 332.
2. Сафронов, В. Г. Влияние поляризации на обрабатываемость инструментальных материалов при алмазошлифовании / В. Г. Сафронов, Р. В. Симонян, П. А. Рутман // В кн.: Алмазы. – М.: Наука, 1972. – N 8. – С. 13 –16.
3. Алехин, В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов / В.П. Алехин. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
4. Клыпин, А. А. О ползучести металлов при воздействии электрического тока / А. А. Клыпин // Проблемы прочности. – 1973. – N 9. – С. 35 – 38.

И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ И ЧИСЛО СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛАХ ПО МЕТОДУ ПОСТОЯННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ (ПЭП)<sup>1</sup>

В статье приведен расчет энергии связи и числа свободных электронов в щелочных металлах по методу постоянной электронной плотности.

In the article the calculation of energy of connection and number of lone electrons is resulted in alkaline metals on the method of permanent electronic closeness.

В работе [1] уравнение Шредингера преобразовано к классическому виду

$$E = -\frac{1,5(Z^* - \sigma)}{r} + \frac{1,125n^*(n^* - 1)}{r^2} + \frac{1,125n^*}{r^2}, \quad (1)$$

где  $E$  – полная энергия электрона;  $\sigma$  – константа экранирования;  $n^*$  – эффективное квантовое число валентного электрона атома, которое определяется через экспериментальные значения межатомных расстояний ( $R_{ab}$ ) в молекулах  $A_2$  и потенциалы ионизации ( $J$ ) валентных электронов атома посредством решения квадратного уравнения [1];

$$n^{*2} - (0,529R_{ab}\sqrt{2J} + 0,37)n^* + 0,08238R_{ab} = 0; \quad (2)$$

$Z^*$  – эффективный заряд ядра, действующего на валентный электрон атома;

$$Z^* = n^* \sqrt{2J}. \quad (3)$$

При выводе уравнения (1) были использованы атомные волновые функции Слэтера [2]

$$R(r) = Ar^{n^*-1} \exp(-Z^* r/n^*) \quad (4)$$

где  $A$  – нормировочный множитель;  $r$  – текущий радиальный размер электронного распределения.

Последний член в уравнении (1) обязан волновым свойствам квантовой частицы электрона и тождественно равен кинетической энергии частицы в соответствующем уравнении Шредингера

<sup>1</sup> В работе принята атомная система единиц  $e/\hbar=m_e=1$

$$\Delta E_{кин} = \frac{1,125n^*}{r^2} = \frac{1}{2} \nabla^2 R(r), \quad (5)$$

где  $\nabla^2$  – оператор Лапласа в сферической системе координат.

Данный член, уменьшаясь при взаимодействии электрона с окружающими атомами, приводит к образованию химической связи.

При образовании химической связи  $n^*$  уменьшается на квантовый дефект  $\Delta$ , который определяется по выражению [1]

$$\Delta = 1 - \frac{1}{(1+k)^{2/3}} \quad (6)$$

где  $k$  – количество атомов, с которыми одновременно взаимодействует валентный электрон данного атома.

В двухатомной молекуле  $A_2$   $k=2$  и  $\Delta=0,37$ .

Формула (1) с использованием  $\Delta$  принимает вид

$$E = -\frac{1,5(Z^* - \sigma)}{r} + \frac{1,125n^*(n^* - \Delta)}{r^2}. \quad (7)$$

Для металлических кристаллов электрон отдельного атома взаимодействует со всеми атомами решетки, его волновая функция (ВФ) простирается на весь объем кристалла, т.е. в (6) нужно положить  $k = \infty$ ,  $\Delta = 1$ . Но одновременно появляется дополнительный член кинетической энергии, обусловленный статистикой Ферми-Дирака для электронов

$$\Delta E_{кин} = \frac{1,105N_{св}^{2/3}}{r^2}.$$

Уравнение (1) запишется так

$$E = -\frac{1,5(Z^* - \sigma)}{r} + \frac{1,125n^*(n^* - 1)}{r^2} + \frac{1,105N_{св}^{2/3}}{r^2}. \quad (8)$$

Величина квантового дефекта в этом случае равна

$$\Delta_m = 1 - \frac{1,105N_{св}^{2/3}}{1,125n^*} = 1 - \frac{0,982N_{св}^{2/3}}{n^*}. \quad (9)$$

В уравнении (8) константа экранирования  $\sigma$  определяется в приближении ПЭП для свободных электронов [3]

$$\sigma = \frac{0,4N_{св}^2 - 0,3054N_{св}^{4/3}}{N_{св}}, \quad (10)$$

где  $N_{св}$  – число свободных электронов. При  $N_{св} = 1$

$$\sigma = 0,0946. \quad (11)$$

Запишем выражение (8) через квантовый дефект  $\Delta_m$  по (9)

$$E = -\frac{1,5(Z^* - \sigma)}{r} + \frac{1,125n^*(n^* - \Delta_m)}{r^2} \quad (12)$$

После дифференцирования (12) по  $r$ , определяем оптимальное значение радиуса атомной сферы ( $r_0$ ) в кристалле и, подставляя  $r_0$  в (12), получаем энергию связи электронов, приходящейся на один атом в кристалле.

$$r_0 = \frac{1,5n^*(n^* - \Delta_m)}{Z^* - \sigma} \quad (13)$$

$$E_m = -\frac{(Z^* - \sigma)^2}{2n^*(n^* - \Delta_m)} \quad (14)$$

Совместно решая выражения (3, 13, 14), для металлов, вместо уравнения (2), получаем квадратное уравнение относительно эффективного значения квантового числа  $n_s^*$

$$n_s^{*2} - \left( \frac{r_0 \sqrt{2J}}{1,5} + \Delta_m \right) n^* + \frac{0,0946}{1,5} r_0 = 0, \quad (14.1)$$

или

$$n_s^{*2} - (0,667r_0 \sqrt{2J} + \Delta_m) n_s^* + 0,06307r_0 = 0. \quad (15)$$

Для элементов I группы ( $Li, Na, K, Rb, Cs$ ) значение  $n_s^*$  уже определено по уравнению (2) в работе [1], используя  $R_{ab}$  для двухатомных молекул  $A_2$ ;  $r_0$  – известно из экспериментальных данных для металлических кристаллов [4]. Поэтому (15) позволяет определить квантовый дефект  $\Delta_m$  и затем из выражения (9) определить число свободных электронов

$$\Delta_m = \frac{0,06307r_0}{n_s^*} + n_s^* - 0,667r_0 \sqrt{2J_s}, \quad (16)$$

$$N_{св} = \left[ n_s^* \left( \frac{n_s^* - \Delta_m}{0,982} \right) \right]^{3/2}. \quad (17)$$

Число локализованных электронов в щелочных металлах равно

$$N_{лок} = 1 - N_{св}. \quad (17.1)$$

Локализованные электроны в ОЦК-решетке образуют ковалентные связи между шестью соседями второй координационной сферы на основе  $np$ -электронных состояний (ВФ) свободных атомов, т.е.

$$N_{лок} \equiv N_{np}. \quad (18)$$

Существующие методики расчета (ХФ, МКВ) геометрических параметров ( $\bar{r}^{-1}$ ,  $\bar{r}^{-2}$ ,  $\bar{r}$  и т.п.) электронных распределений основного

состояния не могут дать необходимой точности их значений, тем более они неэффективны для расчета этих величин для возбужденных состояний.

Для определения эффективных значений  $n_p^*$  и  $Z_p^*$  возбужденных  $np$ -состояний воспользуемся тем же приемом, что и при выводе квадратного уравнения (2 и 3) для определения эффективных ( $n_s^*$  и  $Z_s^*$ ) основных  $ns$ -состояний [1]. Для этого необходимо знать межатомное расстояние ( $R_{ac}$ ) между вторыми соседями в ОЦК-решетке и потенциал ионизации ( $J_p$ ) возбужденного  $np$ -состояния.

ОЦК-решетка составлена из двух ПК-решеток для которых коэффициент компактности упаковки ( $q$ ) равен 0,523 [5]. Тогда расстояние  $R_{ac}$  равно периоду решетки  $a = R_{ac}$  и для ОЦК-решетки определяется по формуле [5]

$$R_{ac} = 2r_0^p \sqrt[3]{q} = 1,614r_0^p, \quad (19)$$

где  $r_0^p$  - атомный объем в металле, приходящийся на  $np$ -электрон.

Дополнительно, используя соотношения

$$r_0^p = \frac{1,5n_p^{*2}}{Z_p^*}, \quad (20)$$

$$J_p = \frac{Z_p^{*2}}{2n_p^{*2}}, \quad (21)$$

получаем выражение для нахождения  $n_p^*$  типа уравнения (14.1)

$$n_p^{*2} - \left( \frac{R_{ac} \sqrt{2J_p}}{1,5 \cdot 1,614} + \Delta_p \right) n_p^* + \frac{0,0946}{1,5 \cdot 1,614} R_{ac} = 0, \quad (22)$$

$$n_p^{*2} - \left( 0,413R_{ac} \sqrt{2J_p} + \Delta_p \right) n_p^* + 0,03907R_{ac} = 0 \quad (22.1)$$

где  $\Delta_p = 1 - \frac{1}{(1+6)^{2/3}} = 0,727$  - квантовый дефект для  $np^*$ -состояния, определяется по формуле (6) при  $k=6$ , т.к.  $np$  - свободная оболочка имеет шесть незанятых квантовых ячеек.

Затем находим эффективный заряд ядра  $Z_p^*$

$$Z_p^* = n_p^* \sqrt{2J_p} \quad (23)$$

в соответствии с (3).

Для  $Li$   $R_{ac}=6,627$  а.е. [5],  $2J_p=0,26$  а.е. [6, 7] и из (22 и 23) получаем  $n_p^* = 1,9927$ ,  $Z_p^* = 1,0161$ . Для  $2p$ -состояния атома  $Li$  действительное квантовое число  $n_p = 2$ , расчетное значение  $n_p^*$  отличается от

действительного на квантовый дефект равный 0,0073, что, соответствует незначительному его взаимодействию с внутренней  $1S^2$ -оболочкой.

Энергия связи металлических кристаллов определяется суммой следующих членов

$$\Delta E_m^0 = \Delta E_m + \Delta E_{6p} + \Delta E_{6p}^u + \Delta E_{6p}^\alpha + \Delta E_{cв}^{*\alpha} + \Delta E_m^k \quad (24)$$

где  $\Delta E_m = (E_m - J_S) \cdot N_{cв}$  – энергия металлической составляющей связи;  $E_m$  – полная энергия связи металла по (14);  $J_S$  – потенциал ионизации электрона с основного  $n_S$ -уровня ;  $N_{cв}, N_p$  – число свободных и локализованных электронов по (17, 18);  $\Delta E_{6p}$  – энергия связи за счет локализованных  $np$ -электронов;  $\Delta E_{6p}^u$  – изменение энергии внутренних электронов за счет эффекта выталкивания локализованных  $np$ -электронов в область связи;  $\Delta E_{6p}^\alpha$  – поляризационная поправка для локализованных связей;  $\Delta E_{cв}^\alpha$  поляризационная поправка для свободных электронов;  $\Delta E^k$  – корреляционная поправка для всех электронов связи.

Энергия связи за счет локализованных  $np$ -электронов определяется по формуле [1]

$$\Delta E_{6p} = (E_p - J_S) \cdot N_p = \left[ -\frac{(Z_p^* - \sigma)}{2n_p^*(n_p^* - \Delta_p)} + J_S \right] \cdot N_p \quad (25)$$

где  $\sigma=0,0946$  – константа экранирования в модели свободных электронов по (11);  $\Delta_p = 0,727$  – квантовый дефект для квантового числа локализованных  $np$ -электронов (22.2);  $E_{6p}$  – полная энергия связи на основе  $np$ -электронов

$$E_{6p} = -\frac{(Z_p^* - \sigma)}{2n_p^*(n_p - \Delta_p)}. \quad (25.1)$$

Изменение энергии внутренних электронов за счет эффекта выталкивания локализованных  $np$ -электронов в область связи равно [1]

$$\Delta E_{6p}^u = \frac{1}{2} \left[ n_S^2 \cdot \left( \overline{r_S^{-1}} \right)^2 - n_p (n_p - \Delta_p) \cdot \left( \overline{r_{6p}^{-1}} \right)^2 \right] \cdot N_p, \quad (26)$$

где  $n_S, n_p$  – действительные квантовые числа  $n_S$  и  $n_p$ -электронов ( $n_S=n_p=2, 3, 4, 5, 6$ );  $\overline{r_S^{-1}}, \overline{r_{6p}^{-1}}$  – квантовомеханическое среднее значение величин  $\frac{1}{r}$  для атомных  $n_S$ - и локализованных связевых  $np$ -электронов.

$$\overline{r_S^{-1}} = \frac{Z_S^*}{n_S^{*2}}; \quad \overline{r_{6p}^{-1}} = \frac{(Z_p^* - \sigma)}{n_p^*(n_p^* - \Delta_p)}. \quad (27)$$

Поляризационная поправка для локализованных связей равна

$$\Delta E_p^\alpha = \frac{\alpha}{2} \left[ \left( \overline{r_S^{-2}} \right)^2 - \left( \overline{r_{6p}^{-2}} \right)^2 \right] \cdot N_p \quad (28)$$

где  $\alpha$  – поляризуемость ионной оболочки [9];  $\overline{r_S^{-2}}$ ,  $\overline{r_{6p}^{-2}}$  – квантомеханическое среднее значение величин  $\frac{1}{r^2}$  для атомных  $n_S$ - и локализованных связевых  $np$ -электронов;

$$\overline{r_S^{-2}} = \frac{Z_S^{*2}}{n_S^{*3} \cdot (n_S^* - 0,5)}, \quad (28.1)$$

$$\overline{r_{6p}^{-2}} = \frac{(Z_p^{*2} - \sigma)}{n_{6p}^{*3} \cdot (n_{6p}^* - 0,5)}, \quad (29)$$

$$n_{6p}^* = \sqrt{n_p^* (n_p^* - \Delta_p)}, \quad (29.1)$$

$n_{6p}^*$  – эффективное квантовое число электронов связи, образованных на основе  $np$ -электронов.

Поляризационная поправка для свободных электронов равна

$$\Delta E_m^{*\alpha^-} = \left[ \frac{\alpha}{2} \left( \overline{r_M^{-2}} \right)^2 - \frac{\alpha}{2} \left( \overline{r_S^{-2}} \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{N_{ce}}{2} \right) = -\frac{\alpha}{4} \left[ \left( \overline{r_m^{-2}} \right)^2 - \left( \overline{r_S^{-2}} \right)^2 \right] \cdot N_{ce}, \quad (30)$$

где  $\overline{r_m^{-2}} = \frac{(Z_S^* - \sigma)}{n_m^3 (n_m^* - 0,5)}$ ,  $n_m^* = \sqrt{n_S^* (n_S^* - \Delta_m)}$ .

В последней формуле учтена энергия нулевых колебаний ионной оболочки под влиянием электростатического взаимодействия со свободными электронами. Обычная поляризационная поправка  $\Delta E_{ce}^\alpha$  имеет отрицательное значение и равна

$$\Delta E_{ce}^\alpha = -\frac{\alpha}{2} \left[ \left( \overline{r_m^{-2}} \right)^2 - \left( \overline{r_S^{-2}} \right)^2 \right] \cdot N_{ce}. \quad (31)$$

ВФ свободных электронов простирается на весь кристалл, свободный электрон, влетая в атомную ячейку (Вигнера-Зайтца), электростатически поляризует внутреннюю оболочку, которая, как гармонический осциллятор, приходит в колебательное движение по трем координатным осям ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) энергия нулевых колебаний трехмерного квантового осциллятора имеет положительное значение и равна

$$\Delta E_{HK} = \frac{3}{2} \hbar \varpi = \frac{3}{2} \left[ \frac{\alpha}{2} \left( \overline{r_m^{-2}} \right)^2 - \left( \overline{r_S^{-2}} \right)^2 \right] \cdot N_{ce}, \quad (32)$$

где  $\varpi$  – круговая частота;  $\hbar$  – постоянная Планка.

Общая поправка равна алгебраической сумме выражений (32, 31) и имеет положительное значение

$$\Delta E_{cv}^{*\alpha} = \Delta E_{HK} + \Delta E_{cv}^{\alpha} = \frac{\alpha}{4} \left[ \left( \overline{r_m^{-2}} \right)^2 - \left( \overline{r_s^{-2}} \right)^2 \right] \cdot N_{cv}. \quad (33)$$

Корреляционная поправка для свободных и локализованных электронов рассчитывается по аналогичной формуле, что и для молекулы  $A_2$ , где взаимодействуют два электрона и которая имеет вид [1]

$$\Delta E_{A_2}^K = -0,0492 \frac{2J_S}{2J_S + \Delta E_{A_2}}, \quad (34)$$

где  $\Delta E_{A_2}^K$  – энергия связи молекулы  $A_2$ .

В щелочных металлах энергия связи ( $\Delta E_m^0$ ) рассчитывается на один электрон, поэтому (34) модифицируется к виду

$$\Delta E_m^K = -\frac{0,0492}{2} \cdot \frac{J_S}{J_S + \Delta E_m^0}. \quad (35)$$

После подстановки (35) в (24) получаем квадратное уравнение относительно  $\Delta E_m^0$

$$\left( \Delta E_m^0 \right)^2 + (2J_S - A)\Delta E_m^0 - 2J(A + 0,0296) = 0, \quad (36)$$

где  $A = (E_m - J)N_{cv} + \Delta E_p \cdot N_p + \Delta E_p^u + \Delta E_p^{\alpha} + \Delta E_{cv}^{\alpha}$  – постоянная, введенная для упрощения записи выражения (36).

Расчет по выведенным формулам сведем в таблицу 1.

В таблице 1 внесены для сокращения значения

$$n_m^* = \sqrt{n_s^* (n_s^* - \Delta_m)}; \quad (37)$$

$$Z_m^* = Z_s^* - 0,0946; \quad (38)$$

$$Z_{6p}^* = (Z_p^* - 0,0946), \quad (39)$$

где  $n_m^*$  – эффективное квантовое число свободных электронов в металле;  $Z_m^*$ ,  $Z_{6p}^*$  – эффективный заряд ядра, действующий на свободные и локализованные  $np$ -электроны соответственно.

Предлагаемая методика (ПЭП) расчета квантовых систем позволила четко разделить электроны в металле на свободные и локализованные. Методика ПЭП правильно отвечает на вопрос: почему элементы периодической системы с большими квантовыми числами ( $n \geq 3, 4, 5, 6$ ) являются металлами при большой валентности  $Z$  (олово  $n=5, Z=4$ ; свинец  $n=6, Z=4$ ; полоний  $n=6, Z=6$  и т.п.), а с малыми квантовыми числами образуют ковалентные соединения даже при  $Z=1$  (водород  $n=1, Z=1$ ; бор  $n=2, Z=3$  и т.п.). Данное утверждение вытекает из формулы (9) для квантового дефекта металлической связи.



**Таблица 1 – Расчетные экспериментальные значения энергии связи и других параметров щелочных металлов\***

Металл	Параметры				
	$\frac{n_s^*[1]}{n_m^*(37)}$	$\frac{Z_s^*[1]}{Z_m^*(38)}$	$\frac{n_p^*(22.1)}{n_{6p}^*(29.1)}$	$\frac{Z_p^*(23)}{Z_{6p}^*(39)}$	$\frac{\Delta E_m(24.1)}{\Delta E_{6p}(25)}$
1	2	3	4	5	6
Li	$\frac{1,823}{1,5127}$	$\frac{1,1475}{1,0529}$	$\frac{1,9922}{1,5878}$	$\frac{1,0158}{0,9212}$	$\frac{0,03169}{-0,00840}$
	$\frac{2,0232}{1,7348}$	$\frac{2,2432}{1,1486}$	$\frac{2,1414}{1,7405}$	$\frac{1,01214}{0,91754}$	$\frac{0,028426}{-0,00322}$
K	$\frac{2,3600}{2,0031}$	$\frac{1,3328}{1,2382}$	$\frac{2,3937}{1,9976}$	$\frac{1,07209}{0,97749}$	$\frac{0,02330}{-0,0106}$
	$\frac{2,3874}{2,0621}$	$\frac{1,3228}{1,2282}$	$\frac{2,4438}{2,0661}$	$\frac{1,0724}{0,9778}$	$\frac{0,02237}{-0,002590}$
Cs	$\frac{2,49}{2,154}$	$\frac{1,3321}{1,2375}$	$\frac{2,582}{2,1887}$	$\frac{1,1090}{1,0144}$	$\frac{0,02023}{-0,00277}$
	Параметры				
Металл	$\frac{\Delta E_m^{*\alpha}(33)}{\Delta E_m^K(35)}$	$\frac{\Delta E_{6p}^u(26)}{\Delta E_{6p}^\alpha(28)}$	$\frac{r_0(13)}{r_0[4]}$	$\frac{\Delta E_m^0(36)}{\Delta E_m^0[8]}$	
	7	8	9	10	
Li	$\frac{-0,0021}{0,0190}$	$\frac{0,01928}{-0,0014}$	$\frac{3,26}{3,26}$	$\frac{0,05807}{0,0585}$	
	$\frac{-0,01068}{0,02019}$	$\frac{0,0066}{-0,000073}$	$\frac{3,93}{3,93}$	$\frac{0,04127}{0,04123}$	
K	$\frac{0,0150}{0,02020}$	$\frac{0,01752}{-0,0008}$	$\frac{4,86}{4,86}$	$\frac{0,03467}{0,0345}$	
	$\frac{-0,01438}{0,02041}$	$\frac{0,00594}{-0,00013}$	$\frac{5,20}{5,20}$	$\frac{0,03168}{0,03155}$	
Cs	$\frac{-0,01824}{0,0204}$	$\frac{0,00942}{-0,00003}$	$\frac{5,625}{5,625}$	$\frac{0,029840}{0,02990}$	

Продолжение таблицы 1

Металл	Параметры				
	$\frac{N_{св}}{N_{лок}} (17)$	$\frac{J_s [7]}{J_p [7]}$	$\frac{R_{ab} \text{ в } A_2 [1]}{R_{ac} [5]}$	$\frac{E_m (14)}{E_{6p} (25.1)}$	$\frac{\alpha [9]}{\Delta_m (16)}$
	11	12	13	14	15
Li	$\frac{0,7188}{0,2812}$	$\frac{0,19814}{0,1300}$	$\frac{5,0493}{6,627}$	$\frac{0,24220}{0,14335}$	$\frac{0,16}{0,56774}$
	$\frac{0,9357}{0,0643}$	$\frac{0,1888}{0,1117}$	$\frac{5,815}{7,989}$	$\frac{0,21918}{0,13895}$	$\frac{1,65}{0,53565}$
K	$\frac{0,7391}{0,2609}$	$\frac{0,1595}{0,1003}$	$\frac{7,43}{9,884}$	$\frac{0,1910}{0,11970}$	$\frac{7,0}{0,65984}$
	$\frac{0,9365}{0,0635}$	$\frac{0,1535}{0,09629}$	$\frac{7,80}{10,571}$	$\frac{0,17737}{0,11200}$	$\frac{8,20}{0,6063}$
Cs	$\frac{0,9225}{0,0772}$	$\frac{0,1431}{0,09224}$	$\frac{8,48}{11,435}$	$\frac{0,16505}{0,1074}$	$\frac{15,50}{0,6262}$

\* Таблица заполнена в атомной системе единиц ( $e/\hbar=m_e=1$ ). Энергетические параметры ( $\Delta E_m, \Delta E_{6p}, \Delta E_m^{*\alpha}, \Delta E_m^K, \Delta E_{6p}^u, \Delta E_{6p}^\alpha, \Delta E_m^0, E_m, E_{6p}$ ) вписаны с обратным знаком.

Для ковалентной связи в молекуле  $A_2$  квантовый дефект равен  $\Delta_K = 0,37[1]$  чтобы металлическая связь была более эффективной, чем ковалентная должно выполняться соотношение  $\Delta_m \geq \Delta_K$ . Для оценки  $\Delta_m$  возьмем  $\Delta_m = 0,4$ , тогда из (9) получаем

$$N_{св} = 0,4776n^{*3/2} \quad (40)$$

По формуле (40) для  $n^*=3$   $N_{св} = 2,482$ ;  $n^*=4$   $N_{св} = 3,821$ ;  $n^*=5$   $N_{св} = 5,339$ , таким образом, при увеличении  $n^*$  емкость зоны свободных электронов, дающих устойчивую металлическую связь, растет и при  $n^*=5$  превышает соответствующую валентность элемента с  $Z=5$ .

Для водорода при  $n=1$  по формуле (9)  $N_{св} = 0,4776$   $N_{лок} = 1 - 0,4776 = 0,5224$ . Локализованные ковалентные связи могут возникать только на основе первых  $2S$ - и  $2p$ - возбужденных уровней с  $n=2$  и энергией связи  $J_{2s} = J_{2p} = 0,125$  а.е. Оценка энергии связи металлического состояния водорода по формуле (36) с учетом энергии локализованных связей между 8-мью ближайшими соседями по количеству свободных квантовых ячеек в  $2S^2p^6$ -оболочке по формулам работы [1] дает отрицательное значение  $\Delta E_m[H_2] = -(-0,0674 \text{ а.е.}) = +0,0674 \text{ а.е.}$  (см. примечание к таблице 1).

