

Научный журнал

# ВЕСТНИК

Сибирского  
государственного  
индустриального  
университета

№ 3 (13), 2015

Основан в 2012 году  
Выходит 4 раза в год

## Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

## Редакционная коллегия

Е.В. Протопопов  
(главный редактор)  
М.В. Темлянцев  
(зам. главного редактора)  
С.В. Коновалов  
(отв. секретарь)  
П.П. Баранов  
Е.П. Волынкина  
Т.П. Воскресенская  
Г.В. Галевский  
В.Ф. Горюшкин  
В.Е. Громов  
Л.Т. Дворников  
С.М. Кулаков  
С.И. Павленко  
Т.В. Петрова  
Л.Б. Подгорных  
Е.В. Пугачев  
В.Ф. Соколова  
А.К. Соловьев  
А.В. Феоктистов  
В.Н. Фрянов  
В.П. Цымбал

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Якушевич Н.Ф., Козырев Н.А., Проводова А.А., Крюков Р.Е., Липатова У.И. Использование ковшевого сталеплавильного шлака при изготовлении сварочного керамического флюса.....3  
Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Соколова Е.В. Новиков Р.Е., Загребина А.А. Моделирование кинетики деформации и разрушения сваренных взрывом четырехслойных титано-стальных композитов.....6  
Феоктистов А.В., Модзелевская О.Г., Селянин И.Ф., Куценко А.И., Куценко А.А. Экспериментальное и аналитическое определение скорости движения дисперсных частиц по каналам слоя топлива.....9  
Павловец В.М., Герасимук А.В. Анализ технологии получения окатышей, включающей принудительное зародышеобразование, на основе расчета давления воздушно-шихтовой струи.....13

### ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

- Тетерина И.И. Остракоды плиоцена центральных и юго-западных районов степного Алтая.....18

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

- Живаго Э.Я., Михайленко Н.И. Решение технических задач с использованием принципа Даламбера.....22

### ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Школлер М.Б. Получение углерод-углеродных композитов.30

### АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

- Платонова С.В. Сопоставление результатов экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов с результатами расчетов, полученными при помощи программы «PLAXIS».....33

### ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Горбунова А.Р., Шипилова А.М., Семина И.С., Беланов И.П. Особенности технологии рекультивации в лесостепной зоне Кузбасса.....37

### ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Гун Г.С. Исследования Магнитогорского центра качества металлопродукции (Научный обзор).....40

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**Панова В.Ф., Панов С.А.** Исследование и разработка отвалов отходов энергетики для применения их в производстве строительных материалов.....48

## ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИКА

**Кабанова Г.М., Ложкина Ю.Ю.** Использование интерактивных методов обучения при формировании экологической культуры студентов вузов.....54  
**Панова В.Ф., Панов С.А., Камбалина И.В., Карпачева А.А.** Специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» – 20 лет .....56

## СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ

**Гафарова Д.А.** Социальное предпринимательство и проблема формирования предпринимательской компетенции студентов вузов.....60

## ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ

**Громов В.Е.** К 85-летию Панина Виктора Евгеньевича.....65  
**Рефераты**.....68  
**К сведению авторов**.....75

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации:  
**ПИ № ФС77-52991** от 01.03.2013 г.

**Адрес редакции:**  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова,  
42, Сибирский государственный  
индустриальный университет  
каб. 433 М  
тел. 8-3843-74-86-28  
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)  
e-mail: [redjizvz@sibsiu.ru](mailto:redjizvz@sibsiu.ru)

**Адрес издателя:**  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова,  
42, Сибирский государственный  
индустриальный университет  
каб. 336 Г  
тел. 8-3843-46-35-02  
e-mail: [rector@sibsiu.ru](mailto:rector@sibsiu.ru)

**Адрес типографии:**  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова,  
42, Сибирский государственный  
индустриальный университет  
каб. 280Г  
тел. 8-3843-46-44-02

**Подписные индексы:**  
Объединенный каталог «Пресса  
России» – 41270

Подписано в печать  
28.09.2015 г.  
Формат бумаги 60×88 1/8.  
Бумага писчая.  
Печать офсетная.  
Усл.печ.л. 4,5.  
Уч.-изд.л. 4,9.  
Тираж 300 экз.  
Заказ № 533.  
Цена свободная.