**Выводы.** Следуя методике расчета ПЭП, металлическое состояние будет более эффективным по отношению к ковалентному, если у свободного атома валентные электроны имеют главные ковалентные числа  $n \geq 2$  и близко лежащие возбужденные уровни по шкале энергии. Чем больше  $n$ , тем элемент с большей валентностью образует устойчивую металлическую связь. Методика расчета ПЭП использует одни и те же атомные параметры  $n^*$ ,  $Z^*$  как при расчете энергии связи и межатомных расстояний в молекулах  $A_2$  [1], так и металлических кристаллах. Она позволяет согласовать и сверить правильность экспериментальных значений параметров атомов, молекул и кристаллов ( $J_s, J_p, \Delta E_{A_2}, \Delta E_m, R_{ab}, r_0, \alpha$ ), которые приводятся в различных источниках с большим разбросом значений, определить числа  $N_{св}, N_{лок}$  в металлических кристаллах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селянин И.Ф., Деев В.Б., Приходько О.Г. / Расчет энергии связи гомоядерных двухатомных молекул ( $A_2$ ) по методу постоянной электронной плотности (ПЭП). // С. 92 – 102 настоящего сборника.
2. Минкин В.И., Симкин Б.В., Миняев Р.М. Теория строения молекул. М.: Высшая школа, 1979. – 407 с.
3. Селянин И.Ф., Целлермаер В.Я., Куценко А.И. / Известия вузов. Черная металлургия. 2002. №10. С 44–46.
4. Хейне В., Коэн М., Уэер Д. Теория псевдопотенциала. М.: Мир, 1973. – 557 с.
5. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии. Л.: Химия, 1974. – 496 с.
6. Свойства элементов. Ч. 1. Физические свойства. Справочник. М.: Металлургия, 1976. – 600 с.
7. Ельяшевич М.Я. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматиз, 1962. – 892 с.
8. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука. – 1978. – 792 с.
9. Бацанов С.С. Структурная рефрактометрия. М.: Высшая школа, 1976. – 304 с.
10. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М.: Мир, 1969. – 648 с.
11. Харрисон У. Псевдопотенциалы в теории металлов. М.: Мир. 1968. – 366 с.

УДК 621.746

И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, О.Г. Приходько

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## МЕЖАТОМНОЕ РАССТОЯНИЕ В МОЛЕКУЛАХ И КРИСТАЛЛАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА КОМПАКТНОСТИ УПАКОВКИ АТОМНОЙ ИЛИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЯЧЕЙКИ

Произведен расчет межатомного расстояния в молекулах и кристаллах в зависимости от коэффициента компактности упаковки атомной или молекулярной ячейки.

The calculation of the mezhatomnogo races-standing is produced in molecules and crystals in zavisimo-sti from the coefficient of compactness of packing of atomic or molecular cell.

При известном классическом значении атомного радиуса  $r_{am} = r_0$  величина межатомного расстояния ( $R_{ab}$ ) определяется через коэффициент компактности упаковки  $g$ , который равен [1, 2]

$$g = \sum_i Z_i \frac{v_i}{v_a}, \quad (1)$$

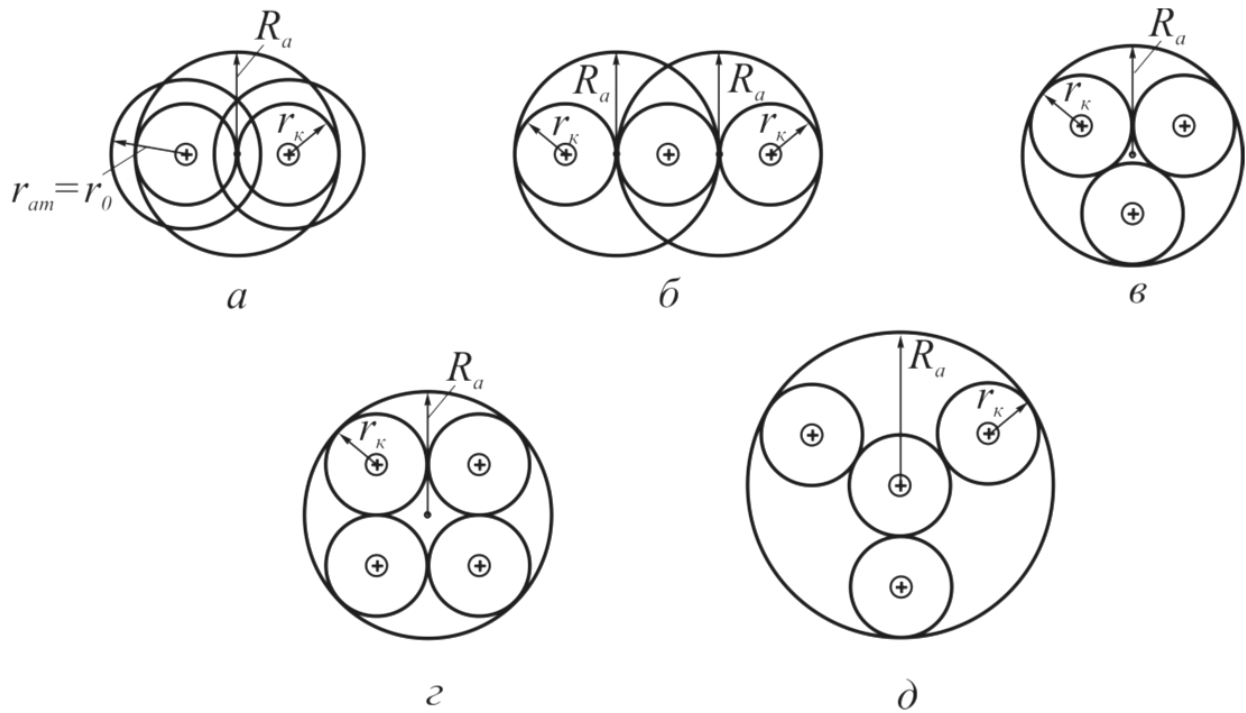
где  $Z_i$  – число атомов в атомной ячейке;  $v_i$  – объем одного ковалентного атома,  $v_a$  – объем атомной ячейки.

Радиус атомной ячейки ( $R_a$ ) и объем  $v_a = \frac{4}{3}\pi R_a^3$  определяется из кристаллохимических построений, представленных на рисунке 1.

Ковалентный радиус атома ( $r_k$ ) равен половине расстояния между центрами атомов  $r_k = R_{ab}/2$ . Учитывая, что  $v_a = \frac{4}{3}\pi \left( \sum_i Z_i r_{i0}^3 \right)$ , а

$\sum_i Z_i v_i = \frac{4}{3}\pi \left( \sum_i Z_i \left( \frac{R_{ab}}{2} \right)^3 \right)$  из (1) получаем выражение для  $R_{ab}$

$$R_{ab} = 2r_0 \sqrt[3]{g}. \quad (2)$$



**Рисунок 1 – Кристаллохимические схемы определения межатомного расстояния  $R_{ab}$  по рассчитанному классическому значению  $r_0$ :**

$$r_{am} = r_0 > r_k$$

Для двухатомной молекулы  $A_2$  радиус атомной ячейки равен  $R_a = 2r_k = R_{ab}$  (рисунок 1, а); для линейной молекулы  $A_3$  также  $R_a = 2r_k = R_{ab}$  (рисунок 1, б); для молекулы  $A_3$  (рисунок 1, в)  $R_a = r_k \cdot \left(1 + \frac{2}{\sqrt{3}}\right) = 2,155 \cdot r_k$ ; для молекулы  $A_4$  (рисунок 1, г)  $R_a = r_k \cdot (1 + \sqrt{2}) = 2,414 \cdot r_k$ ; для слоистой структуры типа графита (рисунок 1, д) атомная ячейка представляет цилиндр с площадью основания  $S_{ц} = \pi(3r_k)^2$  и высотой  $h_{ц} = 2r_k$ , объем атомной ячейки равен  $v_a = 18\pi r_k^3$ , в атомную ячейку входит четыре ковалентных атома общим объемом  $\sum_i Z_i v_i = 4 \frac{4}{3} \pi r_k^3$ .

Расчеты по формулам (1) и (2) сведены в таблицу 1.

Следует уточнить, что  $r_0$  в формуле (2) – это радиус одной сферы (или металлический радиус), которая получается при делении объема атомной ячейки (для металлов объем ячейки Вигнера-Зейтца) на число атомов в ячейке

$$\frac{4}{3}\pi r_0^3 = \frac{4}{3}\pi \frac{R_a^3}{Z_i} \text{ или } r_0 = R_a \sqrt[3]{1/Z_i}. \quad (3)$$

**Таблица 1 – Расчетные значения  $g$  и  $R_{ab}$  для молекул и кристаллических решеток**

Параметр	Молекулы				Тип кристаллической решетки					
	$A_2$ , (рисунок 1, а)	$A_3$ , (рисунок 1, б)	$A_3$ , (рисунок 1, в)	$A_4$ , (рисунок 1, г)	графит	алмаз	ГЦК	ГПУ	ОЦК	ПК
$g$	0,25	0,25	0,302	0,284	0,296	0,34	0,7404	0,7404	0,682	0,523
$R_{ab}$	$1,26r_0$	$1,26r_0$	$1,342r_0$	$1,315r_0$	$1,333r_0$	$1,396r_0$	$1,8094r_0$	$1,8094r_0$	$1,7605r_0$	$1,614r_0$

**Выводы:** расчет показал, что приведенные формулы (1) и (3) справедливы как для плотных кристаллических упаковок, так и для рыхлых молекулярных структур.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданов Г.С. Физика твердого тела. – М.:МГУ, 1961. – 414 с.
2. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии. Л.: Химия, 1974. – 496 с.

УДК 669.017

С.А. Невский, С.В. Коновалов, В.Е. Громов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## О ВЛИЯНИИ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА РЕЛАКСАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ В АЛЮМИНИИ

Проведено исследование влияния слабых электрических потенциалов на релаксацию напряжений в поликристаллическом алюминии. Получены и проанализированы зависимости основных параметров процесса релаксации от величины электрического потенциала.

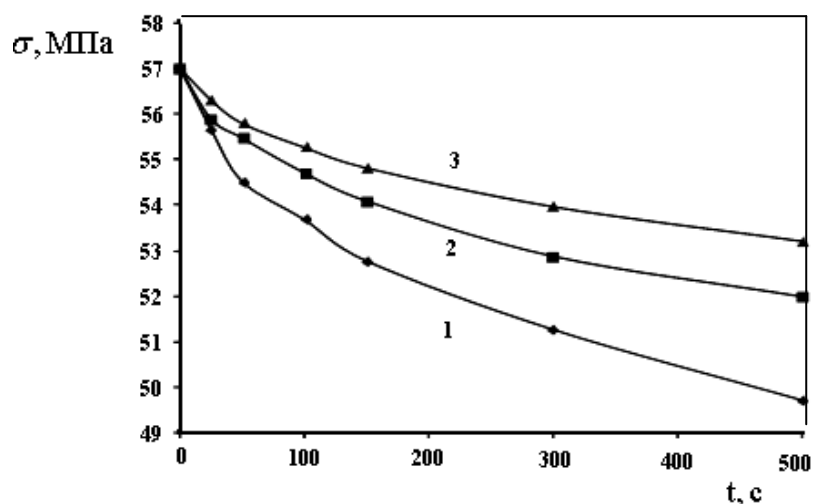
The influence of feeble electrical potential on the stress relaxation in polycrystalline aluminum are researched. Dependences of key parameters of process of the stress relaxation on quantity of electrical potential are received and analyzed.

Изучение физико-механических свойств металлов и сплавов, подвергаемых различного рода пластическим деформациям в условиях внешних энергетических воздействий является актуальной проблемой современного физического материаловедения. На сегодняшний день общепризнанным фактом является то, что внешние энергетические воздействия оказывают существенное влияние на фазовый состав, структуру и свойства металлов и сплавов. Большие успехи достигнуты в изучении влияния переменных и постоянных электрических полей на пластическое течение материалов [1, 2]. Однако, несмотря на большой объем теоретических и экспериментальных исследований в этой области остается много вопросов связанных с влиянием слабых электрических воздействий на пластическую деформацию металлов, одним из которых является воздействие электрическим потенциалом. В данном направлении исследования ведутся с 70-х годов прошлого века, начиная с работы С. Т. Кишкина и А. А. Клыпина [3], где было сообщено, что при подключении к испытываемому на ползучесть образцу, металлов с иным химическим потенциалом наблюдается заметное изменение скорости ползучести. В настоящее время результаты исследований влияния электрического потенциала и контактной разности потенциалов на ползучесть металлов обобщены в монографии [4]. Недостатком этих работ является то, что рассмотрен лишь один вид прямого механического последствия: ползучесть. Изучение влияния электрического потенциала на релаксацию напряжений никем не проводилось. Поэтому целью нашего исследования является изучение влияния электрического потенциала на процесс релаксации напряжений. В процессе исследования решались следующие задачи:

1. Изучение поведения характеристик релаксации («логарифмической» скорости релаксации  $z = \Delta \ln \sigma / \Delta \ln t$ ) в условиях влияния электрического потенциала.

2. Исследование влияния электрического потенциала на активационные параметры процесса релаксации (активационный объем).

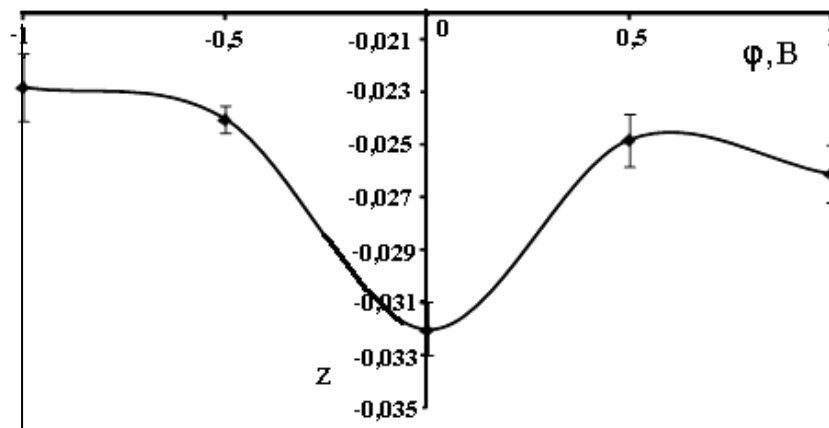
В нашей работе проводились испытания образцов поликристаллического алюминия на релаксацию напряжений в условиях сжатия по методике [5]. Из полученных релаксационных кривых вычислялись основные характеристики данного процесса. На рисунке 1 показаны релаксационные кривые при различных потенциалах.



**Рисунок 1 – Типичные релаксационные кривые при различных значениях потенциала (1 – -0,5 В, 2 – 0 В, 3 – 0,5 В)**

Из данного рисунка следует, что при отрицательном потенциале процесс релаксации ускоряется (график 1), а при положительном потенциале (график 3) падение напряжение ниже чем при нулевом потенциале, следовательно эффект влияния потенциала проявляется в области его отрицательных значений.

Зависимость «логарифмической» скорости релаксации  $z = \Delta \ln \sigma / \Delta \ln t$  от потенциала представлена на рисунке 2.

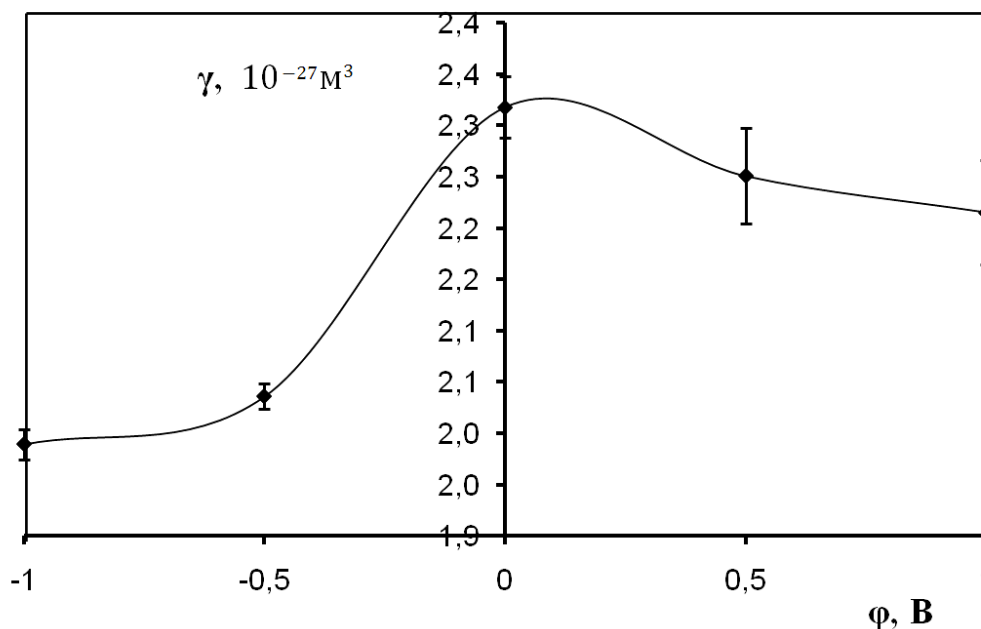


**Рисунок 2 – Зависимость «логарифмической» скорости релаксации от потенциала**



Полученная зависимость показывает, что вне зависимости от знака потенциала наблюдается падение величины  $z$ , но при отрицательном потенциале оно более выражено.

Рисунок 3 показывает зависимость активационного объема от потенциала.



**Рисунок 3 – Зависимость активационного объема от потенциала**

Данный график показывает, что вне зависимости от знака потенциала наблюдается падение величины активационного объема, причем при отрицательном потенциале оно более резкое. Следовательно, при воздействии отрицательным потенциалом процессы релаксации протекают быстрее, чем при воздействии положительным.

Возможное объяснение полученным фактам может быть следующим: поскольку при изменении потенциала поверхности образца электрический заряд сосредотачивается на его поверхности. Следовательно, можно связать процесс пластической деформации с явлениями, происходящими на поверхности образца [6], в частности с изменением поверхностного натяжения при воздействии. Поверхностное натяжение оказывает влияние на зарождение и размножение дислокаций в поверхностных слоях металлов [7]. Согласно [8], пластическая деформация начинается в поверхностных слоях поликристаллических материалов, где для зарождения дислокаций требуется меньшее напряжение, чем в объеме. При релаксации напряжений сопротивление движению дислокаций в поверхностных слоях материала меньше чем в объеме материала. Под воздействием электрического потенциала изменяется число стопоров, препятствующих движению дислокаций, следовательно, изменяется плотность подвижных дислокаций и соответственно скорость пластической деформации.

Другая точка зрения, изложенная в [9] заключается в следующем: в процессе нагружения образца происходит миграция вакансий из объема в поверхностные слои материала, а в процессе релаксации вакансии закачиваются в приповерхностные слои материала. По-видимому, электрический потенциал влияет на процесс закачки вакансий.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013г.г.» (гос. контракт № П411).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Electromagnetic fields effect on the structure and characteristic of materials (Book of the International seminar articles, 19 – 21 May 2009, Institute for Machines Science of the Russian Academy of Sciences Moscow) [Text]/ Ed. By Yu. Baranov, V. Gromov, G. Tang. – Novokuznetsk, «Novokuznetsk Poligraphic Center», 2009. – 380 p.
2. Троицкий, О. А. Физические основы и технологии обработки современных материалов (теория, технология, структура и свойства) [Текст]: в 2-х т., Т.1. / О. А. Троицкий [и др]. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004 – Т.1. – 590 с.
3. Кишкин, С. Т. К вопросу о развитии физической теории пластичности и прочности металлов [Текст] / С. Т. Кишкин, А. А. Клыпин // ДАН СССР – 1974. – Т. 216. – № 4. – С. 771 – 773.
4. Коновалов, С. В. Прочность и пластичность металлов при слабых энергетических воздействиях [Текст] / С. В. Коновалов [и др.]. – Новокузнецк: Изд-во ОАО «Новокузнецкий полиграфический комбинат», 2009. – 180 с.
5. Невский, С.А. Методическое обеспечение исследования релаксации напряжений в металлах при внешних энергетических воздействиях [Текст] / С.А. Невский, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии – 2009. – вып.24. – С. 179 – 184.
6. Коновалов, С. В. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия [Текст] / С. В. Коновалов [и др.] // ФТТ – 2007. – Т.49. – С. 1389 – 1391.
7. Гохштейн, А. Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция [Текст] / А. Я. Гохштейн. – М.: «Наука», 1976. – 400 с.
8. Дударев, Е. Ф. Микропластическая деформация и предел текучести поликристаллов [Текст] / Е. Ф. Дударев. – Томск: Изд-во Томского университета, 1988 – 256 с.
9. Алехин, В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов [Текст] / В. П. Алехин. – М.: «Наука», 1983. – 280 с.

**ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА  
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

В.А. Быстров, Н.И. Новиков, Д.А. Некрасов

Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО «Кемеровский  
государственный университет», г. Новокузнецк

## АНТИКРИЗИСНАЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННАЯ СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

В статье рассматриваются проблемы инновационно-инвестиционной политики развития металлургических компаний на современном посткризисном этапе.

In the article problems of an is innovative-investment policy of development of the metallurgical companies at a modern post crisis stage are considered.

Главное стратегическое направление инновационно-инвестиционного развития металлургических компаний для выхода из кризисной ситуации – наращивание производства продукции глубокой степени переработки с высокой добавленной стоимостью. Цель такого развития – получить максимум отдачи с каждой тонны продукции, повысить конкурентоспособность металлургической компании на внутреннем и внешнем рынках, обеспечить новые сегменты для сбыта металлопродукции на внешнем рынке с учетом постоянно усложняющейся рыночной конъюнктуры.

### **Причины спада инвестиций в период кризиса**

1. *Избыток производственных мощностей* является причиной переизводства, приводящего к снижению цен на металлопродукцию. Основных причин хронической недозагруженности мощностей две – существенная длина инвестиционного цикла и высокая капиталоемкость металлургической отрасли.

2. *Цикличность рынка* в металлургической отрасли наблюдается как в долгосрочном масштабе, так и на протяжении года. Цикличность выражается в заметном колебании спроса и цен на металлопродукцию, что связано с темпами роста/спада ВВП отдельных стран и всего мира в целом.

3. *Высокая стандартизация продукции*, обусловленная выпуском металлопродукции в соответствии с общеизвестными национальными стандартами, например, ГОСТ в России, ASTM в США, JIS в Японии, DIN в Германии. Высокая стандартизация обеспечивает взаимозаменяемость марок стали и однородность предложения на мировых рынках.

4. *Высокая фрагментированность металлургической отрасли* не позволяла металлургам скоординировать свои усилия по снижению объемов производства, и им оставалось только наблюдать, как тают их доходы. Первые три мировые металлургические компании отвечают всего за 14 % про-

изводства, в то время как потребители металлопродукции, такие как автомобильная и нефтяная промышленность, первыми тремя компаниями охватывают 43 и 37 % производства. Еще большей силой обладают поставщики металлургической отрасли – производители железорудного сырья (ЖРС), которые тремя компаниями охватывают 73 % рынка мировой торговли ЖРС, что позволяет им одновременно поднимать цены годовых контрактов на 60÷90 %, однако экономический кризис привел к обратному эффекту – резкому снижению цен на ЖРС – на 150÷200 %. Такая же пропорциональность наблюдалась и в России. Таким образом, металлургическая отрасль находится как бы между молотом поставщиков сырья и наковальной конечных потребителей металлопродукции, что негативно влияет на финансовые результаты компаний.

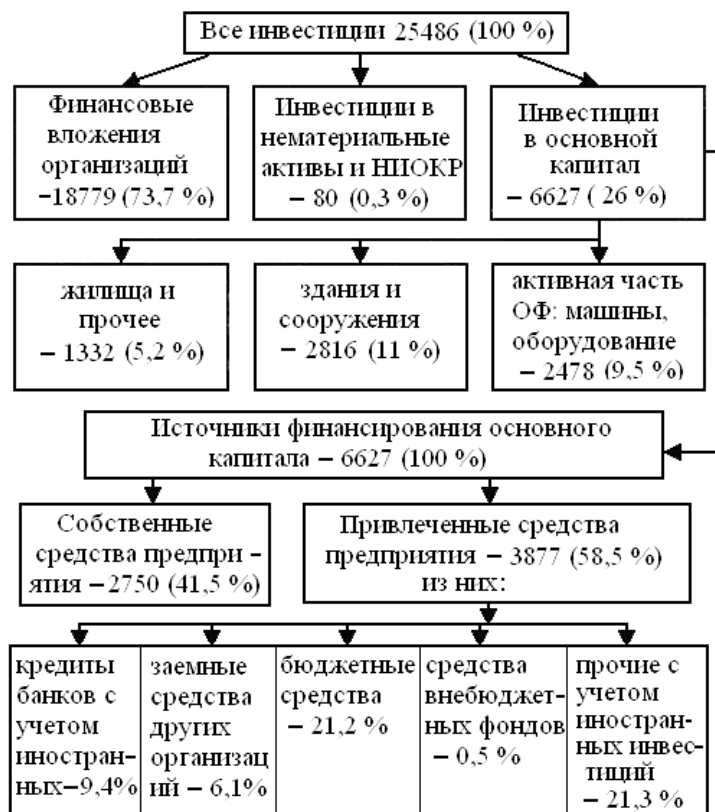
Начало роста инвестиционной привлекательности отмечено в период роста мирового ВВП приходящегося на 2002 – 2008 годы, вплоть до разразившегося всеобщего финансово-экономического кризиса. Однако планируемый выход из кризиса, намеченный на 2010 – 2011 гг., изменили инвестиционную ситуацию в России. Основными источниками финансирования инвестиций в основной капитал (таблица 1) являлись в основном привлеченные средства, доля которых в 2007 г составила 58,5 %, что по сравнению с 2004 г (45,2 %) выше на 29,4 %.

**Таблица 1 – Структура инвестиций в основной капитал по источникам финансирования по годам 2000 – 2007 гг. (в процентах к итогу)**

Показатели по годам	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Инвестиции в основной капитал	100	100	100	100	100	100	100	100
в том числе финансируемые за счет								
• собственных средств, из них:	47,5	49,4	45,0	45,6	45,2	45,4	44,3	41,5
прибыль	23,4	24,0	19,1	18,0	17,6	17,8	17,5	17,2
амортизация	18,1	18,5	21,9	23,8	24,3	24,5	26,8	24,3
• привлеченных средств, из них:	52,5	50,6	55,0	54,4	54,8	54,6	55,7	58,5
федерального бюджета	6,0	5,8	6,1	6,3	6,6	6,8	6,9	7,8
бюджетов субъектов РФ и местных	14,3	12,5	12,2	11,4	11,2	11,8	12,1	13,4

В 2007 г. доля прямых иностранных инвестиций увеличились до 21,3 %, что свидетельствовало о росте инвестиционной привлекательности промышленности России. Среди собственных источников с 2000 г. возрастает роль амортизации. В 2007 г удельный вес инвестиций, финансируемых за счет амортизации, составил 24,3 % общего объема собственных средств предприятий. При этом, начиная с 2002 г, четко наметилась тенденция увеличения объемов финансирования за счет федерального бюджета, прирост удельного веса в 2007 г по сравнению с 2002 г составил 27,8 %, что является положительным фактом. Однако при этом наблюдается стабильное снижение объемов финансирования инвестиций за счет прибыли (с 24 % в 2001 г до 17,2 % в 2007 г), а также бюджетов субъектов РФ и местных бюджетов (с 14,3 % в

2000 г. до 13,4 % в 2007 г.), что нельзя назвать позитивным сдвигом. Общее представление об эффективности использования инвестиций в экономике дает анализ их направлений и структуры за 2007 год (см. рисунок).



**Рисунок – Направления и структура использования инвестиций в экономике России в 2007 г., млрд. руб.**

Построение рисунка выполнено по материалам Росстата [5 – 8]. При этом инвестиции, направленные за рубеж, не учтены. Как видим, инвестиции в основной капитал, даже если бы они действительно соответствовали им, а не представляли бы в подавляющей части (исключая государственные капитальные вложения и прямые иностранные инвестиции) текущие затраты предприятий на капитальный ремонт, имеют необъяснимо малый удельный вес (26 %) в общей сумме, особенно в сравнении с финансовыми вложениями организаций (73,7 %). Для удобства рассмотрения, данные о потенциале, учете амортизации в себестоимости (таблица 1) и направления в инвестиции основного капитала за 2007 – 2008 гг. (рисунок) сгруппированы в таблицу 2.

**Таблица 2 – Потенциал, использование и направления амортизации**

Амортизационные отчисления при исчерпанной базе	Амортизация, не включенная в себестоимость	Амортизация, включенная в себестоимость	Амортизация в составе инвестиций в основной капитал
3283 млрд руб.	1846 млрд руб.	1437 млрд руб.	1166 млрд руб.
100%	56%	44%	36%

Как видим, 1846 млрд руб., т.е. 56 % нормативного потенциала амортизации, ввиду износа базы не используется. При этом по данным Росстата, только 81 % включенной в себестоимость амортизации, инвестирован в основной капитал.

Все предприятия заинтересованы в максимально возможном включении амортизации в себестоимость, уменьшающем объем прибыли и налоговых отчислений от нее. Налоговые органы заинтересованы в обратном. Противоборство этих разнонаправленных интересов приводит к следующему. Высокорентабельные предприятия имеют возможность разместить в рыночную цену нормативы амортизации и прибыли. Рентабельные предприятия располагают этой возможностью не в полном составе – лишь те, которые ближе к высококорентабельным. Все малорентабельные и примыкающие к ним рентабельные предприятия производят продукцию с повышенным расходом ресурсов и потому не могут включить в цену оба упомянутых норматива. Компромисс достигается включением в себестоимость и цену той величины амортизации, которая образует минимум прибыли, устраивающей налоговые органы.

Рейтинговое агентство S&P констатирует возникновение уникального потенциала для выхода из кризиса и улучшения структуры российской экономики. О наличии привлекательности инвестиционных вложений в российскую экономику за последнее время свидетельствует факт вложения иностранных инвестиций в развитие промышленности РФ, которые за 2007 г. и первое полугодие 2008 г. составили 89 млрд. долларов США. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о наличии существенного разрыва между общим необходимым объемом инвестиций в основной капитал и объемом фактически инвестируемых средств. В то же время этот разрыв наблюдается на фоне достаточности объема денежной массы и прочих инвестиционных ресурсов в экономике России в целом. Такая ситуация вызвана наличием ряда нерешенных проблем, сформулированных известными российскими экономистами и аналитиками [1 – 5, 9 – 11].

1. Крайне слабо проработаны механизмы обеспечения и организации нормативного регулирования и контроля деятельности хозяйствующих субъектов на каждой стадии процесса инвестирования.

2. Общая слабость действующей нормативной базы, существенно увеличивающая инвестиционные риски.

3. Суммарное воздействие совокупности факторов, препятствующих банковским инвестициям напрямую в основной капитал предприятий.

4. Проблема низкой инвестиционной привлекательности объектов инвестирования в силу длительного инвестиционного лага черной металлургии.

5. Недостаточные объемы российского финансового рынка, на котором явно преобладают «короткие» операции, в силу «сверх осторожности» коммерческих банков.

Таким образом, каждая отрасль должна разработать собственные позиции инновационного и инвестиционного развития. Учитывая высокую капиталоемкость, весьма длительный инвестиционный лаг, и невозможность в полной мере инвестировать капитал в активную часть основных фондов за счет прибыли и амортизации, металлургические предприятия в посткризисный период должны разработать собственную стратегию инновационно-инвестиционного развития.

**Инновационная деятельность в черной металлургии.** Производство черных металлов весьма материалоемкое. В расчете на 1 т готовой металлопродукции в производственном процессе расходуется до 3 т железной руды и 1 т коксующегося угля. Затраты на сырье, материалы и топливо составляют около 80 % себестоимости проката, поэтому важно получить максимальную экономическую отдачу от расхода этих топливно-сырьевых ресурсов. А это возможно лишь при производстве и реализации готовой металлопродукции с высокой добавленной стоимостью. Действует определенная закономерность: чем выше добавленная стоимость, тем больше размер прибыли на 1 т металлопродукции. Так, прибыль от производства холоднокатаного листа в расчете на 1 т выше, чем по горячекатаному прокату на 30 %, при производстве же оцинкованного листа и белой жести – почти в 3 раза. Поэтому стратегическая инвестиционная политика компании направлена на строительство агрегатов, производящих металлопродукцию высокой степени готовности: агрегатов по производству холоднокатаного листа, оцинкованного листа, листа с полимерным покрытием, развитие производства белой жести.

За последние пять лет (2002 – 2007 гг.) производство металлопродукции высокой степени переработки, например, на ОАО «ММК» увеличилось в 1,8 раза: с 875 тыс. до 1542 тыс. т при общем росте производства товарной металлопродукции на 17,6 %: с 8,7 млн. до 10,3 млн. т. В 2008 г. прибыль комбината от производства 1,5 млн. т металлопродукции высокой степени готовности (холоднокатаного листа, белой жести и оцинкованного листа), составляла более 18 млрд. руб., тогда как от производства 8 млн. т рядового листового и сортового проката – 25 млрд. руб. Таким образом, соотношение по объемам производства металлопродукции высокой степени готовности и листового и сортового проката массового назначения – 1 : 5,3, а соотношение получаемой прибыли от их производства – 1 : 1,4 [2 – 4]. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций на строительство объектов по производству металлопродукции высокой степени готовности не превышал в среднем пять лет.

Важнейшим стимулом роста продаж и выхода на прибыльные рынки является повышение технико-экономического уровня производства на основе технического перевооружения. Именно по такому пути идет развитие ОАО «ММК». В результате систематически реализуемой программы технического перевооружения и развития ОАО «ММК» стало одной из самых современных компаний не только в России, но и мировой черной металлургии. Износ основных фондов, составлявший вначале 1990-х гг. более 80 %, сей-



час находится на уровне 33÷35 %. Это означает, что работает оборудование со средним сроком службы 5÷6 лет. Всего в техническое перевооружение и модернизацию основных фондов комбината за 1996 – 2007 гг. вложено около 2,9 млрд. долл., благодаря самому высокому показателю амортизации оборудования в затратах (3 %) среди металлургических компаний России. Среднегодовой объем инвестиций на 1 т стали соответствовал, а в отдельные годы и превышал аналогичный показатель промышленно развитых стран – в 2004 – 2007 гг. около 42 долл./т. ОАО «ММК», используя в основном собственные средства на осуществление инвестиционных программ, активно привлекает на экономически выгодных условиях и заемные средства. Благодаря этому ОАО «ММК» в 2009 г. первыми в России освоили выпуск новейшей стали с уникальными свойствами, столь необходимой для оборонной промышленности и судостроения.

По мнению авторов работ [1 – 5, 9 – 11], одной из стратегических задач крупных металлургических компаний в области инновационной деятельности является создание центра трансфера технологий (ЦТТ) и установление эффективного взаимодействия между всеми участниками инновационного процесса для продвижения новых технологий. Важнейшей задачей ЦТТ является организация эффективного управления интеллектуальными активами металлургической компании с целью получения прибыли. Для достижения этой цели необходимо:

- формирование портфеля интеллектуальной собственности (инвентаризация и технологический аудит действующих и потенциальных объектов интеллектуальной собственности, используя пример ОАО «ММК»);
- тиражирование инновационного опыта передовых компаний в регионе и на межрегиональном уровне;
- установление партнерских связей между российскими и зарубежными компаниями в сфере трансфера технологий.

На основе анализа существующего положения ЧМ и стратегии выхода из кризиса на перспективу объем видимого потребления готового проката к 2015 г. прогнозируется на уровне около 41,5 млн т, при этом производство проката составит порядка 66 млн т. В докризисный период в России были приняты ряд программ по развитию автомобилестроения, сельскохозяйственного машиностроения, станкостроения, судостроения, авиакосмической техники, реконструкции железных дорог. Выполнение этих программ в посткризисный период остаются приоритетными, следовательно, загрузка металлургии на этот период будет обеспечена. Остается надеяться, что благодаря возросшим инвестиционным возможностям, которые в 2010–2015 гг. ожидаются на среднегодовом уровне 121 млрд. руб., модернизация металлургических компаний заметно отразится на сортаменте и качестве продукции, что полностью удовлетворит любые требования потенциальных потребителей.

Таким образом, одним из основных стратегических направлений, позволяющим повысить уровень конкурентоспособности металлургической компании и её товарной продукции, является инновационное технологическое

развитие. Под инновационным технологическим развитием металлургической компании понимается повышение уровня эффективности производства посредством непрерывного усовершенствования технических устройств металлургических агрегатов и технологических процессов по всем металлургическим переделам на базе новых знаний, и соответствующих организационных изменений, обеспечивающих коммерческую эффективность нововведений, снижение издержек производства, повышение прибыли и конкурентоспособности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дасковский В. Деградация и феномены инвестиционной деятельности в России /В. Дасковский, В. Киселёв //Инвестиции в России. –№ 6, 2009.– С. 20–32.
2. Степенцова О. Отечественная металлургия: особенности выживания / Справочник экономиста. – № 6 (72), 2009. – С. 116–124.
3. Роменец В.А. Экономические закономерности, стратегии и проблемы развития черной металлургии. /В.А. Роменец, И.П. Ильичёв.// Экономика в промышленности. – №1, 2008. – С. 2–12
4. Маланичев А. Металлургия в эпоху перемен / Национальная металлургия. – № 6, 2008. – С. 11–25.
5. Шевченко И.В. Проблемы совершенствования управления инвестиционными процессами на промышленных предприятиях в условиях глобального кризиса / И.В. Шевченко, В.В. Семин //Финансы и кредит. – № 28, 2009. – С. 24–28.
6. Инвестиционная деятельность в России: условия, факторы, тенденции / Росстат. – М., 2008.
7. Российский статистический ежегодник. 2007: Статистический сборник / Росстат. М., 2007.
8. Россия в цифрах. 2008: Краткий статистический сб./ Росстат. – М., 2008
9. Быстров В.А. Инновации, качество и конкурентность упрочнения металлургического оборудования / В.А. Быстров, Н.Ю. Грекова, О.Г. Трегубова // Экономические исследования: анализ состояния и перспективы развития: монография / Н.Б. Андреев, В.А. Быстров, Н.И. Голик Под общ. ред. О.И. Кирикова. Книга 12. – Воронеж: ВГПУ. – 2007. – 653 с. (С. 502-531).
10. Новиков Н.И. Прогнозирование инновационно-инвестиционной деятельности металлургического предприятия / Н.И. Новиков, В.А. Быстров, В.И. Верёвкин // Научные труды РАН: Институт народнохозяйственного прогнозирования / Гл. ред. А.Г. Коровкин. – М.: МАКС Пресс. – 2006. – 672 с. (С. 602-616).
11. Новиков Н.И. Стратегическое управление развитием предприятий черной металлургии Западно-Сибирского региона./ Н.И. Новиков, В.А. Быстров, Д.А. Лубяной./ Отв. ред.: В.В. Титов, Н.И. Новиков. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2006. – 288 с.

УДК 669.1:658

В.А. Быстров, Р.С. Ермолаев, А.В. Стак

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМБИНАТОВ ЮГА КУЗБАССА И ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ИЗДЕРЖЕК ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

В статье рассмотрены проблемы развития металлургических комбинатов и возможности снижения издержек производства металлопродукции.

In the article problems of development of metallurgical combines and possibility of decrease in production costs of metal products are considered.

Проблемы, сдерживающие успешное развитие отрасли в регионе, возникли не сегодня и являются следствием прошлых упущений во внутрифирменной политике, а также результатом неэффективных решений на государственном уровне. Основными проблемами управления развитием отрасли в регионе являются:

- отставание от зарубежных конкурентов в использовании прогрессивных технологий. Так в развитых странах разработаны и успешно внедряются ресурсосберегающие технологии: технология совмещенного литейно-прокатного процесса, технология вдувания в доменные печи пыле-угольного топлива и т. д.

- техническая отсталость металлургических предприятий региона. Возрастная структура основных производственных фондов сибирских металлопроизводителей характеризуется преобладанием машин и агрегатов со сроком службы более 25 лет. При этом лишь пятая часть оборудования соответствует современным мировым стандартам, а более трети устарело и не подлежит модернизации.

- высокая степень монополизации российской экономики. Монополистами являются газовая, энергетическая отрасли, ОАО «Российские железные дороги». Данные монополисты диктуют свои правила поведения на рынке, оказывая непосредственное влияние на цены, качество, объемы производства и направления поставок в черной металлургии Кузбасса.

- слабый региональный спрос. Непосредственно в Западно-Сибирском регионе реализуется лишь порядка 25 % производимого металла.

- уязвимые сортамент и система распределения продукции. Успешно действующая сейчас система распределения продукции не ставит каких-либо

значительных барьеров перед конкурентами на внутреннем рынке в случае ужесточения конкуренции.

- слабая региональная железорудная база. В настоящее время НКМК полностью обеспечен железорудным сырьем (ЖРС) с Кузнецкого ГОКа. ЗСМК же после потери рыночного контроля над Коршуновским ГОКом потребляет более бедные кузнецкие, красноярские и хакасские руды и завозит ЖРС из центральной и северо-западной части России. При этом Западно-Сибирский металлургический комбинат находится под влиянием рыночной власти основного поставщика ЖРС – Михайловского ГОКа, цены на продукцию которого напрямую зависят от конъюнктуры не только российского, но и европейского рынков.

- нерационально высокая централизация принятия управленческих решений и высокая иерархическая лестница.

- низкая предсказуемость развития конъюнктуры мирового рынка в среднесрочной перспективе, что является следствием олигополистической структуры рынка с активным государственным вмешательством на наиболее металлоемких рынках (Китай, США, страны ЕС).

Успешное развитие металлопроизводителей Западной Сибири, по мнению авторов, связано с решением следующих вопросов:

- оптимизация сортамента выпускаемой продукции;
- рационализация системы управления предприятиями;
- развитие системы распределения металлопродукции (в том числе через создание сети базовых металлосервисных компаний);
- обеспечение ресурсной безопасности (за счет расширения интеграции сфер добычи и обогащения железных и марганцевых руд, коксующегося угля);

- модернизация производства, направленная на внедрение ресурсосберегающих технологий, повышение качества продукции и создание возможностей для производства новых видов продукции (высококачественная катанка, тонкий горячекатаный лист и др.);

- развитие кооперации между региональными металлопроизводителями.

Однако даже общий анализ факторов, сдерживающих решение проблем управления развитием отрасли в регионе и различных вариантов их преодоления, показывает, что далеко не все проблемы могут быть решены непосредственно руководством предприятий или даже на уровне руководства холдингов. Корни многих проблем управления развитием лежат за рамками возможностей предприятия. К таким проблемам, по нашему мнению, следует отнести:

- недостаток инвестиций;
- технико-технологическую отсталость;
- отставание в использовании инноваций;
- отставание в подготовке менеджеров современного уровня;
- излишняя монополизация отдельных отраслей в экономике РФ.

Недостаток инвестиций и нехватка резервных мощностей способство-

вали быстрому старению основных производственных фондов металлургических предприятий, что породило проблему их технического уровня и физического состояния оборудования.

Продолжение ориентации на строительный металл оправдано в ожидании повышения инвестиционной активности, которое упало в связи с кризисом. Но современная строительная индустрия требует металл повышенной прочности, высокой устойчивости к атмосферной коррозии и к низким температурам, лист для сварных конструкций, разнообразные гнутые профили, трубы различных диаметров для газо- и нефтепроводов (интенсивно продвигающиеся на Восток к потребителям).

Значительна роль в формировании издержек железнодорожных тарифов определяется собственной рудной базой (Кемеровская, Иркутская области, Красноярский край), которая обеспечивает только 45 – 50 % потребности в руде и концентрате и имеет проблемы с запасами. Транспортные затраты на дальнепривозные железорудные материалы постоянно растут (с 15 – 20 % в 1990 г. до 45 – 65 % в 2008 г. от стоимости перевозимого), что ослабляет конкурентные позиции металлопроката производимого в Западной Сибири. Имеющиеся разведанные месторождения в Западной и Восточной Сибири, которые могли бы снять эту проблему, требует значительных капитальных вложений. Сложившаяся в настоящее время география поставок товарной руды и концентрата на металлургические предприятия Западно-Сибирского региона приведена авторами в работе [1].

Таким образом, исходя из проведенного анализа существующих проблем следующим этапом решения проблем управления развитием предприятий черной металлургии Западно-Сибирского региона должен стать поиск механизмов эффективного взаимодействия всех уровней принятия решений. Данный механизм может быть вполне реализован через создание специального совета по развитию отрасли на уровне Сибирского Федерального округа с привлечением представителей металлургических предприятий, представителей субъектов Федерации и федеральных министерств и ведомств. При этом стоит иметь в виду, что результаты предлагаемых действий положительно скажутся не только на развитии отрасли, но и на всех других отраслях и сферах жизни Сибири.

Определяющей целью развития металлургического комплекса РФ до 2015 г. и на дальнейшую перспективу считается создание условий для подъема экономики России на основе инноваций, обеспечивающих развитие, базирующееся на таких положениях, как экономическая эффективность, экологическая безопасность, ресурсосбережение, конкурентоспособность конечной продукции. Изменения этих параметров отражают позитивные процессы в способах производства металла: последовательное улучшение соотношения выплавки стали и производства проката в результате внедрения непрерывной разливки стали, что привело к сокращению оборотных отходов в металлургии; увеличение глубины переработки металла; ускоренное развитие вторичной металлургии в России, что отразилось на изменении соотношения

выплавки чугуна и стали. Производственно-структурные факторы и совершенствование технологических процессов пока оказывали относительно небольшое позитивное влияние на изменение себестоимости продукции. Производство чугуна, стали, проката в докризисный период изменилось незначительно (рост на 5÷6 %), технологические нормы расходов имели тенденцию к снижению (в пределах 1,5÷3 %), в структуре затрат на сырье увеличивается доля металлолома, что снижает стоимость материальных затрат на 1т продукции примерно на 30 % [3]. В посткризисный период идет неуклонное, хотя и незначительное снижение удельных затрат по всему металлургическому переделу. Показатели изменения удельного расхода ЖРЧ, содержания кокса в шихте на передельный чугун, удельного расхода стали на готовый прокат на отдельных металлургических предприятиях РФ за 2007 г. и 2008 г. приведены в работах [2-4].

Об определенном улучшении ситуации в отрасли в 2003–2007 гг. свидетельствует и значительное улучшение соотношения между объемами вовлекаемого в металлургическое производство первичного сырья и конечной продукции. Сопоставление структуры и динамики затрат российских и западных компаний позволяет выделить как наличие совпадений, так и существенных отличий в формировании издержек производства (таблица 1).

О привлекательности инвестиционных вложений в российскую экономику за последнее время свидетельствует факт вложения иностранных инвестиций в развитие промышленности РФ, которые в 2007 г. составили абсолютный приток капитала в 82,3 млрд. долларов США. Начиная с 2003 г. черная металлургия становится одним из лидеров по вкладу в экономический рост, доля ее в финансовом результате промышленности увеличилась более чем в 2 раза – с 9,5 % в 2000 г. – до 25,36 % в 2006 г.

Для мировой металлургии характерен опережающий рост затрат, связанных с ресурсным обеспечением производства. Анализ изменения структуры себестоимости зарубежных металлургических компаний выявил рост доли затрат на сырье и материалы в 2004 – 2007 гг. по причине резкого повышения цен на основное металлургическое сырье (руда, уголь, лом). Для западных компаний характерна меньшая доля материальных затрат на производство (48÷61 %) по сравнению с российскими компаниями (75÷83 %). Это снижает зависимость общих затрат компаний от конъюнктуры рынков сырья и материалов. В структуре материальных затрат западных компаний топливно-энергетические ресурсы определяют около 16 % издержек. Основные различия связаны с ценами на указанные ресурсы, так как нормы расхода у отечественных предприятий на 15÷20 % выше, чем у зарубежных производителей. На 2004 г. пришелся пик роста затрат на сырье и материалы: по Corns Group – с 3,3 до 4,6 млрд. евро (доля в себестоимости увеличилась с 43,08 % до 48,19 %), Arcelor – с 12 до 16 млрд. евро (52,91 % против 46,93 % в 2003 г.), Thyssen Krupp – с 20 до 26 млрд. евро (с 56,5 до 59,43 %). Причиной роста затрат в металлургии ЕС стал примерно равный уровень повышения цен в 2004–2006 гг. на используемые компаниями ресурсы: на

руды – 19÷20 %, на уголь – около 25 %, на лом – 44÷48 % [3, 4]. Динамика изменения цен на продукцию черной металлургии приведена в таблице 2.

**Таблица 1 – Структура себестоимости российских и западных металлургических компаний за 2003 – 2007 гг.**

Компания	Год	Себестоимость, млн. евро	Виды затрат, % себестоимости				
			Сырье, материалы	Топливо, энергия, транспортные расходы	Оплата труда и социальные налоги	Амортизация и износ оборудования	Прочие расходы
Corus Group	2003	9211	37,76	14,08	20,90	11,11	16,15
	2007	9460	48,46	16,15	19,49	3,70	12,20
Arcelor	2003	24365	49,14	14,34	19,29	5,06	12,17
	2007	29323	54,53	15,56	16,71	4,41	8,79
Thyssen Krupp	2003	36064	59,89	9,89	20,05	5,20	9,86
	2007	42578	60,30	7,02	21,02	5,14	6,52
ММК	2002	47513	62,0	5,0	10,0	3,0	20,0
	2007	105186	73,0	5,0	6,0	3,0	13,0
Северсталь	2003	54200	63,2	9,9	11,2	2,9	12,8
	2007	89700	67,8	7,2	9,5	2,6	12,9
НЛМК	2002	34094	74,8	5,1	10,2	2,1	7,8
	2007	65563	79,5	3,9	8,8	2,0	5,8
ЗСМК	2003	37232	68,4	5,3	11,7	2,9	11,7
	2007	57534	70,5	6,6	9,5	2,8	10,6

Особенности стоимостных пропорций в экономике России определяют основные отличия в структуре затрат металлургического производства и эффективности его функционирования от металлургии других стран мира. В течение 2004 – 2006 гг. на сырьевом рынке России произошли следующие изменения: цены на железорудное сырье увеличились на 158 %, кокс – на 150%, угли – на 50 %, ферросплавы – на 65 %. Однако следует подчеркнуть, что в 2003 – 2007 гг. затраты на производство металла в России на крупнейших комбинатах примерно в 1,5 раза ниже, чем у аналогичных западных заводов. Анализ показал, что производительность труда на трех крупнейших отечественных предприятиях в 1,3 раза ниже, чем на предприятиях ЕС, в 2 раза ниже, чем на интегрированных заводах США и в 5 раз ниже, чем на мини-заводах США и предприятиях Японии. На шести крупных отечественных предприятиях производительность труда ниже, чем за рубежом, в 2,1÷8,3 раза. Эти различия обусловлены как объективными (различия собственно производительности труда), так и субъективными (различия в производственной структуре предприятий) факторами. Наиболее заметно повысились цены на железную руду, передельный чугун, листовой и сортовой прокат. Динамика экономических показателей металлургических предприятий РФ приведена в таблице 3.

**Таблица 2 – Динамика изменения цен на продукцию черной металлургии за период 2007 – 2008 гг. руб./т**

Продукция	2007 г.	2008 г.	Отклонения	
			абсолют	относит, %
Железная руда – товарная	675	973	298	44,15
Передельный чугун	8849	17875	9026	102,0
Прокат: сортовой толстолистовой (от 4 мм)	15917	23783	7866	49,42
	16234	24099	7865	48,45
Профильный прокат – балки, швеллеры	20420	24886	4466	21,87
Доля железорудной части шихты в чугуне: – по цене, %	67,63	68,94	1,31	1,94
	– по массе, %	78,3	77,98	-0,32
Доля чугуна в прокате по цене, %: в сортовом в толстолистовом в профильном	55,6	75,16	19,56	35,18
	54,5	74,17	19,67	36,09
	43,3	71,83	28,53	65,89

**Таблица 3 – Динамика экономических показателей российских металлургических предприятий**

Предприятие	Затраты на 1 руб. товарной продукции, коп./руб. (%)				Рентабельность продаж (отношение прибыли к выручке от продаж)			
	2007г.	2008 г.	абсолют	относит	2007 г.	2008 г.	абсолют	относит
ЗСМК	71,2	69,5	- 1,7	- 2,39	27,2	28,8	1,6	5,88
ММК	71,8	73,2	1,4	1,95	28,06	25,2	- 2,86	- 10,19
НТМК	67,2	68,3	1,1	1,64	32,57	30,12	- 2,45	- 7,52
НКМК	79,3	78,2	-1,1	-1,34	16,04	18,36	2,32	14,46
НЛМК	67,8	68,5	0,7	1,03	31,28	30,55	- 0,73	- 2,33
ЧелМК	82,3	81,2	-1,1	-1,34	16,04	18,36	2,32	14,46
“Север-сталь”	67,8	71,8	4,0	5,9	30,6	26,3	- 4,3	- 16,35

За рубежом большинство вспомогательных и подсобных цехов (аглофабрики, копровые, ремонтные, транспортные, энергетические и т. д.) не входит, в отличие от России, в состав металлургических предприятий. Поэтому в сопоставимых условиях численность работающих на отечественных металлургических предприятиях была бы примерно в 1,5÷2 раза ниже фактической. С учетом этого можно считать, что производительность труда (в сопоставимых условиях) на указанных отечественных металлургических предприятиях примерно в 1,3÷2 раза ниже, чем на интегрированных предприятиях США, и в 3÷4 раза ниже, чем на мини-заводах США и предприятиях Японии. Цена рабочей силы на крупнейших предприятиях России примерно в 6÷8 раз ниже, чем на предприятиях Западной Европы, и 9÷14 раз ниже, чем в США и Японии. По фактическим данным затраты на рабочую силу на отечественных



предприятиях в 1,5÷2 раза ниже, чем в Японии и на мини-заводах США, и в 4÷5 раз ниже, чем на интегрированных заводах США и в Западной Европе [3, 4], но это «конкурентное преимущество» временное.

На металлургических комбинатах ЗСМК, НКМК и ЧелМК снизились затраты на 1 руб. выручки от реализации и несколько увеличилась рентабельность продаж. Для дальнейшего снижения издержек производства металлопродукции необходимо проводить дополнительные исследования по использованию резервов снижения показателей удельного расхода ЖРЧ, содержания кокса в шихте на передельный чугун, удельного расхода стали на готовый прокат и совершенствованию технологических процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров В.А. Возможности обеспечения металлургических предприятий Кузбасса железорудным сырьем в условиях экономического кризиса / В.А. Быстров, Р.С. Ермолаев //Сб. статей «Антикризисное управление: производственные и территориальные аспекты». VI Всерос. НПК. – Новокузнецк, 2009. – 425 с. (С. 116 – 121).

2. Быстров В.А. Проблемы обеспечения металлургических предприятий Юга Кузбасса железорудным сырьем / В.А. Быстров, Р.С. Ермолаев, А.В. Стак //Сб. научн. трудов. Вып 23 Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии / главн. ред. Л.П. Мышляев: СибГИУ. – Новокузнецк, 2009. – 241 с. (С. 167 – 172).

3. Маланичев А. Металлургия в эпоху перемен/А. Маланичев // Национальная металлургия. – № 6, 2008. – С. 11 – 25.

4. Роменец В.А. Экономические закономерности, стратегии и проблемы развития черной металлургии./ В.А. Роменец, И.П. Ильичёв // Экономика в промышленности. – № 1, 2008 – С. 2 – 12.

5. Степенцева О. Отечественная металлургия: особенности выживания/ О. Степенцева // Справочник экономиста. – № 6, 2009. – С. 116 – 124.

УДК 681.3

Л.Е. Сидорова, С.В. Сидоров, Р.Я. Шарафутдинов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ

В статье предложен подход к формализации сложной задачи управления процессом инновационного развития трудового коллектива организации путем построения множества нечетких моделей «состояния человеческой среды» и «уровня зрелости творческих возможностей» для подразделений организации

In this article there is offered the approach to formalizations of the difficult problem of innovation development management process of organization the labor group by building of large number indistinct models “conditions of the human environment” and “maturity level of the creative possibilities” for the organization subdivisions.

В условиях ускоряющихся экономических изменений существующие социально - технические системы (организации), ориентированные на активную стратегию, находятся в процессе непрерывного инновационного развития. Целью инновационного развития является получение конкурентного преимущества, своевременное освоение технологии управления, обеспечивающей конкурентное преимущество. В инновационно развивающейся организации существует непрерывно изменяющийся, усложняющийся, растущий объект управления, есть увеличивающееся нечёткое множество неотложных работ. Для выполнения новых работ необходимы новые знания. В период инновационного развития объект управления, система управления и собственник нечёткие. В условиях непрерывных изменений, реорганизации, неопределённости конечного результата развития в человеческих коллективах существуют процессы самоорганизации. Кроме формальной системы управления в организации существуют неформальные, неявные, виртуальные, темпоральные структуры управления. Во время реорганизации виртуальные структуры управления должны быть способны эффективно контролировать её собственность и деятельность. Для формирования адекватного интеллектуального потенциала важно понимать, контролировать реальные механизмы профессионального роста работников организации. Эмоциональные, нравственные императивы, определяемые, формируемые существующими в социально - технических системах виртуальными структурами управления, во многом определяют поведение работников официальных, формальных подразделений организации. Существующие в коллективах процессы

самоорганизации, необходимо видеть, понимать, контролировать и уметь ими управлять. В условиях инновационного развития актуальна задача непрерывного совершенствования коллективной творческой деятельности организации. Оптимизация коллективной творческой деятельности предполагает решение множества плохо формализованных задач управления, в том числе формирование благоприятной человеческой среды, создание условий для эффективной коллективной работы с интуитивно - практическими знаниями предметной области, управление знаниями.

Для устойчивого инновационного развития в организации необходимы: стратегическое управление, обеспечивающее поиск и выявление перспективных направлений для инвестиций, оперативное управление инновационным процессом, управление знаниями, управление человеческими ресурсами организации, и др. В условиях неопределённости, для успеха инновационного проекта, решающее значение имеет стратегический потенциал организации. В условиях быстрых изменений целесообразна стратегия непрерывного роста стратегического потенциала организации. Стратегический потенциал включает следующие нематериальные ценности: знания, опыт, уверенность, положительный настрой, энтузиазм персонала, «добрую волю» людей - «гудвилл», поддержку партнёров. Наиболее эффективны эмоционально окрашенные процессы. Рост стратегического потенциала возможен за счёт создания условий для формирования и роста нематериального богатства организации - «гудвилл», творческого потенциала сотрудников, повышающих реальную эффективность и, как следствие этого, стоимость бизнеса.

Реальную способность коллектива к инновационному развитию важно контролировать, уметь её оценить. Для решения этой задачи необходимы знания возможных состояний человеческой среды коллектива и его реального состояния. Текущее состояние стратегического потенциала организации характеризует значения лингвистических переменных: «состояние человеческой среды» и «уровень зрелости творческих возможностей». Возможное состояние человеческой среды множества коллективов, образующих организацию, определяет лингвистическая переменная «состояние человеческой среды», с терминами: «семья», «братство», «команда профессионалов», «автобус», «волчья стая», «банда», «шайка мародёров». Лингвистическая переменная «состояние человеческой среды» определяет величину «гудвилл» организации. Разным состояниям человеческой среды соответствуют разные значения «гудвилл», разные способности к инновационному развитию, разная эффективность инновационного проекта, разные накладные расходы инновационного развития. Лингвистическая переменная «уровень зрелости творческих возможностей» определяет текущее состояние творческого потенциала организации, качество работы коллектива людей, определяет качество процесса накопления и совершенствования знаний в организации. Существующий в организации «гудвилл» проявляет себя в сокращении текучести рабочей силы, сокращении сроков решения задач, сокращении накладных расходов. «Гудвилл» чиновника - это добровольное взятие обязательств, обещания

поддержки, внимание. Коллектив организации в состояниях «банда» и «шайка мародеров», кроме официальных целей развития, имеют собственные, более приоритетные цели. Такие коллективы не способны к эффективному развитию. В коллективах «банде», «автобусе», «шайке мародёров» «гудвилл» минимален. Текучесть рабочей силы высокая. В «банде» свой «гудвилл» оценивает субъективно сам чиновник. Его стоимость, равна величине взятки.

Постановка задачи инновационного развития, её решение и познание выполняются одновременно. Для формулировки задачи используются интуитивно - практические знания и опыт на уровне подсознания. При решении задачи приходится опираться на неточные, неполные знания, правдоподобную информацию. На начальном уровне познания, этапе осознания, постановки задачи, уточнения её описания, практическая задача управления инновационным процессом, это множество задач, это противоречивая, плохо формализованная система задач. Некоторое время лицу, принимающему решение (ЛПР), приходится иметь дело одновременно с множеством неполных, некорректно поставленных, противоречивых, неотложных задач. В процессе решения плохо формализованной задачи остаётся неясно, что точно придётся делать, объёмы предстоящих работ неточны, процессы, существующие в развивающейся организации скоротечны, творческие коллективы непостоянны. Практические знания быстро устаревают, имеют короткий жизненный цикл. Для выполнения творческой работы управления инновационным процессом в социально - технической системе, для облегчения решения множества плохо - формализованных задач, необходимо множество видов знаний и множество инструментов для работы со знаниями. Экономика знаний предполагает формализацию, накопление и использование ранее полученных знаний для совершенствования производства, инновационного развития производства и бизнеса. В «умной» организации процесс накопления знаний, обобщения опыта, решения и совершенствования работы должен быть непрерывным, эффективным и устойчивым. Для облегчения множества работ с интуитивно - практическими знаниями предметной области в организации, на базе WEB - сайта, создаётся долгоживущий виртуальный творческий коллектив. В виртуальном пространстве, в формальной системе создаётся и запускается непрерывный процесс накопления актуальных знаний и обобщения опыта. Формализация интуитивно - практических знаний понимается, как инструмент фиксации и уточнения смысла выполняемой работы, обобщения опыта. При каждом последующем решении задачи происходит пополнение знаний и обобщение опыта. Вновь полученные знания, усовершенствованные гибкие инструменты используются для непрерывного совершенствования действий, увеличения точности действий, оптимизации выполняемых действий. По мере приобретения знаний и опыта первоначальная постановка задач уточняется, совершенствуются методы работы и помогающие при выполнении работы гибкие инструменты. Накопление знаний, обобщение опыта позволяют от решения к решению улучшать резуль-

таты работы. Опыт позволяет правильно учитывать все факторы, влияющие на ход процесса поиска решения, помогает учесть неочевидное, правильно планировать работу, создавать исполнимые планы. Появляется умение совершать невероятное, почти невозможное, постоянно получать результаты выше средних, возникает умение решать задачу.

Интуитивно - практические знания существуют на уровне подсознания и плохо отторгаемы от их носителя. Сделать эти знания доступными для тиражирования, анализа, восприятия, передачи и использования - сложная плохо формализованная задача. Для практической реализации методов экономики знаний необходимы инструменты и методы извлечения интуитивно практических знаний той или иной предметной области. Для работы с интуитивно - практическими знаниями необходимы инструменты наглядного представления знаний, инструменты для анализа процессов самоорганизации человеческих коллективов. Сайт создаёт предпосылки для производства в организации актуальных знаний, необходимых для выполнения работы виртуальных инструментов. Для облегчения работы с интуитивно - практическими знаниями предметной области создается множество виртуальных инструментов обобщения информации, осмысления происходящего, управления знаниями. Для выполнения каждой работы создаётся свой инструмент. Есть инструменты совершенствования творческих возможностей, инструменты управления инновационным процессом.

Гибкое моделирование - эффективный инструмент оптимизации деятельности организации в период ее инновационного развития. Формализация задачи управления инновационным процессом, управления инновациями производится с помощью инструментов гибкого моделирования - бенчмарков, шаблонов, прототипов. Гибкое моделирование позволяет обобщить и представить все знания и влияющие факторы в виде наглядной интеллектуальной карты, навигатора. Создание наглядной схемы облегчает восприятие информации, понимание проблемы и использование знаний. Наглядное представление, отображение в формальной системе структуры интуитивно - практических знаний предметной области, формализованные интуитивно - практические знания предметной области создают базу для рефлексии, накопления знаний и обобщения опыта. Решение задачи с помощью формализованных знаний предполагает обобщение опыта, создание логического портрета плохо формализованной задачи (ЛППФЗ), интеллектуальной карты процесса, бенчмарков, прототипов, шаблонов и далее на их основе выполнять ассоциативную обработку информации и принятие управленческих решений. На базе существующих знаний, интеллектуальной карты процесса, инструментов гибкого моделирования, возможен мониторинг, диагностика и коррекция поведения. Наглядная схема позволяет взаимоувязывать и координировать работу членов команды на всех уровнях осмысления задачи.

Математика XX века столкнулась с проблемой «утраты определённости», творческие силы были брошены на «поиск истины». Возможно, ключ к решению этой проблемы лежит в виртуальном пространстве. Современная

математика и информатика направлены на решение задач осознания и формализации интуитивно - практических знаний, обобщения опыта, обработку качественной, правдоподобной информации, создание алгоритмов приемлемых по точности, сложности и эффективности, методов целенаправленной продуктивной работы в условиях неопределённости. Обобщение опыта предполагает формализацию и анализ процесса решения плохо формализованной задачи, рефлексию, непрерывное совершенствование деятельности, путём выявления одинакового и различного, похожего и непохожего, единичного и типичного, целого и части, абсолютного и относительного, возможного и невозможного.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидорова Л.Е. Инструменты инновационного развития трудового коллектива / Л.Е. Сидорова, Р. Я Шарафутдинов, С.В. Сидоров // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды XIII Международной научно-практической конференции. Ч 2. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2009 – С. 29 – 33.
2. Сидоров С.В. Использование виртуальных возможностей компьютерных сетей для формирования предпринимательского потенциала. / С.В. Сидоров, Л.Е., Сидорова, В.А. Быстров, Г. Ф. Зайнутдинов Под общ. ред. И.Г. Степанова: НФИ КемГУ. – Новокузнецк, 1999.
3. Мусатов Ю. Инструменты системного проектирования нечеткого регулятора / Ю. Н Мусатов, С.В. Сидоров, Л.Е. Сидорова. // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды IX Международной научно-практической конференции.– СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2005. – С. 437 – 441.
4. Е.П. Юдина. Жизненный цикл управленческой команды в современных условиях / Е. П. Юдина, Л. Е. Сидорова, С. В. Сидоров // Управление организацией: диагностика, стратегия, эффективность: Труды XIII Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2005. – С. 739 – 742.

УДК 656.13

Т.П. Воскресенская, О.Д. Покровская

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ В РЕГИОНЕ ЕДИНОГО ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПРИМЕРЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ КУЗБАССА

В статье сформулирована концепция создания товародвиженческой системы региона на основе единого транспортно-экспедиционного пространства. Предлагается передать функции логистического сопровождения процесса товародвижения региональным накопительно-распределительным центрам. Работа таких центров освободит металлургические компании от содержания складской инфраструктуры, дистрибуции продукции, мониторинга рынков услуг и сбыта.

The creation concept of the cargo movement regional system on the basis of uniform forwarding space is formulated in article. It is offered to transfer functions of logistical support of the cargo movement process to regional accumulate-distribution centers. Work of such centers will release the metallurgical companies from the maintenance of a warehouse infrastructure, distribution of production, monitoring of the markets of services and sale.

Современная экономическая ситуация в части развития новых рынков, безусловно, повлияла на интенсивность товародвижения, но тем самым и обострила проблемы эффективного распределения произведённой в регионе металлопродукции. Пропуск товаропотоков, образуемых и поглощаемых в регионе, через сеть грузоперерабатывающих терминалов обеспечит конкурентную среду на транспортно-логистическом рынке области, высвобождение складских площадей промпредприятий, передачу распределительных, логистических и маркетинговых функций грузоперерабатывающим терминалам – *логистическим накопительно-распределительным центрам (ЛНРЦ, далее – терминалам)*. Для Кемеровской области как для крупного промышленного, ориентированного на вывоз региона вопросы повышения эффективности транспортно-распределительных процессов и снижения величины транспортно-складских составляющих в цене продукции для конечного потребителя сегодня приобретает большую актуальность. Но эффективной системы дистрибуции товаропотоков, как в западных странах, в Рос-

сии сегодня нет. Как следствие – высокая доля издержек на распределение в себестоимости металлопродукции. В условиях значительных объемов промышленных перевозок остро стоит вопрос слабого развития логистических и терминальных систем. При развитии системы дистрибуции вывозного региона следует обратить внимание не только на оптимизацию межрегиональных, но, в первую очередь, внутрирегиональных связей. Формирование в этой связи *единого транспортно-экспедиционного пространства (далее – ЕТЭП)* позволит управлять товародвижением с наименьшими затратами для всех участников логистической цепи: поставщиков, перевозчиков, конечных потребителей продукции. В условиях ЕТЭП будет обеспечено продвижение металлопродукции потребителям по эффективной товаропроводящей сети – *терминальной сети*, в связи с чем представляется необходимой концептуальная проработка данного вопроса.

*Цель исследования* – разработка основ создания в регионе единого транспортно-экспедиционного пространства, сетевой и системообразующей основой которого станет терминальная сеть. *Задачи исследования*: 1) охарактеризовать регион в аспекте транспортно-распределительной проблематики; 2) дать понятие логистического накопительно-распределительного центра и его функций; 3) сформулировать транспортно-логистическую концепцию обслуживания металлургической промышленности на основе создания единого транспортно-экспедиционного пространства на примере Кузбасса.

Размещение терминалов в регионе, вблизи грузообразующего производства, обеспечит высокую эффективность терминально-распределительной сети (налоговое пополнение бюджета, создание новых рабочих мест..) несмотря на то, что основные рынки сбыта металлургической продукции находятся в др. регионах и странах. Такое распределение товаров по направлениям потребления и формирование грузовых партий сократит транспортные и складские затраты, количество посредников и длительность обработки заказов потребителей.

*Основные задачи создания региональных логистических центров*: 1) повышение согласованности работы различных видов транспорта при смешанных и мультимодальных перевозках, формирование политранспортных систем в регионе; 2) организация качественного комплексного транспортно-обслуживания потребителей; 3) сокращение длительности и стоимости перевозки грузов; 4) рационализация транспортно-хозяйственных связей; 5) квалифицированная подготовка грузовых партий, мониторинг потребностей в металлопродукции, анализ рынков производства и сбыта, эффективное распыление товаропотоков по внешним и внутренним направлениям; 6) сокращение суммарной вместимости складов и время хранения груза; 7) ритмичность доставки, непрерывность транспортно-грузовых процессов, взаимодействие магистрального транспорта с промышленным, смешанное сообщение. Повышение конкурентоспособности промпредприятий возможно за счёт быстрой реакции на рыночную конъюнктуру, эффективного мониторинга внешней среды и формирования каналов товародвижения с использо-



ванием логистических принципов, что достигается только на грамотно организованном пространстве.

**Единое транспортно-экспедиционное пространство региона (ЕТЭП)** – комплекс, включающий совокупность грузовых терминалов (терминальную сеть) с транспортно-дорожной инфраструктурой, обеспечивающий логистическим сопровождением региональное грузодвижение на основе единого управления процессами перевозок и взаимодействия видов транспорта. ЕТЭП обеспечит централизованный сбор металлопродукции с предприятий региона грузовыми терминалами, что обеспечит доставку по терминальной, прямой и смешанной схемам. Терминальная сеть, сконцентрированная в промышленно-транспортных узлах, доходит до каждого участника товародвижения, создаст единство пространства сбора и распределения.

**Терминальная сеть региона** – логистическая система, представляющая собой совокупность взаимодействующих и централизованно управляемых терминалов (ЛНРЦ), обеспечивающая кластерную интеграцию и выходы на транспортные коридоры. Таким образом, ЛНРЦ рассматривается не изолированно, а как звено логистической цепи, элемент системы подобных комплексов – терминальной сети.

**Логистический накопительно-распределительный центр (ЛНРЦ, или грузовой терминал)** – самостоятельный транспортно-грузовой комплекс сооружений, технических и технологических устройств, организационно взаимоувязанных и предназначенных для выполнения логистических операций по приёму, погрузке-разгрузке, хранению, грузопереработке, распределению грузопотоков и транспортно-экспедиционному сопровождению процесса грузо- и товародвижения.



*Предлагается* передать функции логистического сопровождения процесса грузодвижения региональным накопительно-распределительным центрам, являющимся основой ЕТЭП региона. Гибкость предлагаемой системы товародвижения обеспечивается политранспортным обслуживанием сети логистических центров.

На рисунке 1 представлен состав ЕТЭП в иерархической (уровневой) схеме последовательного выхода на транспортные коридоры страны через региональную сеть терминалов.

Перевозчики видов транспорта являются сквозным уровнем, который проходит в качестве буфера через все уровни, связывая их. Терминальная сеть (уровень 2) в составе ЕТЭП (уровень 3) – всеобъемлюща: действует на всех уровнях, осуществляя транспортно-экспедиционную и логистическую организацию процесса товародвижения. Функции ЕТЭП осуществляются в соответствии с задачами каждого уровня.



**Рисунок 1 – Схема выхода на транспортные коридоры страны через сеть терминалов**

Условные обозначения:  - перевозчики видов транспорта  
 - номер уровня

Каждый последующий уровень содержит в себе элементы предыдущего.

*1-ый уровень – полигон обслуживания. Элементы 1-го уровня – поставщики и потребители (внешние и внутренние по отношению к региональным перевозчикам). Функции ЕТЭП на данном уровне: 1) централизованные сбор/распределение грузопотоков; 2) принятие решений по выбору вида транспорта, подвижного состава и схемы доставки по подвозу-вывозу грузов (короткие расстояния); 3) работа с клиентами 5) маркетинговые исследования, мониторинг рынков сбыта; 6) выполнение комплекса логистических услуг на условиях аутсорсинга (3PL-4 PL-провайдер).*

*2-ой уровень – терминальная сеть. Элементы 2-го уровня – региональные логистические накопительно-распределительные центры – ЛНРЦ. Функции ЕТЭП на данном уровне: 1) организация эффективного взаимодействия кли-*

ентов и транспорта, видов транспорта; 2) распыление грузопотоков по направлениям потребления в соответствии с потребностями клиентуры; 3) *принятие решений* по зонированию территории (полигона) обслуживания; выбору маршрутов движения; 5) информационно-навигационное сопровождение продвижения груза.

*3-ий уровень – единое транспортно-экспедиционное пространство региона (ЕТЭП).* Осуществляет централизованное управление элементами 1-2 уровней, обеспечивает их взаимосвязанную и скоординированную работу.

*4-ый уровень – агломерация (регион).* *Функции ЕТЭП на данном уровне:* 1) обеспечение ритмичной и взаимоувязанной организации работы транспортно-логистических компаний региона на основе централизованного управления ими; 2) создание условий для политранспортного обслуживания поставщиков и потребителей региона; 3) повышение инвестиционной привлекательности регионального производства, перевозчиков и логистических компаний за счёт снижения конечной цены промышленной продукции и транспортных затрат; 5) *принятие решений* по методологическому, технико-экономическому и проектному транспортно-логистическому обеспечению грузодвиженческих процессов региона; 6) обеспечение работы транспорта по логистическим принципам – «точно в срок» и «от двери до двери».

*5-ый уровень – транспортно-логистический кластер.* *Элементы, входящие в состав кластера,* представлены элементами уровней 1-4. *Функции ЕТЭП на данном уровне:* 1) интеграция транспортно-логистических компаний региона в агломерационное и кластерное пространство товаро- и грузодвижения; 2) сокращение сроков доставки в границах кластера; 3) *принятие решений* по целесообразности организации перевозок в смешанном сообщении по оптимальному числу и дислокации грузовых терминалов для эффективного обслуживания кластера и входящих в него элементов; 5) установление и поддержание многостороннего сотрудничества между регионами.

*6-ой уровень – единая транспортная система (ЕТС) страны.* *Элементы 6-го уровня:* в состав ЕТС входят все вышеперечисленные элементы. *Функции ЕТЭП на данном уровне:* 1) интеграция в транспортные коридоры страны, на отечественные и зарубежные транспортно-логистические и экономические рынки; 2) обеспечение эффективного взаимодействия видов транспорта; 3) *принятие решений* по выявлению областей эффективной самостоятельной и совместной работы видов транспорта; 4) формирование конкурентной среды на транспортно-логистическом рынке страны; 5) развитие терминальных и логистических технологий; 6) создание мощной базы для качественного освоения необходимых объемов перевозок страны.

Особенность транспортной системы Кузбасса в традиционном обслуживании железной дорогой, что связано с наличием стабильно мощных промышленных грузопотоков. При разукрупнении партий грузов роль автотранспорта растёт как на коротких, так и на дальних расстояниях. Как показали проведённые ранее расчёты, в условиях терминальной доставки экономически выгодно применять смешанное сообщение, т.е. использовать мощ-

ности как автомобильного, так и железнодорожного транспорта. При этом область эффективного применения автотранспорта – работа на внутренних транспортно-хозяйственных направлениях, а железнодорожного – на вывозных, внешних направлениях.

Передача распределительных функций централизованным терминалам решит все задачи дистрибуции:

1) мониторинг: потребностей в угольной продукции (как общих объемов, так и по номенклатуре); рынка транспортно-складских услуг и рынка поставщиков и потребителей;

2) сосредоточение на терминалах всей управленческой работы и логистических функций по грузонакоплению и грузораспределению угольной продукции на внешнюю сеть;

3) планирование систем доставки и выбор вида транспорта;

4) на основе анализа грузопотоков и их распределения по дорожной сети: комплектация отправок, распределение перевозок по видам транспорта и оптимизация процесса доставки металлопродукции;

5) учёт региональных потребностей в перевозках.

*В рамках концепции создания ЕТЭП региона предлагается:*

1. «Покрытие» территории региона сетью централизованно управляемых грузоперерабатывающих терминалов. Создание ЕТЭП.

2. Основная идея терминальной сети: подгруппировка и распыление грузопотоков по направлениям уже на месте производства продукции.

3. Терминалы следует организовывать в крупных промышленных и транспортных узлах, в местах стыка магистрального и промышленного транспорта. Обслуживание терминалов – политранспортное.

4. Терминалы могут использовать не только собственные складские мощности, но и привлечённые – склады посредников, склады промышленных предприятий.

5. Вынесение транспортно-складской инфраструктуры за пределы бюджетного ведомства металлургических предприятий, что обеспечит сокращение соответствующих расходных статей.

6. Передача всех логистических функций профессиональному логистическому оператору – ЛНРЦ, действующему в пределах ЕТЭП, что обеспечит высокое качество услуг и повысит конкурентоспособность как металлопроизводителей, так и перевозчиков региона (ЛНРЦ - дочерние компании головного предприятия или логистические посредники – 3PL-провайдеры на условиях аутсорсинга).

7. Зонирование территории сбора металлопродукции (назначение зон тяготения металлургических предприятий к ЛНРЦ).

8. Это обеспечит: а) комплексное транспортно-экспедиционное обслуживание предприятий; б) сокращение сроков комплектования грузовых партий; в) взаимодействие не только магистрального и промышленного транспорта, но и различных видов транспорта при обслуживании перевозок;

г) рационализацию области взаимодействия различных видов транспорта в условиях регионального ЕТЭП; д) снижение транспортных затрат на внутрирегиональных связях.

9. Выделение направлений формирования терминальной сети: а) вблизи пунктов регионального потребления; б) вблизи пунктов выхода из региона (экспорт). Назначение стратегий параметров терминальной сети по количеству и дислокации ЛНРЦ.

10. Технико-экономическое сравнения назначенных стратегий в аспектах: а) по минимуму транспортных затрат; б) по минимуму времени доставки.

11. Выбор расчётно-аналитическим путём одновременно пространственно-количественного решения (ПКР) терминальной сети и эффективного вида/сочетания видов транспорта для обслуживания внутрирегиональных и вывозных направлений перевозок.

12. Создание новых рабочих мест, привлечение внешних инвестиций, повышение рентабельности регионального металлургического производства, пополнение бюджета.

13. Мультипликативный эффект: развитие транспортно-дорожной сети, развитие малых городов, внутри- и межрегиональных транспортных и экономических связей, инфраструктурной подготовленности региона к управлению распределением и дистрибуцией промышленных грузопотоков, развитие имеющихся внутренних производственных и транспортно-складских мощностей.

УДК 656.13

Т.П. Воскресенская, О.Д. Покровская

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## О МЕТОДИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В РЕГИОНЕ

В статье предложена методика проектирования терминальной сети промышленного региона. Сформулирована целевая функция создания сети логистических центров в регионе. Разработан алгоритм принятия пространственно-количественного решения (ПКР) терминальной сети.

The designing technique of a terminal network in industrial region is offered in article. An objective function of creation of the logistical centers network in region is formulated. The algorithm of acceptance of the spatially-quantitative decision (SQD) of a terminal network is developed.

Проблема формирования эффективной региональной системы управления грузодвижением на основе терминальных технологий транспортного обслуживания была поставлена в качестве значимой научно-практической задачи сравнительно недавно. До настоящего времени вопросам обоснования необходимости создания в регионах сети грузоперерабатывающих терминалов и проектированию основных параметров сети (числа и дислокации терминалов, вид транспорта...) не уделялось должного внимания.

Следствие этого – недостатки в товарораспределении, дистрибуции и управлении цепочками поставок и низкая конкурентоспособность отечественных перевозчиков, поскольку затраты на транспортно-экспедиционное обслуживание перевозок в России выше уровня западных стран в 2-3 раза.

Промышленные предприятия стремятся снизить себестоимость готовой продукции, исключая затраты, например, на содержание собственных складов и хранение продукции на складе. Сокращение собственных складов и вывод складской инфраструктуры из экономического ведения предприятий вызывает, в свою очередь, рост потребности в грузоперерабатывающих терминалах, но база для перевозок промышленных грузов удовлетворяет не более 30 % этой потребности.

Проблеме создания терминальной сети как основы пространственной модели развития транспортной инфраструктуры посвящены работы Л.Б.Миротина, А.М.Гаджинского, Ю.М.Неруша, В.С.Лукинского,

В.А.Гудкова, В.М.Николашина и мн. др. Но работ по вопросам методики и методологии проектирования и развития транспортно-терминальной сети на региональном уровне недостаточно. Особенную значимость эта проблема приобретает в условиях современной экономической ситуации и агломерирования регионов, при обострении необходимости совершенствования товародвиженческих процессов и снижения совокупных логистических затрат на транспортное обслуживание потребителей и системы дистрибуции металлопродукции.

Таким образом, в условиях структурирования хозяйства через экономические кластеры, агломерации и усложнения транспортно-хозяйственных связей детальная проработка проблем проектирования и организации системы распределения и доставки металлопродукции через терминалы необходима и актуальна.

*Цель исследования* – разработка методики проектирования пространственно-количественных параметров терминальной сети региона как способа управления и организации распределения грузопотоков с наименьшими затратами. *Задачи исследования* – 1) обоснование необходимости создания терминальной сети региона; 2) формулировка целевой функции; 3) разработка алгоритма принятия пространственно-количественного решения (ПКР) терминальной сети. *Объект исследования* – промышленный регион, ориентированный на вывоз продукции. На примере Кемеровской области проектируется оптимальная (по числу и дислокации ЛНРЦ) терминальная сеть.

Главное направление совершенствования товародвижения – это формирование единой системы транспортного обслуживания региона. Наличие развитой терминальной сети позволит, по сути, решить основную задачу совершенствования работы автотранспорта – сократить общие издержки в логистической цепи при сохранении высокого уровня обслуживания предприятий-производителей и потребителей промышленной продукции (в том числе – металлургической). Подобная система будет выполнять функции промежуточного звена между поставщиками, потребителями и видами транспорта. Интенсификация и оптимизация процессов дистрибуции достигается работой в регионе многономенклатурных грузоперерабатывающих комплексов – логистических накопительно-распределительных центров.

***Логистический накопительно-распределительный центр (ЛНРЦ, или грузовой терминал)*** = самостоятельный транспортно-грузовой комплекс сооружений, технических и технологических устройств, организационно взаимосвязанных и предназначенных для выполнения логистических операций по приёму, погрузке-разгрузке, хранению, грузопереработке, распределению грузопотоков и транспортно-экспедиционному сопровождению процесса грузо- и товародвижения. Грузовые терминалы организуются в пунктах стыка различных видов транспорта и выполняют функции логистических центров, которые интегрируются в транспортную сеть региона, затем – кластера.

Основной отличительной чертой создания региональной терминальной сети является переход от фрагментарного подхода к управлению товародвижением и от «стихийного» размещения складских инфраструктур к единому транспортно-экспедиционному пространству, интегрирующему транспортное, экономическое, информационное и правовое поля товародвиженческой деятельности в регионе.

Преимущества формирования терминальной сети – ускорение доставки груза получателям по технологии «точно в срок», сокращение продолжительности хранения груза, снижение затрат на перевозку, эффективная дистрибуция груза и комплексное транспортно-экспедиционное обслуживание грузодвижения по технологии «от двери до двери». Создание терминалов исключает строительство складов у производителей продукции.

**Терминальная сеть региона** – логистическая система, представляющая собой совокупность взаимодействующих и централизованно управляемых терминалов (ЛНРЦ), обеспечивающая кластерную интеграцию и выходы на транспортные коридоры. При этом ЛНРЦ рассматривается не изолированно, а как звено логистической цепи, элемент терминальной сети.

*В работе предлагается методика принятия пространственно-количественного решения терминальной сети (МПКР).*

Методика выбора оптимальных дислокации (пространственное решение) и числа (количественное решение) терминалов основана на выборе из множества возможных вариантов одного, наиболее выгодного. В качестве стоимостного критерия оптимальности примем минимум суммарных затрат на обслуживание перевозки ( $S_{\text{сумм}}$ ).

$$F = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_{\alpha=1}^{\alpha} S_{\text{сумм}\alpha}^{(\beta;\lambda)} \Rightarrow \min;$$

$$F = (\sum_i \sum_k Q_{ik} * S_{\text{сумм}(ik)} + \sum_{(m)} Q_{ik} * S_{\text{сумм}(k)}) + (\sum_{(n)} Q_{kj} * S_{\text{сумм}(k)} + \sum_k \sum_j Q_{kj} * S_{\text{сумм}(kj)}) \Rightarrow \min; \quad (1)$$

$$F = \sum_i \sum_j \sum_k [S_{\text{тран}}; S_{\text{инвест}}; S_{\text{хран}}; S_{\text{перераб}}; S_{\text{сруз}}; S_{\text{сервис}}; T_{\text{достав}}] \Rightarrow \min.$$

где:  $S_{\text{сумм}\alpha}^{(\beta;\lambda)}$  – суммарные затраты на обслуживание перевозки, руб./год;  $S_{ik}$  – суммарные затраты на этапе обслуживания перевозки грузов объёмом  $Q_{ik}$  от поставщика ( $i$ ) на терминал ( $k$ ), руб./год;  $S_k$  – суммарные затраты на обслуживание терминальной (внутри- и межтерминальной) перевозки, руб./год;  $S_{kj}$  – суммарные затраты на этапе распыления объёма перевозок  $Q_{kj}$  терминалом ( $k$ ) потребителям ( $j$ );  $Q_{ik}$  – количество груза, поступающего от поставщиков ( $i$ ) на терминал ( $k$ ), тонн/сут.;  $Q_{kj}$  – количество груза, отправляемого (распределяемого) терминалом ( $k$ ) потребителям ( $j$ ). Сумма

затрат на обслуживание перевозки  $\sum_{\alpha=1}^{\alpha} S_{\text{сумм}\alpha}^{(\beta;\lambda)}$  на  $\alpha$ -том этапе



( $\alpha_1 = ik$  – сбор;  $\alpha_2 = (kj)$  – терминальная перевозка;  $\alpha_3 = (kj)$  – распределение) грузодвижения  $\beta$ -тым или  $\lambda$ -тым видом транспорта ( $\beta$ - доставка автомобильным;  $\lambda$ -железнодорожным транспортом; в случае  $\beta + \lambda$  - доставка комбинированная) минимизируется: 1) по варианту дислокации и размещения терминалов; 2) по поставщику ( $\sum_i S_i$ ), терминалу ( $\sum_k S_k$ ) и потребителю ( $\sum_j S_j$ ); 3) по этапам  $m$  и  $n$  ( $m$  – прибытие груза от поставщика на терминал;  $n$  – отправление груза с терминала потребителю) по каждой

транспортной связи.  $\sum_{x=1}^x S_{сумм,x}^{(y,z)}$  складываются из следующих видов затрат:

$S_{тран}$  – собственно транспортные затраты на обслуживание перевозки, руб./год;  $S_{инвест}$  – размер инвестиций, необходимых для строительства грузового терминала (ЛНРЦ), с учётом вложений в инфраструктуру и оснащение, руб./год;  $S_{хран}$  – затраты, связанные с хранением груза на терминале, руб./год;  $S_{перераб}$  – затраты, связанные со складской переработкой груза (маркировка, упаковка, подгруппировка и др.), руб./год;  $S_{груз}$  – затраты, связанные с выполнением грузовых операций (погрузка, разгрузка, перегрузка), руб./год;  $S_{сервис}$  – затраты, связанные с выполнением транспортно-экспедиционного и коммерческо-информационного сервиса, дистрибуции груза, мониторинга и др. логистических услуг, руб./год. Кроме стоимостных составляющих, в целевую функцию включается показатель, определяющий *эффективность* регионального грузодвижения по терминальной технологии:  $T_{достав}$  – время доставки груза по терминальной технологии, час.

В качестве относительного (эффективного) критерия оптимальности примем максимум общей эффективности обслуживания перевозки ( $R_{общ}$ ). Целевая функция  $G$  имеет вид:

$$G = [R_{общ}] \Rightarrow \max;$$

$$G = [R_{лог}; R_{пер}; V_{достав}] \Rightarrow \max; (2)$$

$$G = \sum_{i=1}^i R_{общ_i}^{(j,k)} \Rightarrow \max$$

где:  $R_{общ}$  – общая эффективность обслуживания перевозки, руб./год. Общая эффективность обслуживания перевозки  $\sum_{\alpha=1}^{\alpha} R_{общ_{\alpha}}^{(\beta;\lambda)}$  на  $\alpha$ -том этапе ( $\alpha_1 = ik$  – сбор;  $\alpha_2 = (kj)$  – терминальная перевозка;  $\alpha_3 = (kj)$  – распределение) грузодвижения  $\beta$ -тым или  $\lambda$ -тым видом транспорта ( $\beta$ - доставка автомобильным;  $\lambda$ -железнодорожным транспортом; в случае  $\beta + \lambda$  - доставка комбинированная) в соответствии с целевой функцией  $G$  максимизируется по каждому варианту и складывается из:  $R_{лог}$  – эффективность

логистического сопровождения грузодвижения, %;  $R_{пер}$  – рентабельность перевозок, %. Эффективность логистического сопровождения грузодвижения  $R_{лог}$  складывается из сохранности груза при перевозке, своевременности доставки, удобства доставки – вовремя и точно в указанный пункт, совершенства документационно-информационного сервиса. Кроме относительных составляющих, в целевую функцию включается показатель, определяющий *эффективность* регионального грузодвижения по терминальной технологии:  $V_{достав}$  – скорость доставки груза, км/час.

Для того, чтобы проанализировать влияние количества и размещения терминалов на величину суммарных затрат на обслуживание перевозки, необходимо определить величину суммарных затрат для каждого из возможных вариантов и сделать вывод о целесообразности каждого варианта. Минимизация затрат по данной целевой функции позволит выявить оптимальное сочетание количества и размещения терминалов в регионе.

Проектирование пространственного и количественного параметров терминальной сети проводится в следующей последовательности расчётов: 1) анализ грузопотоков по внутренним и внешним направлениям; 2) зонирование территории с учётом пространственного и количественного размещения грузообразующих и грузопоглощающих пунктов; 3) назначение в наиболее крупных по объёмам производства металлопродукции и наиболее удобных по авто-и железнодорожному сообщению пунктах предварительные дислокации терминалов; 4) группировка всех возможных вариантов по выбранному критерию/критериям; 5) выявление наиболее предпочтительных стратегий; 6) проведение технико-экономических расчётов; 7) сравнение результатов расчёта и выбор наилучшей (оптимальной) стратегии – варианта пространственного и количественного размещения терминальной сети.

Алгоритм принятия ПКР (технико-экономический расчёт):

- ✓ Выбор варианта дислокации ЛНРЦ (*пространственное решение*)
- ✓ Ввод исходных данных, постоянных и переменных величин
- ✓ Расчёт величины суммарных затрат на обслуживание перевозки
- ✓ Анализ результатов расчёта в соответствии с целевой функцией
- ✓ *Решение о транспортном обслуживании* (по схеме: АТ; ЖТ; АТ+ЖТ)
- ✓ Назначение рейтинга данной стратегии\* (\*повтор счёта в соответствии с числом назначенных вариантов для анализа)
- ✓ Сравнение вариантов: выводы по схемам обслуживания, уточнение дислокации ЛНРЦ относительно грузовых пунктов
- ✓ Принятие *пространственно-количественного решения сети*

Данная методика может быть реализована в любом промышленном регионе России, ориентированном на экспорт продукции. Проведение реальных расчётов на примере угледобывающей промышленности юга

Кемеровской области доказало практическую применимость предлагаемой методики для любой промышленной отрасли, например, для металлургии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровская О.Д., Воскресенская Т.П. О необходимости создания логистических распределительных центров на примере угольной промышленности юга Кузбасса. // Политранспортные системы: Мат. 6-ой Всероссийской научно-технической конференции: В 2-х ч. Ч.1.- Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2009. – 540с. – с.236-243.

2. Сервис на транспорте: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Николашин, Н.А. Зудилин, А.С. Сеницына и др., Под ред. В.М. Николашина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.

УДК 728.1.04

Ю.К. Осипов, О.В. Матехина

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ В ЖИЛОМ ДОМЕ – ЭТО КОМФОРТ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЛЫХ И РАБОЧИХ ПРОСТРАНСТВ

В статье рассматриваются проблемы экологии внутреннего пространства жилища с точки зрения широких возможностей его изменения при помощи света, цвета и акустики.

The article deals with the ecology problems of inner dwelling space concerning the wide possibilities of its change with the help of light, colour and acoustics.

Если жилые здания (жилые дома) рассматривать как часть окружающей среды, то к ним тоже нужно относиться бережно, экономно, чтобы дать возможность владельцу жилого пространства почувствовать положительное эмоциональное воздействие. Следовательно, в системе «человек – здание» возникает задача – создать жизненное пространство с визуальным, аудиальным и кинестетическим комфортом.

Один из аспектов визуального комфорта – визуально безопасные поверхности, предметы мебели и вещи. Стеклянные столы и полки могут вызвать ощущение ненадёжности и беспокойства. Ассоциативно стекло, металл, пластик нельзя отнести к экоматериалам – тёплым и комфортным. Немаловажный фактор визуального комфорта – форма пространства, предметов, вещей. Лучше предпочесть плавные и разнообразные линии и формы, присущие самой природе. Легко спровоцировать визуальный дискомфорт хаотичным членением горизонтальных и/или вертикальных поверхностей помещений, неподчинённых единому композиционному замыслу.

Визуальный комфорт или ощущение комфортности зрительного восприятия человеком, находящимся в здании, зависит и от внешнего вида среды, окружающей дом, зрительной изоляции помещений и их освещенности. Зрительный комфорт, включает сопричастность к жизни города – хорошее состояние при общей ухоженности, благоустроенности территории, красивой застройке, выразительных композициях зданий, зеленых насаждений, малых архитектурных форм – а также ощущение зрительной изоляции внутриквартирных помещений, удовлетворяющее генетическую потребность в личном пространстве.

Стандартизация домостроения привела к потере эстетической функции, монотонная, безликая стандартная застройка «коробками» создает среду, агрессивную для глаз. Решение этой проблемы может осуществляться за счет использования малых архитектурных форм благоустройства придомовых территорий. Формирование комфортной зрительной среды возможно за счет колоритного разнообразия фасадов в результате окраски их в различные, гармонично сочетающиеся цвета, исключая «цветовой голод». Зеленые насаждения существенно влияют на зрительное восприятие застройки, восполняя естественную человеческую потребность быть «ближе к природе». Красивый вид из окон способствует хорошему настроению. Учитывая это, общесемейные зоны размещают таким образом, чтобы через окна можно было наблюдать природу, видеть линию горизонта, позволяющую наблюдать изменение времени суток.

Цвет – проявление индивидуальности, поэтому особое внимание следует уделять колористике интерьера. Непродуманное цветовое решение может провоцировать нежелательные эмоциональные состояния: раздражительность, тревожность, угнетённость.

В этом вопросе лучше не гнаться за модой и не пытаться слепо соответствовать определённому стилю. Цветовое решение для каждого должно быть индивидуальным. Здесь учитываются цветовые ассоциации, сформированные в процессе жизни, актуальное эмоциональное состояние, тип темперамента и, конечно, психофизиологическое влияние цвета на человека.

Способность создавать красивые цветовые композиции можно сравнить с талантом хорошо готовить. Интуитивно мы вкладываем определённое значение в подбор цвета. Если мы захотим описать цветовые ощущения другим людям, то мы обнаружим, что это не так просто. Но независимо от того, какие цвета мы выбираем для оформления квартиры и какие цветовые пожелания специалисту по созданию интерьера, выбор цветовой гаммы определяет характер и атмосферу жилища. Цвет должен улучшать настроение, способствовать снижению напряженности психологического состояния и содействовать отдыху.

Как сильно зависит наше самочувствие от света! Подтверждение – большое количество «вытянутых лиц», которое можно увидеть в дождливую погоду. Требования к искусственным источникам света высоки. Они должны обеспечивать оптимальные условия для зрения в самых разнообразных функциональных зонах. Другими словами визуальный комфорт – это грамотное световое решение помещений. Известно, к примеру, что количество освещения внутренних пространств влияет на продолжительность жизни человека. Кроме декоративного воздействия, хорошо продуманные источники света необходимы ещё по двум причинам.

Мы знаем, что 80% информации поступает в мозг через глаза. Хороший свет обеспечивает комфортные условия для чтения и бережёт глаза.

Согласно статистике несчастных случаев в домашнем хозяйстве, причиной их возникновения всё ещё часто является плохой свет или недостаточная освещённость. Следует максимально использовать возможности самого комфортного – естественного освещения (например, располагать рабочие поверхности перед окнами).

Для человека особенно ценен биологически полноценный естественный свет: прямые солнечные лучи и рассеянный свет несут в жилище не только поток видимого света, но и необходимые для здоровья ультрафиолетовые лучи, и тепловые инфракрасные излучения. Ультрафиолетовые лучи способствуют оздоровлению человека, обеззараживают воздух помещений и поверхности предметов, убивая болезненную микрофлору. Формирование среды жилых помещений включает оптимальное и правильное использование естественного света, инсоляции и рационального искусственного света.

Аудиальный комфорт – это не так просто, как кажется на первый взгляд. Шум – серьёзная экологическая проблема, он оказывает влияние на здоровье. Шум снаружи и внутри помещения. Шумная или тихая атмосфера: при определении качества квартиры или дома. Этот параметр сейчас имеет решающее значение. И всё же, по-прежнему, продолжают недооценивать вред, наносимый шумом.

С физиологической точки зрения звуковые волны делятся на полезные звуки и шум. Шум оказывает раздражающее действие на организм. Предельный уровень звукового давления, длительное воздействие которого не приводит к повреждению органов слуха, равен 80 ... 90 дБ. Шумовой комфорт необходим человеку для нормальной деятельности его нервной системы. Во время сна и пассивного отдыха человеку нужна относительная тишина. К этому уровню относят шумы от звукового порога слышимости до уровня звукового давления в 40 дБ. Во время работы и бодрствования тишина не обязательна, шум средней силы не мешает человеку трудиться и отдыхать, поскольку происходит частичная адаптация организма, а ухо способно дифференцировать звуки такой силы. Состоянию бодрствования соответствует вторая группа шумов с уровнем звукового давления от 40 до 80 дБ. Это основная гамма звуковых сигналов окружающей среды.

А теперь задумаемся, как «звучит» интерьер нашего дома. Повсюду звуки соприкосновения предметов с поверхностями – посуды с кухонным столом, звук шагов, звук льющейся воды ... Необходимо смягчить или удалить ненужные раздражающие звуки, отрегулировать инженерное оборудование дома. В существующих домах часто возникает проблема с дополнительной защитой от шума. Именно проблема, так как количество мер, определяющих успех в этой сфере, ограничено. Часто

попытки уменьшить воздействия шума не дают положительных результатов, но даже вызывают ухудшение. Причиной этого являются, чаще всего, обходные пути распространения звука – сложная физическая проблема.

И квалифицированные специалисты и архитекторы, как правило, мало знакомы с этой проблемой. Помочь, в конце концов, может только специалист, занимающийся акустикой строительных сооружений.

Шумовая нагрузка может возникнуть снаружи дома или быть вызвана соседями по дому. При наружном шуме ненадёжными зонами с точки зрения акустики в доме могут наружные стены, окна и двери, кровля, вентиляционные каналы (отверстия), дымоходы, подсобные помещения и коридоры.

При проектировании и строительстве жилого дома необходимо выделить ненадёжные с точки зрения акустики зоны здания. Ненадёжные зоны внутри дома – это стены, перекрытия, двери, коммуникации. В практике строительства именно этим проблемным зонам и уделяют внимание, проводя мероприятия по звукоизоляции, звукопоглощению или снижению распространению звука, т.е. прерыванию путей распространения звука. Везде где это возможно, следует предусматривать защиту от шума.

Кинестетика – это наши тактильные, обонятельные и вкусовые ощущения. Они несут огромный заряд положительных эмоций. Запах утреннего кофе, соприкосновение тела с мягкой поверхностью уютного пледа и т.д.

При выборе мягкой мебели следует обратить внимание не только на удобство или цветовое сочетание с остальными элементами интерьера, но и на поверхность обивки, она должна давать приятные ощущения при соприкосновении с ней. Для кинестического комфорта приветствуется всё шероховатое, текстурно-фактурное. Нежелательны гладкие, твёрдые и холодные поверхности. Это касается и отделочных материалов, особенно тех, с которыми мы часто соприкасаемся (например, напольных покрытий, текстиля, посуды). Другой аспект – запахи. Чтобы не превратить их в раздражающий фактор, следует уделить пристальное внимание обустройству продуманной системы вентиляции.

Жилой дом, квартира и обстановка в ней являются частью природной среды и обладают соответствующей энергетикой, влияющей на человека. Обитатель дома неосознанно чувствует на себе влияние энергетики предметов обстановки, и также неосознанно создает вокруг себя с их помощью энергетическое поле, которое его надежно защищает. Квартира – это индивидуальная система, находящаяся под влиянием внешних и внутренних факторов. Уравновешенная энергетическая среда в доме – это важнейших показатель его комфортности. Необходимо помнить, что архитектура – среда, влияющая на здоровье людей.

УДК 728.1.04

Ю.К. Осипов, О.В. Матехина

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ЭКОЛОГИЯ ЖИЛОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье рассматриваются проблемы экологии внутреннего пространства жилища.

The article deals with the ecology problems of inner dwelling space.

Удобство жилища, уют, приятное ощущение пространства, эстетичность интерьера, т.е. всё, что характеризует хорошее жильё, зависит в первую очередь от внутренней отделки дома, которая создаёт подходящее обрамление выбранной мебели и обеспечивает гармонию помещений. При этом безразлично, идёт ли речь о новом здании или о реконструированном.

Ещё совсем недавно при возведении и реконструкции зданий экологический фактор, напрямую влияющий на здоровье людей, или не учитывался совсем, или, в лучшем случае, о нём вспоминали в последнюю очередь. В результате многие жилые дома оказались не приспособленными для поддержания в них нормальной экосистемы.

Однако понятие «экология» уже перешагнуло свои узкоспециальные научные рамки. Многие понятия и определения перекочевали в повседневность, обозначив бережное и внимательное отношение к жизни в широком смысле слова. Экологически ориентированное сознание становится убеждением, ценностью, потребностью человека. Длительное изучение взаимосвязей между живыми организмами и средой их обитания обозначило главный вектор пристального внимания человека. С одной стороны это обдуманное и взвешенное внедрение его рукотворной среды обитания в природную. С другой – создание пространства для жизнедеятельности, лишённое всякой агрессивности, однако для города агрессия стала нормой жизни. Город загоняет в жёсткие рамки – так можно, а так нельзя. Посмотрите: прямые улицы, острые углы, строгие геометрические формы зданий. Городу так удобно строить! А где в природе прямые линии? Их нет!!

О проблеме экологичности заговорили архитекторы, строители и дизайнеры. Решение этой проблемы рассматривается в разных направлениях:

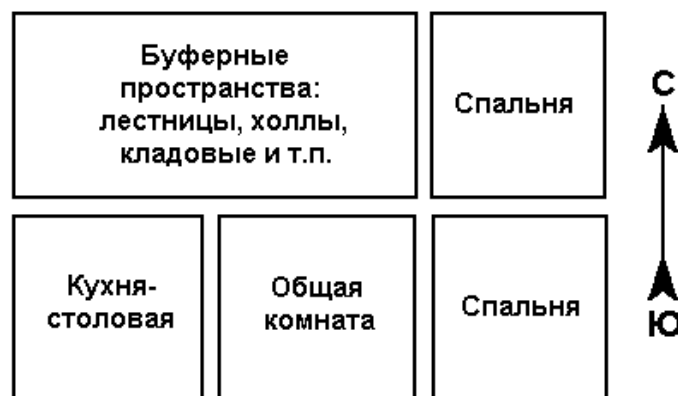
- правильная ориентация помещений квартиры по сторонам света. Инсолирование помещений – важнейшее условие здорового воздуха в



квартире. Грамотная расстановка комнат обеспечит достаточную освещенность, защитит от холода зимой и перегрева летом;

- использование экологически чистых натуральных материалов при строительстве жилья и отделке помещений. Это всё больше влияет на форсирование идей нашего жизненного пространства;
- экологичный ландшафтный дизайн. Озеленение городских пространств. Слово «экодизайн» рождает общий ассоциативный ряд в виде элементов природы, натуральных фактур, особых цветовых решений;
- создание жилых домов и систем, оказывающих минимальную нагрузку на окружающую среду и использующих естественные возможности на пользу людей;
- экологичность отношений выходит на первый план повседневной жизни. Это бережное отношение к себе, сохранение своей индивидуальности и неповторимости благодаря продуманному обустройству личного пространства. Важен как индивидуальный подход к формированию жилой среды, так и создание психологически безопасных пространств вообще.

Расположение помещений следует выполнять таким образом, чтобы можно было использовать утренний солнечный свет для инсоляции спальни, дневной – для инсоляции кухни и общей комнаты. Зимний солнечный свет хорошо осветит активную зону квартиры – кухню и общую комнату. Кроме того, такая ориентация позволит использовать подсобные помещения в качестве дополнительных северных и западных буферных пространств, защищающих жилище от холода, как показано на следующем рисунке.



**Рисунок – рекомендуемое расположение помещений**

Условия удобства здания многочисленны и разнообразны. В системе «человек – здание» главным звеном является человек. Это означает, что проектирование дома необходимо начинать с оценки того, чем нужно снабдить человека, чтобы он мог оптимально функционировать в данной среде. Качество жилого дома напрямую зависит от правильно выбранных строительных

материалов, при помощи которых создаётся материальная оболочка – собственно дом.

Вредных для здоровья материалов великое множество и, к сожалению, они широко используются при строительстве и отделке. Для строительных компаний главной задачей является – быстро построить дом, выгодно продать квартиры. Вопрос о безопасности жилья, об экологичности используемых материалов либо не стоит вообще, либо отходит на последний план. Не секрет, что подавляющее большинство домов «фонит» – ведь при их строительстве используют материалы на основе техногенных отходов. И это не единственная опасность ... Те загрязнения, которые получает дом при строительстве, являются малой долей общих загрязнений жилья. Всё остальное мы приносим в свой дом, квартиру собственными руками – при ремонте и отделке. Например, большую опасность для здоровья представляет древесно-стружечный пол, который есть в каждом доме. Он содержит опасные для здоровья фенолформальдегидные смолы. При нагревании до 20<sup>0</sup> С фенол испаряется и приносит вред органам дыхания, а температура в квартирах редко опускается ниже этой отметки. Полимерные покрытия для полов могут выделять в воздух бензол, толуол, этибензол. Некачественные ковровые покрытия выделяют стирол, сернистый ангидрид, ацетофенол. Некоторые виды влагостойких обоев известны как основные источники выделения стирола. Лаки, краски, клеи, некоторые виды линолеума являются основными источниками загрязнений воздушной среды ксилолом и толуолом. Это малый перечень того, что окружает нас ежедневно.

При возгорании таких современных материалов как пластик или ламинат выделяются ядовитые газы, и, подышав этой гарью, непременно почувствуешь себя плохо. А горение это ускоренный процесс окисления. Зачем же мы убиваем себя. Страна богата лесами. Из него можно делать и панели, и стеклопакеты и пол ... У нас много глины и камня, а наши дома построены из железобетона – железной сетки, заполненной пористым веществом. Решётки отгораживают человека в его пространстве от энергии земли и солнца.

Использование больших масс материалов внутри здания в местах попадания прямого солнечного света способствует накоплению тепла самим домом. Внутренние и наружные стены комнат, ориентированных на юг, полы в этих помещениях, дополнительные толстые слои отделки (штукатурки) на стенах и перегородках – должны быть тяжелыми, из геологических, а не биологических материалов. Большая масса аккумулирует тепло и будет отдавать его в течение долгого времени, сохраняя комфортные параметры воздуха в помещении.

Всё что находится вокруг нас, мы видим, слышим и ощущаем, т.е мы говорим о каналах восприятия – визуальном, аудиальном, кинестетическом. Следовательно, в системе «человек – здание» возникает задача – создать жизненное пространство с визуальным, аудиальным и кинестетическим комфортом.

Один из аспектов визуального комфорта – визуально безопасные поверхности, предметы мебели и вещи. Стелянные столы и полки прозрачные, определяющие конструкции, могут вызвать ощущение ненадёжности и беспокойства. Ассоциативно стекло, металл, пластик нельзя отнести к экоматериалам – тёплым и комфортным. Немаловажный фактор визуального комфорта – форма пространства, предметов, вещей. Лучше предпочесть плавные и разнообразные линии и формы, присущие самой природе. Легко спровоцировать визуальный дискомфорт хаотичным членением горизонтальных и / или вертикальных поверхностей помещений, неподчинённых единому композиционному замыслу.

Цвет – проявление индивидуальности. Особое внимание следует уделять калористике интерьера. Непродуманное цветовое решение может провоцировать нежелательные эмоциональные состояния: раздражительность, тревожность, угнетённость.

В этом вопросе лучше не гнаться за модой и не пытаться слепо соответствовать определённому стилю. Цветовое решение для каждого должно быть индивидуальным. Здесь учитываются цветовые ассоциации, сформированные в процессе жизни, актуальное эмоциональное состояние, тип темперамента и, конечно, психофизиологическое влияние цвета на человека.

Способность создавать красивые цветовые композиции можно сравнить с талантом хорошо готовить. Интуитивно мы вкладываем определённое значение в подбор цвета. Если мы захотим описать цветовые ощущения другим людям, то мы обнаружим, что это не так просто. Но независимо от того, какие цвета мы выбираем для оформления квартиры и какие цветовые пожелания специалисту по созданию интерьера, выбор цветовой гаммы определяет характер и атмосферу жилища.

Как сильно зависит наше самочувствие от света! Подтверждение – большое количество «вытянутых лиц», которое можно увидеть в дождливую погоду. Требования к искусственным источникам света высоки. Они должны обеспечивать оптимальные условия для зрения в самых разнообразных функциональных зонах. Другими словами визуальный комфорт – это грамотное световое решение помещений. Известно, к примеру, что количество освещения внутренних пространств влияет на продолжительность жизни человека.

Кроме декоративного воздействия, хорошо продуманные источники света необходимы ещё по двум причинам.

Мы знаем, что 80% информации поступает в мозг через глаза. Хороший свет обеспечивает комфортные условия для чтения и бережёт глаза.

Согласно статистике несчастных случаев в домашнем хозяйстве, причиной их возникновения всё ещё часто является плохой свет или недостаточная освещённость. Следует максимально использовать возможности самого комфортного – естественного освещения (например, располагать рабочие поверхности перед окнами).

В то же время, нельзя забывать о том, что окна – это большие энергетические расходы. Их площадь должна обеспечивать хорошую освещенность, но не более. Теплопотери через самые плотные оконные заполнения в 4 – 8 раз больше, чем через стену. Любое окно, не добавляющее солнечного отопления, непрерывно теряет тепло тогда, когда Вы хотите его сохранить. И наоборот, когда снаружи слишком жарко, даже затенённое окно постоянно нагревает помещение из-за проводимости.

Окна, обращенные на юг и юго-запад, должны быть расположены в нижней части стены, либо над ними следует делать козырьки, навесы или выдвигать крышу на столько, чтобы жарким летом солнце не попадало в глубину комнаты. При таком решении зимой вся солнечная энергия окажется внутри помещения благодаря низкому солнечному горизонту.

Аудиальный комфорт – это не так просто, как кажется на первый взгляд. Шум – серьёзная экологическая проблема, он оказывает влияние на здоровье. Шум снаружи и внутри помещения. Шумная или тихая атмосфера: при определении качества квартиры или дома. Этот параметр сейчас имеет решающее значение. И всё же, по-прежнему, продолжают недооценивать вред, наносимый шумом.

Задумавшись, как «звучит» интерьер нашего дома. Повсюду звуки соприкосновения предметов с поверхностями – посуды с кухонным столом, звук шагов, звук льющейся воды ... Необходимо смягчить или удалить ненужные раздражающие звуки, отрегулировать инженерное оборудование дома. В существующих домах часто возникает проблема с дополнительной защитой от шума. Именно проблема, так как количество мер, определяющих успех в этой сфере, ограничено. Часто попытки уменьшить воздействия шума не дают положительных результатов, но даже вызывают ухудшение. Причиной этого являются, чаще всего, обходные пути распространения звука – сложная физическая проблема.

И квалифицированные специалисты и архитекторы, как правило, мало знакомы с этой проблемой. Помочь, в конце концов, может только специалист, занимающийся акустикой строительных сооружений.

Шумовая нагрузка может возникнуть снаружи дома или быть вызвана соседями по дому. При наружном шуме ненадёжными зонами с точки зрения акустики в доме могут наружные стены, окна и двери, кровля, вентиляционные каналы (отверстия), дымоходы, подсобные помещения и коридоры.

Ненадёжные зоны внутри дома – это стены, перекрытия, двери, коммуникации. В практике строительства именно этим проблемным зонам и уделяют внимание, проводя мероприятия по звукоизоляции, звукопоглощению или снижению распространению звука, т.е. прерыванию путей распространения звука. Везде где это возможно, следует предусматривать защиту от шума.

Кинестетика – это наши тактильные, обонятельные и вкусовые ощущения. Они несут огромный заряд положительных эмоций.

Запах утреннего кофе, соприкосновение тела с мягкой поверхностью уютного пледа и т.д.

При выборе мягкой мебели следует обратить внимание не только на удобство или цветовое сочетание с остальными элементами интерьера, но и на поверхность обивки, она должна давать приятные ощущения при соприкосновении с ней. Для кинестического комфорта приветствуется всё шероховатое, текстурно-фактурное. Нежелательны гладкие, твёрдые и холодные поверхности. Это касается и отделочных материалов, особенно тех, с которыми мы часто соприкасаемся (например, напольных покрытий, текстиля, посуды).

Другой аспект – запахи. Чтобы не превратить их в раздражающий фактор, следует уделить пристальное внимание обустройству продуманной системы вентиляции.

Экологичность собственного жилого пространства в значительной степени зависит от микроклимата помещений.

Какие условия нужно создать, чтобы обеспечить здоровый микроклимат в помещении? Дом должен быть построен или реконструирован технически правильно в соответствии с требованиями строительной физики и не иметь никаких повреждений и, в особенности, повреждений от влаги. Но даже опытный специалист не может дать гарантии, что будет обеспечен здоровый микроклимат, если домовладелец, жильцы не будут серьёзно относиться к своим обязанностям, не будут своим сознательным поведением сохранять созданные условия здорового микроклимата.

Самочувствие людей в помещении зависит в первую очередь от состава воздуха в помещении, от основного отягощения воздуха внутри помещения, аналогично загрязнению наружного воздуха вредными веществами и микроорганизмами, от отягощения продуктами жизнедеятельности и жизненных процессов и стройматериалами.

Серьёзное отягощение воздуха внутри помещения от жизнедеятельности вызывается проживанием, приготовлением пищи, купанием, дыханием и активной деятельностью. Животные и земля из цветочных горшков с комнатными растениями также отягощают воздух.

В результате процессов жизнедеятельности, кроме того, образуется углекислый газ – газ который является безвредным только при небольших концентрациях.

И, наконец, качество микроклимата зависит от количества влаги, которая присутствует в комнатном воздухе в форме невидимого водяного пара. Водяной пар в зависимости от комнатной температуры определяет относительную влажность и тем самым является важной предпосылкой комфортных условий.

Важное значение для нашего отношения к вопросу о воздухе в помещении в первую очередь имеет тот факт, что из-за стремления к экономии энергии приходится оборудовать окна теплоизоляцией и тем самым делать

их плотными. И если раньше был постоянный обмен воздуха через неплотные оконные швы, то теперь этого не происходит.

Поэтому становится ясно, почему выбор материалов, не вызывающих сомнений с точки зрения здоровья при их непосредственном использовании, а также новые технологии при отоплении, должны быть дополнены сознательным поведением, что в первую очередь касается правильного отопления и проветривания.

Функциональная комфортность характеризуется как удобство пользования зданием. В создании функциональной комфортности участвуют такие параметры, как эстетическая характеристика здания, то есть архитектурно-художественная выразительность фасадов и интерьеров здания, дизайн мебели и оборудования, структура помещений.

Безопасность – относится к категории комфортности, поскольку человек психологически не может признать дом, если он представляет собой потенциальную опасность. Неудачная планировка путей передвижения, недостаточная прочность конструкций или плохо отлаженные системы инженерного оборудования могут служить причиной несчастных случаев.

На основании изложенного можно заключить – создание экологических предпосылок в процессе проектирования строительства, расширения, реконструкции своего жизненного пространства, обеспечит нормальное физиологическое состояние человека, пребывающего в нём.

## **ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

УДК 008

Н.К. Анохина

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статье рассмотрены методологические аспекты современного инженерного образования. Показано, что его определяющими факторами являются методология, логика, научное мировоззрение и гуманизм.

This article deals with the methodological aspects of modern engineering education. This work demonstrates the main elements of education the logic, methodology, scientific world view, humanism.

За последние полвека в науке, технологии, образовании произошли кардинальные изменения. Были сделаны величайшие фундаментальные и технологические открытия. Биосфера стремительно замещается техносферой. Все большую роль в мире играет информация. Технологическое развитие общества идет по пути глубокой интеграции науки, производства и образования.

Технологические знания, которые ранее представлялись как прикладные отрасли фундаментальных наук, стали обретать собственную теорию. Эти изменения отразились и на образовании, особенно инженерно-техническом. Потребовалась подготовка инновационно-активных специалистов с учетом требований времени.

В связи с поставленной задачей возникли вопросы. Какие знания, навыки и умения должен получить будущий специалист для успешной профессиональной, инновационной деятельности? Какие элементы в современном образовании будут определяющими, главными? Этим проблемам и посвящена данная статья.

Сначала обратимся к особенности современного перехода от фундаментально-прикладного знания в науке к фундаментально-технологическому. Если фундаментальные науки описывают естественные процессы (природные и социальные), то технологические науки – процессы искусственные, созданные человеком. Тогда одна из важных проблем гармонизации мира заключается в согласовании искусственных и естественных процессов, в осмыслении мира естественного и мира искусственного. В этом суть системно-методологического переворота в науке и образовании [1, с. 62].



Предложенная выше фундаментально-технологическая структура научного знания позволяет с системно-методологических позиций в образовательной сфере выполнить дифференциацию целей и задач подготовки бакалавров и магистров в высшей школе. С этих позиций бакалавр должен иметь представление об естественных закономерностях развития, как природно-биосферных явлений, так и процессах в техносфере. На этом уровне, главное, у него сформировать целостно-фундаментальное представление о мире. Обобщенные программы фундаментальных курсов естество- и обществознания позволят ему определиться в любой профессиональной деятельности и по желанию продолжить дальнейшее образование в магистратуре. Основная проблема здесь: насытить фундаментальные курсы технологическими знаниями и умениями.

Магистр же должен не только знать, но и уметь. Но это не технологические (предметно-материальные) умения бакалавра, а тотальные умения, предполагающие развитую интеллектуально-мыслительную, исследовательскую и инновационную деятельность. А для этого он должен иметь полное представление не только о фундаментальных законах, но и о способах и методах инженерной инновационной деятельности. Тотальная технологичность на основе фундаментальной подготовки позволит получить все стороны развитого профессионала-инженера, инженера-мыслителя космического масштаба, способного дать всеобъемлющую оценку планетарно-технологической деятельности. Магистр должен научиться превращать (трансформировать) фундаментальное знание в глубинную методологию. Магистр – это инженер-методолог, исследующий, проектирующий и конструирующий биотехнологические системы в соответствии с биоавтотрофно-космологическими закономерностями (естественными процессами, для которых характерны автономность, оптимальность и гармоничность). Такая тотальная фундаментальность и технологичность позволяет «выйти из пространства знаний в пространство деятельности и жизненных смыслов» [1, с. 65]. Следовательно, дипломированному инновационно-активному специалисту требуется солидная методолого-технологическая подготовка.

Следующей особенностью современного инженерно-технического образования является его фундаментализация, которая предполагает высокий не только профессиональный, но и гуманитарный уровень знаний выпускника высшей школы, что уже становится необходимостью в связи с интеграционными процессами в обществе, в науке и культуре.

Подготовка инженеров-методологов аксиологического плана – это проблема планетарного масштаба. Например, современное атомное энергетическое производство переживает во всем мире глубочайший кризис. Это связано, прежде всего, с проблемой захоронения радиоактивных отходов. Искусственная радиоактивность, порожденная энергетическими реакторами, созданными человеком, не сопрягается с радиоактивностью естественной среды. Проблема захоронения (уничтожения) радиоактивных отходов до сих пор удовлетворительно не решена, что перерастает в громад-

ную геополитическую и экологическую проблему. Очевидно, что решение проблемы надо искать не в предметно-техническом плане (поиск новых типов реакторов, не связанных с окружающей средой), а в системно-методологическом, с выходом на планетарно-биосферные процессы в целом. Единственно правильное решение в области реакторостроения, как подчеркивают инженеры-методологи, связано с созданием поколения реакторов, обладающих *естественной безопасностью*. Другими словами, надежность реакторов достигается не за счет технико-технологического укрепления или изменения тех или иных конструктивных узлов, а заложена в природе самого реактора. Он должен работать на таких физико-химических и инженерных решениях, чтобы выход «за пределы естественного» был в принципе невозможен при любых экстремальных условиях. Таким образом, физиков-атомщиков необходимо знакомить не только со всем многообразием инженерных атомных технологий во всем мире (инженерно-предметное знание), но и с атомными процессами, происходящими в природе, биосфере и техносфере в целом (тотальное инженерно-фундаментально-технологическое знание). А это принципиально иная стратегия подготовки специалистов атомно-энергетического производства. Стратегия инженерно-космологического порядка. Необходим системно-методологический переворот, который должен переориентировать инженерно-техническое образование в космологическом направлении. Любой инженер (независимо от специальности) должен проектировать и конструировать сложные техносферические системы, органически включенные в природно-биосферно-космические. В этом, как считает автор указанной работы, суть инновационного инженерного университетского образования глобального масштаба [1, с. 62-65].

В связи с этим двухцикловая подготовка бакалавров и магистров технического профиля требует глубокого философско-методологического переосмысления. Практика показывает, что освоение инженерных методологических знаний, тем более связанных с глубинной философской методологией, – дело чрезвычайно трудное, требующее изменения сознания и мышления как инженерно-педагогических работников, так и инженеров, непосредственно связанных с общественным производством. Необходимы учебные дисциплины, напрямую связанные с системно-методологической, проектно-конструкторской деятельностью. Но такие дисциплины до сих пор не сложились. На повестку дня выходит разработка специальных комплексных курсов, содержащих методологические компоненты.

Подготовка учебных программ таких дисциплин требует и от преподавателя большой эрудиции, кругозора.

Кроме методологии, сегодня в системе образования, явно обозначились еще такие проблемы, на которые следует обратить самое серьезное внимание. К ним относятся формирование научного мировоззрения и логическая подготовка специалистов.

В последние годы ведущие российские ученые и педагоги подняли актуальную проблему мировоззренческой безопасности России, в обеспечении которой отечественная высшая школа призвана сыграть решающую роль. Эта проблема многоаспектна. Потенциально общественно опасными являются мировоззрения исламского и христианского фундаментализма, а также неоязычества. Что же касается общественной опасности идеологически мифологизированного научного мировоззрения, то это – исторический факт [2, с. 284].

В связи с этим отметим, что важнейшим аспектом познавательной деятельности, его основой остается рациональный способ познания мира, основанный на законах логики. Введение курса логики в вузах и усиление научной мировоззренческой подготовки позволило бы решить многие вопросы в системе образования и обществе.

Решить эту проблему в какой-то степени во вузах могла бы дисциплина «Концепции современного естествознания», КСЕ, которая читается гуманитариям с 90-х годов прошлого столетия для усиления естественнонаучной подготовки в рамках фундаментализации образования. Дисциплина КСЕ представляет совокупность наук о природе как едином целом, в основании которой положены историко-философские и эволюционно-синергетические подходы, и приобретает особую актуальность в связи с построением постиндустриального, информационного и высоко технологического общества. В таком обществе приоритетом становятся интеграционные процессы в науке, на первый план выдвигаются междисциплинарные проблемы, комплексные научно-исследовательские программы, бурное развитие получают генетика, биофизика, информатика, электромеханика, космология, кибернетика, нанотехнологии.

Сама дисциплина содержит большой эвристический потенциал. Она дает целостное представление об устройстве и эволюции мира, указывает на тесную связь природных и социальных явлений, их единство, позволяет усвоить существующие фундаментальные закономерности в природе, выявить перспективные направления развития науки, познакомиться с современной методологией, принципами, концепциями, используемыми моделями мира. Учения о биосфере и ноосфере В. И. Вернадского в курсе лекций позволяют оценить роль человека, его разума в эволюционных процессах Земли и всего Космоса

Изучение дисциплины КСЕ повышает качество и безопасность жизни человека, значительно расширяет кругозор не только в естественнонаучной, но и в других сферах духовной жизни человека. Она учит будущего специалиста понимать законы природы и общества и творчески применять их в условиях научно-технического прогресса для решения производственных, экономических, инженерных, управленческих и социальных проблем, исходя из позиций гуманизма.

Но проблема заключается в том, адаптация этого курса была выполнена на студентах-гуманитариях, и оказалась не очень удачной по ряду причин. Гуманитариям подчас ценностно чужд сам дух физико-математических наук, на которых базируются основные научные картины мира. Изложение курса КСЕ такому студенческому контингенту, поистине, требует от авторов учебников и от лекторов наивысших популяризаторских дарований. И это – помимо проблемы проблем жесткого и оптимального отбора совсем немногих тем на предмет массовой популяризации из нескольких тысяч частных дисциплин физики, химии и биологии. Последняя проблема проблем стоит перед авторами учебных курсов КСЕ в любом случае.

Неудивительно, что многолетние поиски концептуально-методического оптимума методом педагогических проб и ошибок не привели здесь к успеху. С одной стороны, книжный рынок теперь затоварен многочисленными учебными пособиями и учебниками по КСЕ. С другой стороны, это – чисто количественный рост. И он близится к переходу в новое качество – в отказ от дальнейших педагогических экспериментов с КСЕ и изъятие этой дисциплины из долговременного Государственного образовательного стандарта 3-го постсоветского поколения.

Как считают многие философы, профессора такое вызревающее решение представляется в корне ошибочным. После краха «диаматовской» мировоззренческой мифологии учебному курсу КСЕ просто нет никаких альтернатив в деле приобщения новых поколений отечественной интеллигенции к реальному научному мировоззрению. Наоборот, в настоящее время КСЕ требуется срочно вводить и в технических вузах. Знания из специальных естественнонаучных и технических дисциплин не образуют современного научного мировоззрения, в то время как научно-мировоззренческий курс для технических вузов не был предложен и не узаконен Государственным образовательным стандартом. Но здесь не надо придумывать ничего нового: достаточно лишь соответствующим образом адаптировать курс КСЕ [2, с. 283-284].

Сохранение и доведение до оптимальных концептуально-методических кондиций учебного курса КСЕ – это один из ключевых вопросов мировоззренческой безопасности России. За воинствующую псевдонаучную мировоззренческую мифологию наша страна в XX веке заплатила сполна. Вопросы современной мировоззренческой безопасности общества производны от вопросов методологической безопасности. Методология рационального человеческого мышления – это его рациональная научная самодисциплина. Она базируется на адекватном понимании его объективных законов и реальных возможностей. Поэтому в блоке базисных общих дисциплин высшей школы «методология первее мировоззрения» [2, с. 285].

Базисное значение курса логики ныне осознается не только учеными-гуманитариями, но также учеными-естественниками [3].

Может быть именно курс традиционной формальной логики и должен быть базисным, методологически окультуривающим мышление студентов независимо от профилей вузов?

В заключении статьи можно отметить, что поднятая дискуссия об усилении методологической, логической, научно-мировоззренческой и гуманистической подготовки инженерно-технических специалистов весьма актуальна и созвучна с проблемами образования в мировых интеграционных процессах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Московченко А. Д. Философия и методология науки: науч.-метод. пособие для асп. техн. ун-тов / А. Д. Московченко; Федер. Агентство по образованию; Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2006. – 103 с.

2. Абишев С. К. В защиту «Концепций современного естествознания» // Социальная политика и социология. – 2009. – № 2. – С. 282 – 291.

3. Сорина Г. В., Меськов В. С. Логика в системе культуры // Вопросы философии. – 1996. – № 2. – С. 56 – 76.

УДК 378.374:331.53

Л.Г. Рыбалкина, А.В. Феоктистов, М.Е. Калинин, Н.А. Каталкина

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк.

Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО «Кемеровский  
государственный университет», г. Новокузнецк

## О МОДЕЛИ ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКНИКОВ К ВЫХОДУ НА РЫНОК ТРУДА В ПОСТКРИЗИСНОЙ ЭКОНОМИКЕ

В статье приведены данные внедрения новой модели подготовки выпускников Сибирского государственного индустриального университета к выходу на рынок труда в посткризисной экономике.

The article describes the data of introducing of the new model of training of the Siberian State Industrial University graduates for labour market activities in postcrisis economy.

Несмотря на то, что рынок труда на исходе 2009 года стал проявлять признаки стабилизации, перемены, вызванные кризисом, отразились как на жизни общества в целом, так и в профессиональной сфере деятельности. И это не могло не сказаться на занятости населения такого индустриального центра Кемеровской области, как город Новокузнецк. По данным ГУ ЦЗН Новокузнецка, за 11 месяцев 2009 года в центр занятости населения в процессе поиска работы обратились более 35 тысяч жителей. Статус безработного получили 189000 человек, что в 3,1 раза больше, чем за тот же период предыдущего года. Работодатели известили городскую службу занятости о высвобождении в течение года 6900 работников. Из них три четверти работали до увольнения в сфере материального производства.

Среди значимых социально-экономических проблем, рожденных кризисом, по-прежнему актуален вопрос трудоустройства выпускников вузов. Мониторинг молодежного рынка труда ещё летом выявил трудности устройства выпускников на постоянную работу, к тому же значительно уменьшилось и число предложений по временной занятости. И поскольку на предприятиях оказалось лишним значительное количество своего собственного персонала, во весь рост встал вопрос «Как же трудоустроиваться «новоиспеченным» дипломированным специалистам?»

Решение проблемы трудоустройства выпускников УПО - это, конечно же, в первую очередь, задача государства – предоставить возможность реализации молодым специалистам их конституционные права на труд. В кризисной ситуации первую помощь молодому поколению оказала федеральная власть – 31 декабря 2008 года было принято Постановление

правительства РФ № 1089 «О предоставлении субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов РФ на реализацию дополнительных мероприятиях, направленных на снижение напряженности на рынке труда субъектов Российской Федерации».

В соответствии с ним, на территории Кемеровской области была разработана адресная целевая программа «Дополнительные мероприятия по содействию занятости населения, направленные на снижение напряженности на рынке труда Кемеровской области, на 2009 год». Согласно этой программе, власти региона определили меры по содействию занятости и обеспечению защиты от безработицы высвобождаемых работников, безработных граждан и выпускников образовательных учреждений, ищущих работу. Нетрудоустроившиеся выпускники могли быть заняты на общественных работах, могли получить материальное вспоможение, если открывали свое дело, а также им предоставлялась возможность пройти стажировку на предприятиях, в организациях в соответствии с полученной квалификацией.

Следует сказать, что острота проблемы трудоустройства выпускников такого технического вуза, как Сибирский государственный индустриальный университет, в городе с моноэкономикой была очевидна ещё в начальный период кризиса. Проектный семинар «Выпускник 2009», проведенный в Москве в январе текущего года Федеральным агентством по делам молодежи, подтолкнул коллектив Регионального учебного консультационно-методического центра профориентации и содействия трудоустройству выпускников «Карьера» к поиску новых подходов, новой модели подготовки к выходу на рынок труда выпускников.

Сотрудники центра разработали и внедрили в университете комплексную технологию содействия трудоустройству и профессиональному становлению выпускников. В соответствии с ней, на предвыпускном этапе в вузе на всех специальностях обучают студентов на занятиях учебной дисциплины «Основы планирования профессиональной деятельности» самопоиску работы, подготовке необходимых документов для трудоустройства, отрабатывают навыки самопрезентации для собеседования с работодателем. Но в кризисной ситуации потребовались другие меры, для поддержки выпускников, предупреждающие и смягчающие состояние личности, попавшей в сложную жизненную ситуацию в связи с профессиональной невостребованностью в период острой напряженности на рынке труда. Потребовалось в обычную модель подготовки выпускников внести дополнительно усилие информационно-правовой поддержки, введение профилактических мероприятий, усиление стрессоустойчивости. И специалисты центра «Карьера» разработали план антикризисных мероприятий. Основная цель плана - поиск новых форм сотрудничества с властью, общественными организациями, работодателями и посредниками на рынке труда – кадровыми компаниями и региональными службами занятости для помощи в трудоустройстве молодежи. План включал создание

«горячей линии» в системе on-line в разделе «Трудоустройство» на сайте университета, внедрение проектов «Управляй собой», тренинг «Антикризисное поведение», выпуск учебного фильма «Технология поиска работы и трудоустройства», встречи с посредниками на рынке труда, а также организацию стажировок на крупных предприятиях города Новокузнецка, в соответствии с адресной региональной целевой программой «Дополнительные мероприятия по содействию занятости населения, направленные на снижение напряженности на рынке труда Кемеровской области, на 2009 год» тех выпускников, кто не сможет трудоустроиться самостоятельно.

Реализуя намеченные мероприятия, сотрудники центра «Карьера» провели совместно с социальными партнерами, несколько циклов постоянно действующего семинара для молодежи «Правовые аспекты взаимодействия с работодателем», встречу с ведущими специалистами кадровой компании «Анкор», тренинги самоуправления в ситуации кризиса, разработали и внедрили специальную анкету выпускника вуза с целью совершенствования анализа соотношения прогноза и реального трудоустройства, выявления его проблем. Анкетирование выявило, что 169 человек из опрошенных совмещали работу и учебу, 25,2% имели гарантированное место работы. А более 82% респондентов собирались работать именно по специальности после завершения профессионального образования.

Но основным мероприятием антикризисного плана стала организация стажировки выпускников. Всего этим видом поддержки воспользовались в Новокузнецке 513 выпускников различных учреждений профессионального образования. Их них – 228 человек с высшим образованием. В их числе 82 выпускника Сибирского государственного индустриального университета: более 40 человек стажировались на предприятиях города, а 41 – в структурных подразделениях СибГИУ. Из анализа организации стажировки выпускников было усвоено несколько уроков:

- в 2009 году срок стажировки – 3 месяца, по мнению стажёров, мал;
- не стимулировалась работа наставников;
- помимо федеральных денег, выделенных правительством на поддержку выпускников в виде заработной платы, работодатель должен был вложить ещё и свои как компенсацию за неиспользованный отпуск стажерам;
- зарплата выпускников во время стажировки также недостаточна.

Выявлена была и типичная проблема в организации стажировки – иногда работодатель хотел бы использовать стажеров там, куда не хотят обычно трудоустроиваться работники, например, нагревальщиками или уборщиком горячего металла, при этом зарплата во время стажировки была значительно ниже установленной для этой рабочей должности более, чем в 2 раза. И получать специальное образование для такой работы не надо. Никаких необходимых навыков специалист не приобретал во время такой



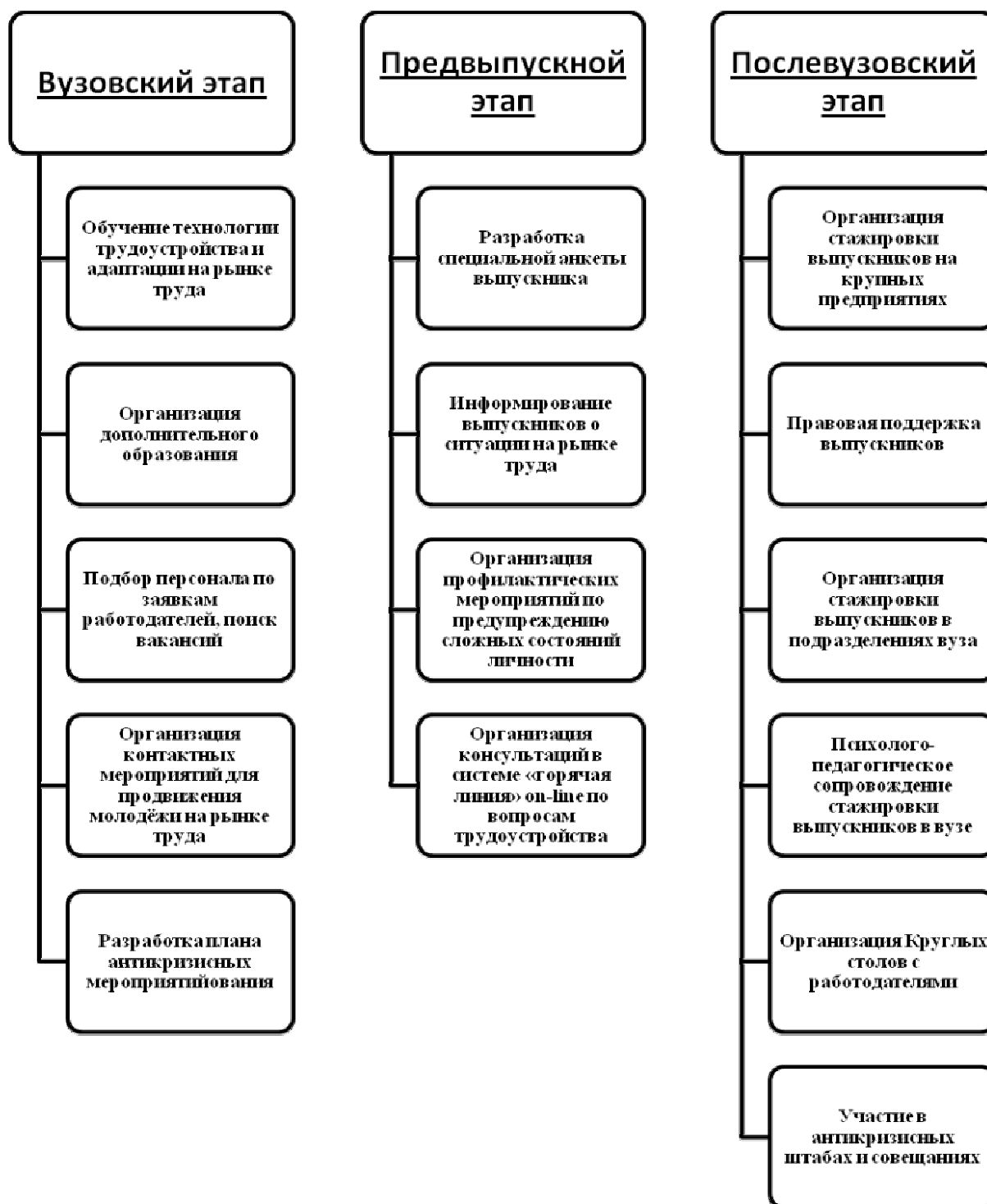
работы, поэтому молодые специалисты отказывались. Вот и пришлось нетрудоустроившихся выпускников брать на стажировку в подразделения университета.

Особенностью стажировки нетрудоустроившихся выпускников 2009 года в СибГИУ стало психолого-педагогическое сопровождение, включающее входное психодиагностическое тестирование стажеров, индивидуальные консультации, комплексный тренинг «Управляй собой» с целью профилактики стрессовых состояний выпускников, создание индивидуальных планов стажировки, постоянный контроль за ходом её. Так с начала организации стажировки сотрудники центра «Карьера» провели несколько организационных собраний как с самими стажерами, так и с руководителями структурных подразделений, в которые были направлены стажеры для приобретения опыта работы. В процессе стажировки были разработаны такие документы, как план, отчет стажировки, проведены методические консультации по организации деятельности специализированных служб содействия трудоустройству выпускников УПО города Новокузнецка. Важным аспектом в такой модели подготовки выпускников к действиям на рынке труда стало формирование позитивного настроения в молодежной среде.

Результаты внедрения этой модели подготовки выпускников отражены в следующих данных: в РУКМЦПСТВ «Карьера» за помощью в трудоустройстве обратились 105 выпускников 2009 года. На период 22 сентября из них 82 человека устроены на стажировку, 21 – на вакансии, заявленные работодателями, оказана психологическая поддержка 96 выпускникам, правовая – 12, других консалтинговых услуг представлено 126. В проекте задействовано 10 компаний-работодателей и одно учреждение профессионального образования.

К перечисленному выше можно добавить ещё один результат – получен опыт создания новой антикризисной технологии содействия трудоустройству выпускников см. рисунок 1.

Технология включает несколько этапов, способствующих организации профессионального старта молодых специалистов в нестандартной ситуации на рынке труда. Необходимо отметить, что реализация технологии выявила значительное увеличение объемов работы и расширение функциональных обязанностей сотрудников службы содействия трудоустройству выпускников. Данный опыт может быть использован в любом учреждении профессионального образования. И им коллектив центра «Карьера» уже поделился с коллегами, проведя региональный методический семинар для представителей учреждений профессионального образования Кемеровской области «Трудоустройство выпускников 2009 года: проблемы, задачи, пути решения».



**Рисунок 1 – Модель подготовки выпускников СибГИУ к выходу на рынок труда в посткризисной экономике**

УДК 378.146 : 811.1

Е.Г. Оршанская

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Дана характеристика формам контроля, используемым при изучении иностранного языка. Сформулированы принципы, значимые при реализации контроля. Представлены рекомендации по осуществлению контроля.

The characteristic of control's forms used during the process of foreign language learning is presented. Important principles of control's realization are formulated. The recommendations of carrying out the control are given.

Контроль усвоения знаний и уровня сформированности умений является обязательной составной частью учебного процесса. Под *контролем* принято понимать получение достоверной информации о качестве процесса обучения и результатах деятельности включенных в него субъектов, которая является основанием для регулирования и коррекции образовательного процесса /определение Н.М. Борытко, И.А. Соловцовой, А.М. Байбанова/ [1, с. 28]. Контроль включает выявление, измерение, качественный анализ и оценивание.

При обучении используются различные формы контроля. В таблице 1 представлены критерии для выделения соответствующих форм и приведены примеры.

Дадим краткую характеристику перечисленным в таблице 1 формам контроля, используемым при изучении иностранного языка. Наибольшее распространение получили устные и письменные проверки знаний и умений обучаемых, текущие, промежуточные и итоговые аттестации. Предварительные и повторные проверки применяются не очень часто, что затрудняет получение объективных данных об исходном уровне подготовленности обучаемых, не позволяет корректировать содержание учебной дисциплины, определять качество усвоения знаний после дополнительного разъяснения материала. Недооценка роли данных форм контроля препятствует организации компенсационного обучения, направленного на устранение пробелов в знаниях. Востребованными становятся электронный и программированный контроль, дающий возможность беспристрастного оценивания в сжатые временные сроки.

Преобладает внешний контроль, осуществляемый преподавателем; взаимоконтроль и самоконтроль используются эпизодически. Рассмотренные формы могут быть применены при выполнении стандартизированного контроля для проверки элементов обязательного содержания учебной программы. В качестве нестандартизированного контроля наиболее часто обращаются к рефлексии, которая включает анализ уже осуществленной деятельности с целью фиксации ее результатов и повышения ее эффективности в дальнейшем.

**Таблица 1 – Формы контроля обучения**

Критерии выделения форм контроля	Формы контроля
Характер получения информации	– устный, – письменный, – лабораторный;
Этап обучения	– предварительный, – текущий, – повторный, – промежуточный, – итоговый;
Средства контроля	– безмашинный, – электронный, – программированный;
Субъект осуществления контроля	– внешний, – взаимоконтроль, – самоконтроль;
Технология контроля	– стандартизированный, – нестандартизированный.

Организация контроля реализуется с учетом следующих принципов: обратной связи, объективности, всесторонности, эффективности. *Принцип обратной связи* обеспечивает внешний и внутренний контроль. Внешний контроль осуществляется преподавателем учебного заведения или внешним экспертом и позволяет оценить качество подготовки. Обучаемый, получающий не только оценку, но и соответствующие комментарии своих достижений, может сделать свои выводы о степени своей подготовленности, определить самостоятельно или с помощью преподавателя недостатки в имеющемся уровне и определить дальнейшие пути повышения качества своего образования. *Принцип объективности* предполагает непредвзятое, беспристрастное оценивание, выбор оптимальных условий, в которых осуществляется контроль, независимость суждений преподавателя от мнений руководства или других заинтересованных лиц, предъявление истинных

результатов измерения, что является основой для получения достоверных сведений о результативности процесса обучения. Реализация *принципа всесторонности* предполагает необходимость тщательного отбора содержания контрольных материалов, которые должны отражать основные компоненты подготовки. Необходима комплексная проверка учебной деятельности обучаемых, определение динамики их развития. Она должна охватывать все разделы учебной программы, обеспечивать полную проверку теоретических знаний и умений обучаемых. *Принцип эффективности* предполагает выбор такой методики проведения контроля, которая обеспечивает полную реализацию функций контроля при минимальных усилиях и средствах со стороны преподавателя. Результативный контроль должен быть осуществлен за короткое время с наименьшими затратами.

Комплексное применение данных принципов представляется возможным при осуществлении целенаправленного диагностирования и регулярного мониторинга при изучении иностранного языка, что позволяет определить исходный уровень владения обучаемыми общими коммуникативно-речевыми и билингвальными умениями, обеспечивает функционирование обратной связи, текущее наблюдение, своевременное выявление и коррекцию возникающих трудностей. Систематическое применение методически целесообразных форм контроля дает возможность выявить степень владения отдельными коммуникативно-речевыми умениями и коммуникативным поведением в целом, определить сильные и слабые стороны, проявляющиеся в процессе общения на иностранном языке и влияющие на достижение взаимопонимания. Разносторонний анализ результатов контроля, их обсуждение преподавателем и обучаемыми позволяют дать достоверную оценку уровню их подготовки, составить объективную характеристику обучаемых, сформулировать рекомендации по дальнейшему совершенствованию умений. Применение системы контроля обеспечивает получение самим обучаемым информации о прочности имеющихся умений, о трудностях и недостатках, появляющихся в процессе общения.

Особое значение отводится контролю как средству формирования положительного эмоционально-ценностного отношения к процессу и результату обучения, повышения мотивации учения. А.Н. Леонтьев отмечает, что для развития положительной устойчивой мотивации учебной деятельности важно, чтобы главным в оценке работы обучаемого был качественный анализ выполненных действий, подчеркивание всех позитивных моментов, продвижений в освоении учебного материала и выявление имеющихся недостатков, а не только их констатация [5, с. 178]. Этот качественный анализ должен направляться на формирование у обучаемых адекватной самооценки учебной работы, ее рефлексии. Балльная отметка должна занимать в оценочной деятельности преподавателя второстепенное место.

С.Р. Воробьева, основываясь на данных, полученных в ходе

исследования мотивационных стратегий поведения личности при изучении иностранного языка, подчеркивает значимость роли преподавателя при осуществлении контроля [2, с. 17]. При проверке и исправлении ошибок отмечается индивидуальный подход преподавателя, позволяющий скорректировать и направить усилия обучаемых в нужное направление с минимальными затратами.

М.Р. Кудаев указывает на необходимость опоры на успехи и достижения обучаемых в процессе формирования мотивационной сферы [4, с. 13]. Е.Н. Данилин, считая, что контроль в обучении является главным образом средством управления процессом усвоения знаний и умений, отмечает, что он должен быть строго дозированным, корректным, не принижать личности обучаемого [3, с. 14]. Его стимулирующая функция, проявляющаяся через поощрение, имеет большое значение для закрепления правильных мотивов отношения к учению и поведению обучающегося. Поддержанию стремления к познавательной деятельности способствуют частое указание на достигнутые успехи, заострение внимания на том, как следует делать, переживание радости успеха от достигнутых результатов.

Таким образом, наличие организованного контроля за процессом и результатами учебно-познавательной деятельности позволяет дисциплинировать обучаемых, приучать их к систематической работе, содействует формированию объективной самооценки, воспитанию ответственности и чувства собственного достоинства. Контроль положительно влияет на систематизацию и обобщение изучаемого материала, усиливает концентрацию внимания обучаемых на наиболее значимом и существенном.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борытко Н.М. Педагогические технологии : учеб. для студентов пед. вузов / Н.М. Борытко, И.А. Соловцова, А.М. Байбанов. – Волгоград : изд-во ВГИПК РО, 2006. – 59 с.
2. Воробьева С.Р. Мотивационные стратегии поведения личности при изучении иностранного языка : автореф. дисс. ... к.псих.н. / С.Р. Воробьева / Моск. гум. унив-т. – М., 2004. – 25 с.
3. Данилин Е.Н. Психологические основы стимулирования деятельности учащихся / Е.Н. Данилин // Среднее специальное образование. – 1983. – № 3. – С. 14 – 16.
4. Кудаев М.Р. Корректирующий контроль в учебном процессе. Проблемы и методы построения и реализации его системы : монография / М.Р. Кудаев. – Майкоп : Качество, 1997. – 195 с.
5. Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения / А.Н. Леонтьев. В 2-х т. – М. : Педагогика, 1983.

УДК: 378.147:34

Н.Е. Анохина, Э.С. Гершгорин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## НЕКОТОРЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ОБУЧЕНИЯ ПРАВУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

В статье рассматриваются возможности обучения студентов правовым дисциплинам с акцентом на их прикладное значение.

Possibilities of teaching students studying law disciplines with the preference to their applied meaning are being considered in this article.

Большинство россиян живет в благоустроенных городах, пользуясь различными научно-техническими изобретениями, существенно облегчающими жизнь.

Однако современный мир наполнен опасностями несколько не меньшими, чем, например, средневековый, только они приобрели иной характер. Расслабленные благами цивилизации, люди стали чересчур беспечны, неосторожны, утратили навыки поведения в экстремальных ситуациях и, более того - плохо знают действующее в стране законодательство, не умеют применять его нормы в конкретных жизненных ситуациях.

Результат всего этого: высокий травматизм и смертность людей; значительный рост уровня преступности; полное неумение значительного числа граждан защищать свои интересы законными способами и высокая виктимность их поведения. Как было установлено психологами и криминалистами, проанализировавшими более 800 уголовных дел, в 70 - 90% случаев жертвы преступлений вели себя виктимно, т.е. сами спровоцировали совершение преступления и поэтому правонарушители или освобождались судом от ответственности или приговаривались к более мягким (чем лишение свободы) видам уголовных наказаний. Множество людей стали жертвами мошенников, различных финансовых пирамид, поскольку плохо знали нормы гражданского законодательства и правила оформления документов. Так, например, только в Новокузнецке за последние 5 лет пострадавших от мошеннической деятельности финансово-кредитного кооператива "Гурьянин" насчитывается 12000 человек.

Поэтому жизненно необходимо обучать людей на всех стадиях образовательного процесса не только правоведению, но и основным прикладным его аспектам, для формирования у обучаемых, на базе усвоенных систем опорных знаний по российскому законодательству, способностей

по практическому применению изученных законов и иных нормативно-правовых актов в личной и профессиональной деятельности, составлению юридически значимых документов: заявлений, жалоб, договоров, исковых заявлений в суд и т.п. Изучение права с учетом специфики его прикладных аспектов будет совершенно по иному мотивировать интерес студентов к правовым дисциплинам. Отметим, что в теоретической части изучения права это не всегда удобно делать, зато на практике можно с успехом использовать задачи, тесты, упражнения, нацеленные именно на выработку у студентов правовых знаний прикладного характера. Кроме того, подобное реконструирование практических занятий поможет компенсировать недостаточное количество часов, которое отводится для изучения дисциплины "Правоведение", а также позволит изменить методику преподавания права с акцентом на прикладные аспекты, что сложно сделать в курсе лекций в силу недостаточности учебной нагрузки по данной дисциплине.

Так, например, в СибГИУ студентам старших курсов преподается дисциплина "Правоведение" в объеме 72 часов, включающая в себе лекции и практические занятия, причем половина этих часов отводится на самостоятельную работу. Количества аудиторной работы явно недостаточно, для освоения обучаемыми норм основных правовых актов действующих в стране из-за сложности их содержания. Было бы желательно увеличить количество часов в 2 - 3 раза и преподавать дисциплину с 1 по 4 курс непрерывно, путем постепенного усложнения материала, углубления правовых знаний по отдельным вопросам, изучения нового законодательства. Хотя следует заметить, что рассчитывать на увеличение учебной нагрузки по правоведению едва ли возможно, исходя из объективных обстоятельств. Поэтому изменение методики проведения практики с акцентом на прикладной аспект правового знания, поможет убрать этот недостаток. Кроме того, содержание учебной программы по праву целесообразно дополнить новыми темами, содержащими информацию по правовым вопросам, с которыми сталкиваются будущие специалисты в повседневной жизни и на работе. В частности, логично включить в курс "Правоведение" такие разделы, как: гражданско-процессуальное право, уголовно-процессуальное право, административно-процессуальное право, арбитражно-процессуальное право, международное частное право, налоговое право, основы виктимологии.

Именно в этих разделах исследуются проблемы поведения людей в конкретных правовых условиях, с точки зрения защиты прав личности в процессе взаимодействия гражданина с различными правовыми инстанциями (судом, прокуратурой, милицией, ГИБДД, налоговой инспекцией и т.д.). По-нашему мнению, преподаватель - правовед должен более подробно освещать следующие темы:



1. Система и источники права; понятие и виды правоотношений (Раздел 1. Теория государства и права). Обучаемым следует объяснить по какой схеме строится действующее российское законодательство, какие нормативно-правовые акты имеют большую и меньшую юридическую силу; с какого возраста и при каких условиях возникают у физических лиц права и обязанности, возможность вступать в договорные отношения, юридическая ответственность за правонарушения.

2. Государственное устройство РФ; правовой статус человека и гражданина; органы государственной власти и местного самоуправления (Раздел 2. Конституционное право). Студенты должны узнать каковы форма правления, форма государственного устройства и политический режим РФ; какие органы государственной власти и местного самоуправления функционируют в России, их сферы деятельности и круг полномочий (что создаст четкое представление о том, в какой орган власти следует обратиться для защиты своих законных прав и интересов в каждом конкретном случае). Обучаемым следует представлять какими конституционными правами и свободами они могут воспользоваться в той или иной ситуации, что за обязанности перед государством необходимо выполнять и каким образом осуществляется государством защита интересов своих граждан в России и за рубежом.

3. Субъекты и объекты гражданского правоотношения; право собственности; обязательства и договоры; наследственное право; защита прав потребителей (Раздел 3. Гражданское право). Преподавателю стоит подробно описать, какими правами и обязанностями и с какого момента наделяются физические и юридические лица в гражданских правоотношениях; научить студентов составлять простейшие гражданско-правовые договоры, жалобы, претензии; объяснить порядок приобретения и прекращения права собственности, наследства; особо подробно рассмотреть вопрос о способах и средствах защиты потребительских прав граждан в родном городе.

4. Порядок и условия заключения и расторжения брака; права и обязанности родителей и детей; алиментные обязательства членов семьи; ответственность по семейному праву (Раздел 4. Семейное право). Семья - ячейка общества и от того, как складываются отношения между людьми внутри этой ячейки, зависит уровень общей и правовой (в частности) культуры в РФ. Поэтому студентам нужно рассказать, на каких правовых основах строятся семейные отношения в России, в каком случае и на каких условиях может быть заключен брачный договор по поводу распределения имущественных прав и обязанностей в семье.

5. Понятие и содержание коллективного договора, индивидуального трудового договора; рабочее время и время отдыха; дисциплина труда; материальная ответственность сторон трудового договора; охрана труда; трудовые споры; обеспечение занятости населения (Раздел 5. Трудовое право). Труд - это основная сфера жизнедеятельности человека любой страны. Будущие специалисты должны знать порядок и условия трудоустройства в РФ, уметь составлять основные документы, применяемые в трудовых отношениях: трудовой договор, заявления, приказы, заполнять личную карточку и т.п. В связи с большим количеством нарушений трудовых прав граждан в нашей стране - осуществлять самозащиту своих прав законными способами и средствами.

6. Основания и порядок привлечения к уголовной ответственности; обстоятельства, исключающие преступность деяния; виды преступлений (Раздел 6. Уголовное право). Ввиду достаточно высокого уровня преступности в РФ, обучаемые обязаны четко представлять, как необходимо себя вести, чтобы не спровоцировать преступление своим поведением, одеждой, словами и т.п.; каким образом разрешается защищаться от преступного посягательства со стороны других лиц; какие деяния будут считаться преступными; права и обязанности правоохранительных органов в этой сфере.

7. Порядок и условия привлечения к административной ответственности; виды административных правонарушений и ответственность за них (Раздел 7. Административное право). Как показывает статистика жалоб и обращений в правоохранительные органы, органы государственной власти, к депутатам, ведущим телевизионных программ, наши граждане часто не имеют элементарных знаний о том, какие их действия (бездействие) считаются административными правонарушениями; как правильно и кем должен составляться протокол об административном правонарушении, в каких случаях допустимо задержание, личный досмотр и административный арест правонарушителя. Преподавателю следует подробно осветить перед студентами эти вопросы.

8. Экологическая ответственность физических и юридических лиц; виды экологических преступлений и проступков (Раздел 8. Экологическое право). Экологическая катастрофа - одна из серьезнейших угроз человечеству в XXI веке. Бездумное и не рациональное использование природных ресурсов, постоянное загрязнение окружающей природной среды токсичными отходами производства, пестицидами и агрохимикатами, замена естественных продуктов питания генномодифицированными и синтетическими, могут повлечь массовое заболевание и гибель людей, животных и растений на зараженных территориях. Поэтому к вопросам экологической ответственности за правонарушения лектор должен подходить особенно

внимательно, стремясь выработать у обучаемых правильное отношение к окружающей природной среде, привить им экологическую культуру поведения.

Уровень общей и правовой культуры граждан зависит, не в последнюю очередь, от качества начального, среднего и высшего образования в стране. Преподавание (надлежащим образом) дисциплины "Правоведение" способствует снижению преступности в стране, улучшению взаимоотношений между гражданами и органами государственной власти.

Отдельно следует остановиться на правовых основах инновационной деятельности вообще и студентов вузов в частности. Известно, что последнее время на самом высоком уровне власти проблемы инновационной деятельности ставятся достаточно часто. Поэтому вполне логично предположить, что инновационная деятельность в образовании будет обладать своей спецификой, которая требует правового закрепления. Однако, как показывает практика публикаций, многие ученые, говоря об инновационной деятельности, не вполне ясно понимают, что это такое. Целесообразно было бы, отталкиваясь от сути понятия "инновация", предложить студентам самостоятельно разобраться с понятием инновационного образования и правовыми условиями, которые его могут обеспечивать.

Вполне возможно, что правовое обеспечение авторского и смежных с ним прав, которые так важно изучать именно в вузах, могли бы органично включаться в систему инновационного права.

Таким образом, мы выделили только лишь некоторые аспекты прикладной нацеленности изучения правовых дисциплин, и, как нам представляется, это может начать изменять мотивацию студентов при изучении дисциплины "Правоведение".

УДК 378.6.147.:51

Ю.В. Ларченков-Казанович, Н.Б. Яновская

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

## ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Получение качественного образования студентами высших технических университетов основано на имеющемся качественном образовании выпускников средних учебных заведений, и математика играет при этом определяющую роль. В настоящее время большинство студентов первого курса – это «дети группы риска школьной дезадаптации», и потому полученные ими в средней школе знания не позволяют успешно заниматься в вузе. Знания по математике зависят от учебника, который используют в средней школе, и не соответствия объема учебной информации числу учебных часов, предназначенных для восприятия, понимания и закрепления данной информации. Студенты технических университетов должны получить фундаментальное математическое образование, научиться мыслить логически и доказательно, чтобы ими было трудно или невозможно манипулировать.

Getting a quality education by higher technical student is based on the quality of secondary school graduates. Mathematics plays an important part in it. At present most of the first – year students are «children of the risk group of school disadaptation». As for the knowledge they get at school does not make it possible to study well at higher school. Knowledge in mathematics depends on a school textbook and the number of classes in order to accept and strengthen the given date. The technical student should get fundamental mathematical education, think logically in order nobody could manipulate them.

Цель Болонской декларации, подписанной министрами образования двадцати девяти европейских государств, – повышение мобильности студентов и преподавателей, то есть «гармонизация» системы образования и, прежде всего, «гармонизация» высшего образования. «Гармонизация» означает «прозрачность» образования, то есть сравнимость высшего образования стран-участниц Болонского процесса. Логично возникает вопрос: «Какими окажутся результаты сравнения?», – так как прошедшее 10-летие со дня подписания декларации показывает, что задача повышения качества образо-

вания в нашей стране остается актуальной, и одна из причин такого состояния, по нашему мнению, заключается в сохранении форм и методов обучения. Необходимо, по нашему мнению, изменение технологии обучения в средней и высшей профессиональных школах.

Как показывает практика, традиционная система обучения, реализуя основные принципы классической педагогики, рассматривает обучаемого в качестве объекта внешнего воздействия при жесткой догматизации преподаваемых знаний и формальном вопросно-ответном методе обучения. Однако исчерпанность классической системы образования проявляется в неэффективности целей, содержания и форм обучения, неэффективности отдельных знаний и учебных предметов, а также школьно-урочных и лекционно-семинарских формах преподавания.

Традиционная методика обучения не в полной мере реализует цель научить студентов учиться и не акцентирует внимания на организации рефлексивной деятельности в учебно-познавательном процессе. В то же время известно, что выпускнику высшего учебного заведения необходима адекватная самооценка, развитая саморегуляция и склонность к саморазвитию, что определяет необходимость обладания тремя рефлексивными свойствами: саморегуляцией, самооценкой и готовностью к саморазвитию. Рефлексивное обучение непосредственно связано с продуктивным обучением, понимаемым как личностно-ориентированная деятельность, результатом которой является социально-полезный продукт, обладающий практической ценностью для самообразования.

Овладение приемами саморазвития и самообразования определяет переход от традиционной ЗУНовской модели образования к компетентностной, то есть переход от усвоения фиксированных учебных предметов к усвоению способов деятельности и способов мышления, что для выпускника технического университета означает обладание инженерными компетенциями. К моменту окончания высшей школы выпускник должен обладать сформированными профессиональными компетенциями, а при обучении на первом-втором курсах вуза должен научиться осуществлять «самоуправляемое обучение» и «способность применять знания для самостоятельного решения проблем».

Обсуждаемый переход к компетентностному образованию ни в коем случае не исключает знаниевого подхода, так как компетенции обучающихся основаны на знаниях обучающихся. Согласно «Стратегии модернизации общего образования» [1] понятие компетентности шире понятия «знание, умение, навык», но в любом случае компетентность основана на знаниях, и потому студент высшего учебного заведения вначале должен приобрести знания, а потом, используя свои знания, приобрести компетенции. Таким образом, основным вопросом высшей школы продолжает оставаться приобретение знаний студентами.

Получение качественного образования студентами высших технических университетов основано на имеющемся качественном образовании вы-

пускников средних учебных заведений, и математика при этом играет определяющую роль. Однако результаты единого государственного экзамена, который с каждым годом сдает все большее число выпускников средней школы, подтверждают, что система среднего образования уже не одно десятилетие находится в кризисном состоянии, хотя и обладает определенным запасом прочности. Запас прочности отечественного образования не безграничен, и, однажды проснувшись, можно оказаться «в стране без образования» (А. Запесоцкий).

Какие дети в настоящее время становятся учениками старших классов средней школы и студентами первых курсов высшей школы? По данным НИИ гигиены и профилактики заболеваний детей, опубликованным еще в 2001 году, это дети «группы риска школьной дезадаптации». Число таких детей среди поступающих в школу первоклассников на рубеже 90-х годов возросло до 60%, что привело к значительному росту сложности психологической квалификации состояния ребенка, так как появились новые варианты отклоняющегося развития. При более тщательной психологической диагностике у таких детей обнаруживается специфика развития когнитивной и эмоционально-волевой сферы, то есть неспособность к умственному восприятию и переработке внешней информации, что означает только одно – неспособность к овладению программным материалом средней школы. Результат – большинство детей с трудом адаптируется к школьной жизни: им свойственны повышенная истощаемость нервной системы и быстрая утомляемость. Темп и объем работы, количество детей в классе, продолжительность урока оказываются для них чрезмерными. В результате они быстро утомляются, у них значительно снижается работоспособность, появляются признаки отклонений в состоянии здоровья. Как следствие – они хуже работают на уроке, отвлекаются, не слушают объяснения учителя, часто главным в состоянии переутомления становится расторможенность, возбужденность или, наоборот, апатия. И то, и другое являются защитой от непосильных трудностей. Их обучение в общем потоке оказывается слишком трудным и для них самих, и для учителей, и для родителей. Как следствие – учителя констатируют несоответствие темпа прохождения программы возможностям обучаемых, констатируют, что большая часть информации не усваивается, что учащиеся недостаточно хорошо овладевают необходимыми навыками, не автоматизируют их. Дополнительные занятия в основной школе и так называемое репетиторство в старшей истощают ребенка еще больше. Суммарная нагрузка оказывается очень высокой, истощение ребенка влечет отрицательные сдвиги в состоянии его психического и физического здоровья. [2] И такие выпускники средних школ становятся студентами средних и высших профессиональных технических учебных заведений, где согласно учебной программе необходимо изучать курсы физики и математики таким образом, чтобы уметь использовать полученные знания при изучении специальных (соответствующих выбранной специальности) дисциплин. Однако знания, полученные в средней школе по математике, не позволяют большинству из

них заниматься успешно, так как к неспособности овладеть программным материалом средней школы добавлена зависимость получаемых знаний от учебника, используемого для изучения математики в данной конкретной школе – содержание учебного материала и число учебных часов для изучения каждой темы зависят от используемого учебника. Проведенный сравнительный анализ содержания учебного материала по математике в основной и старшей школах подтверждает этот вывод. [3]

При этом остаются неясными причины, объясняющие увеличение учебной нагрузки по математике на учащихся старших классов средней школы введением элементов дифференциального и интегрального исчисления, так как это не повлияло на содержание учебных программ по математике в вузов. Если невозможно вернуться к старым учебным программам по математике в старших классах общеобразовательной школы, то, по крайней мере, необходимо облегчить восприятие большого объема поступающей информации в средней школе и привести в соответствие программы средней и высшей школ.

При обучении студентов в техническом университете учебным предметом, определяющим качество знаний выпускника вуза, является математика, в связи с чем преподаванию математики должна быть отведена ведущая роль. Математика является основным учебным предметом для студентов на первом-втором курсах, и обучение математики должно основываться на принципах рефлексивного подхода, компетентностного подхода и на фундировании основных (базовых) учебных элементов, так как основой компетентности являются знания.

Технология обучения математике предполагает деятельность, направленную на осмысление поступающей информации, анализ этой информации и методов познания, осмысление своих и чужих действий и понимание окружающих, и потому должна основываться на рефлексивном обучении. При этом необходимо прислушаться к мнению известного автора учебников, задачников и методических пособий по математике И.Ф. Шарыгина, утверждавшего что «необходимо усилие фундаментальной подготовки выпускников наших школ. Принцип фундаментальности выдвигает на первое место именно математическое образование... Человек, получивший хорошее фундаментальное образование, гораздо быстрее приспособится к условиям современной жизни, сумеет найти в ней свое место, чем тот, кто поверхностно познакомился с многочисленными современными предметами, ... не понимая сути происходящих в них процессов».

И далее: «Для России очень важны стержневые школьные предметы... Одним из таких предметов является математика... А геометрия – это единственный школьный предмет, включая даже предметы математического цикла, полностью основанный на последовательном выводе суждений. Людьюми, понимающими, что такое доказательство, трудно и даже невозможно манипулировать».

Умению мыслить логически и доказательно необходимо учить как в средней школе, так и в высшей, и для этого необходимо учебное время. Что наблюдается в настоящее время? При увеличенном объеме поступающей информации (элементы векторной алгебры, производные и интегралы) сокращение учебных часов по математике до одного часа в неделю в старших классах общеобразовательных школ и при неизменных учебных планах, включающих те же элементы векторной алгебры, производные и исследование функций до четырех часов в неделю в технических университетах. Учение, не усвоивший учебный материал по математике в старших классах, не имеет возможности усвоить его и в высшей школе. Результат – учащиеся старших классов не умеют логически мыслить, сравнивать и логически доказывать, а лекции по математике в университете превращаются в бездоказательное перечисление теорем и бездоказательный вывод формул, то есть вместо умения мыслить и доказывать студенты переписывают справочник по математике. И так как проблемы качественного образования в высшей школе неразрывно связаны с проблемами математического образования в средней школе, то необходимо их решить совместно. Необходимо, по нашему мнению, привести в соответствие учебные программы по математике в средней и высшей школах, изменить технологию обучения и увеличить число учебных часов для практических аудиторных занятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия модернизации содержания общего образования. М., 2001.
2. Н. Казымова: «Дети группы риска школьной дезадаптации». Школа, 5/44, 2001.
3. Единый экзамен – цели и их достижение. Н.Б. Яновская, Г.Б. Яновский. Высшее образование сегодня. – 2006. – №10.



## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Сборник научных трудов «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» подготавливается к печати Сибирским государственным индустриальным университетом совместно с отделением металлургии горно-металлургической секции РАЕН.

В сборник могут быть представлены работы по направлениям:  
металлургия черных и цветных металлов и сплавов;  
порошковая металлургия, композиционные материалы и покрытия;  
физика металлов и металловедение;  
экономика, управление и экология на предприятиях;  
проблемы высшего образования;  
отклики, рецензии и биографии.

Рукописи статей, оформленные в соответствии с нижеизложенными требованиями, направляются в Сибирский государственный индустриальный университет.

К рукописи прилагаются:

разрешение ректора или проректора вуза на опубликование результатов работ;  
рекомендация соответствующей кафедры высшего учебного заведения или научного семинара академических институтов или отраслевых НИИ;  
рецензия, подготовленная специалистом, имеющим ученую степень, заверенная по месту работы рецензента,  
акт экспертизы, подтверждающей возможность опубликования работы в открытой печати;  
сведения об авторах (Ф.И.О. полностью, уч. степень, звание, вуз, служебный и домашний адрес, телефон).

Рукописи направляются в редакцию в одном экземпляре. Текст рукописи должен быть отпечатан на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 с полями 25 мм с каждой стороны. Объем статьи (включая аннотацию, иллюстрации, таблицы, библиографический список) не должен превышать 6-8 страниц машинописного текста, напечатанного через 1,5 интервала, размер шрифта 14 пт. Последнюю страницу рекомендуется занимать полностью.

Текст аннотации на русском и английском языке объемом порядка 1/4 страницы печатается через 1 интервал и помещается после заглавия статьи. Текст аннотации должен содержать только краткое описание публикуемого материала.

Иллюстрации представляются в одном экземпляре; они должны быть выполнены тушью на белой бумаге или кальке и скомпонованы на одном или двух стандартных листах формата А4 (с полным их заполнением). Размер иллюстрации (иллюстраций) вместе с наименованием, поясняющей надписью и номером не должен превышать 250×170 мм. Страницы, занятые

иллюстрациями, включают в общую нумерацию страниц.

Цифровой материал оформляется в виде таблиц, имеющих заголовки и размещаемых в тексте по мере упоминания. Не рекомендуется делить головки таблиц по диагонали и включать графу «№ п/п».

Перечень литературных источников должен быть минимальным. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, название статьи, полное название журнала, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборника – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название сборника, место издания, издательство, год издания, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипция, библиографическом списке фамилии авторов, название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

В начале статьи указывается индекс УДК (ББК). Название организации приводится полностью и размещается после фамилии авторов. Первая страница рукописи подписывается внизу всеми авторами статьи. Число авторов не должно превышать пяти; количество публикаций одного автора – не более двух в одном выпуске.

Для создания современного облика настоящего сборника, улучшения качества печати предусмотрен компьютерный набор. Поэтому, наряду с вышеуказанными документами и отпечатанными на бумаге статьями, в адрес редколлегии необходимо выслать дискету с текстом статьи, включая таблицы и подрисуночные подписи. Набор текстового файла осуществляется в редакторе *Microsoft Word for Windows (ver. 6.0, 7.0. 97, 2000)*. Графические объекты представляются в файлах (любого графического формата). При отсутствии такой возможности высылаются рисунки, выполненные тушью на бумаге, фотографии – в оригинале.

Сборник научных трудов реферируется в РЖ «Металлургия», зарегистрирован в Международном центре «Международной стандартной нумерации сериальных изданий (International standard serial numbering – ISSN)», ему присвоен ISSN 2073–2848. Дополнительная информация о сборнике научных трудов представлена на сайте СибГИУ <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Издательская деятельность».

Срок представления материалов для следующего выпуска «Вестника горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» – до 1 апреля 2010 г. Статьи направлять главному редактору по адресу: ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», 654007, г. Новокузнецк, Кемеровской обл., ул. Кирова, 42.

**Вестник горно-металлургической секции РАЕН.  
Отделение металлургии**

*Сборник научных трудов*

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Подписано в печать 13.01.2010 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 12,2 Уч.-изд.л. 13 Тираж 300 экз. Заказ 2

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Издательство СибГИУ