*Н.Ф. Якушевич, Н.А. Козырев, А.А. Проводова, Р.Е. Крюков, У.И. Липатова*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОВШЕВОГО СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ФЛЮСА\*

При сварке под флюсом широкое распространение получило использование керамических флюсов в виде крупки, получаемой при смешении шихты определенного состава и связующего с последующей грануляцией и прокалкой при соответствующих температурах. Керамические флюсы применяют преимущественно при наплавке, поскольку они позволяют легировать наплавляемый металл в широких пределах [1, 2]. Керамические флюсы отличаются высокой основностью, обеспечиваемой введением в них оксидов кальция, магния и их производных. Одним из недостатков керамических флюсов является использование в качестве компонентов первородных материалов, которые требуют предварительной подготовки, в частности, помола. В этой связи представляет интерес изучение возможности использования саморассыпающегося высокоосновного ковшевого шлака, получаемого при производстве стали рельсовых марок.

В настоящей работе экспериментально изучали возможность смешения саморассыпающегося высокоосновного ковшевого шлака с жидким стеклом. В опытах использовали ковшевой шлак, получаемый при производстве стали рельсовых марок и жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078 – 81, силикатный модуль 3,1 – 3,5). Химический состав ковшевого шлака, изготовленного флюса и шлаковой корки приведен в табл. 1.

Изучали возможность получения требуемой консистенции массы для приготовления флюса и сварочно-технологические свойства готового материала. Получение сформированной массы возможно при соотношении количества шлак и жидкое стекло 60 – 70 и 30 – 40 % соответственно, оптимальным признано соотношение 67 и 33 %.

Технология изготовления флюса включала в себя смешение шлака с жидким стеклом, выдержку в течение суток при комнатной температуре, сушку в печи в течение 4 ч при температуре 300 °С. После охлаждения флюс дробили и отсеивали на фракцию 0,4 – 2,5 мм.

Наплавку проводили на пластины из стали 09Г2С размером 250×500 мм толщиной 16 мм сварочным трактором АСАW-1250 с использованием сварочной проволоки марки Св-08А диам. 4 мм при различных режимах. Высота слоя флюса составляла 35 – 45 мм. Режимы наплавки изменяли в следующих пределах: сварочный ток 600 – 690 А; напряжение дуги 27 – 30 В; скорость сварки 21 – 30 м/ч.

В ходе исследования подобран оптимальный режим наплавки, обеспечивший получение во время сварки под флюсом стабильное горение дуги и хорошее качество шва (без наплывов, подрезов и пор).

Проведенный рентгенофазовый анализ шлака и флюса (табл. 2) на установке Дрон-2.0 показал, что основными минеральными составляющими шлака и флюса являются  $\gamma\text{Ca}_2\text{SiO}_2$ , алюминаты кальция  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ , силикат кальция  $\text{Ca}_6[\text{SiO}_4][\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ . Термогравиметрическому анализу подвергли образцы флюса и полученной сварочной корки (рис. 1, табл. 3).

Нагрев материалов осуществляли на воздухе со скоростью 10 °С/мин до 1500 °С, после этого делали выдержку (5 мин) для полного проплавления и охлаждали со скоростью 10 °С/мин до окончания кристаллизации, фиксируемой на кривых  $\Delta H$  и  $\Delta m$ . Исходная масса навески фракции 50 мкм составляла 50 мг.

В начале нагрева наблюдается увеличение массы ( $\Delta m$ ) материала: расчетные увеличения за счет окисления железа металлического до  $\text{FeO}$   $+\Delta m_{\text{ф}} \approx 0,1$  мг (0,2 %) и  $+\Delta m_{\text{кор}} \approx 0,35$  мг (0,7 %), за счет частичного окисления сульфидной серы ( $\text{FeS}$ ,  $\text{CaS}$ ) до сульфатной при 100 % окислении серы  $+\Delta m_{\text{ф}} \approx 1,3$  мг (2,6 %) и  $+\Delta m_{\text{кор}} \approx 1,8$  мг (3,6 %); фактическое увеличение массы флюса составило 0,7 мг (1,4 %), корки – 1,3 мг (2,6 %).

\* Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/к.

При испытании, исследовании и измерении было использовано оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ.

Состав анализируемых материалов

Материал	Содержание, %, компонента											
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaF <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	FeO	Fe <sub>общ</sub>	C	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S
Ковшевой шлак	36,20	40,10	4,50	8,00	4,70	4,00	0,16	0,1	0,68	0,54	0,05	0,58
Флюс	35,85	37,43	4,60	8,80	4,85	3,35	0,16	2,0	0,34	0,33	0,05	0,66
Шлаковая корка	34,93	35,85	4,67	8,79	5,23	4,04	0,16	0,2	1,24	0,32	0,05	0,92

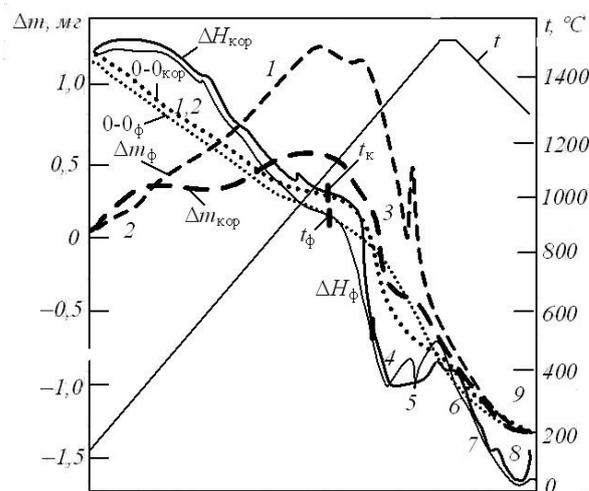
Эти процессы сопровождаются экзотермическим эффектом, сравнимым по величине с эндотермическим эффектом плавления материалов (2) (площади между кривыми  $\Delta H$  и кривой 0-0).

Плавление в обоих случаях начинается при нагреве до 1200 °С (точки  $t_{\phi}$ ,  $t_k$ ) и заканчивается при 1450 °С. Образование легкоплавких жидких эвтектик при 1200 °С приводит к образованию на поверхности твердых частиц жидких пленок. Процесс плавления сопровождается потерей массы материала флюса 1 мг (2 %) и корки 2 мг (4 %), что обусловлено интенсивной дегазацией за счет диссоциации оксидов железа, серы, окисления углерода, уменьшения растворимости азота. Удаление газов через образовавшиеся пленки вязкого расплава с разрывом пузырей и выбросами мелкодисперсного материала приводит к режиму «кипения» и вибрации, что фиксируется на гравиметрических кривых в виде пиков практически в течение всего времени плавления. На кривых  $\Delta H$  видно, что процесс плавления протекает в две ступени: на первом этапе при температурах 1200 – 1300 °С плавятся легкоплавкие эвтектики (4), на втором (1300 – 1460 °С) более тугоплавкие соединения (5).

При охлаждении также можно выделить три этапа: кристаллизация тугоплавких соеди-

нений (1460 – 1400 °С), кристаллизация вдоль пограничных кривых (1400 – 1300 °С), эвтектическая кристаллизация (1300 – 1260 °С).

Полученные температуры плавления исследуемого материала соответствуют требуемым для успешного осуществления процесса сварки температурным интервалам плавления сварочных флюсов.



Термогравиметрический анализ флюса и сварочной корки (кривые 0-0 разделяют области экзотермических и эндотермических процессов):  
—, --- и ..... —  $\Delta H$ ,  $\Delta m$  и кривые 0-0 флюса; —, --- и ..... —  $\Delta H$ ,  $\Delta m$  и кривые 0-0 корки

Таблица 2

Результаты рентгенофазового анализа исследуемых материалов

Материал	Содержание			
	много	присутствуют	немного	примеси
Шлак	$\gamma\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	$\text{Ca}_6[\text{SiO}_4][\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$	MgO, CaF <sub>2</sub> , Ca <sub>2</sub> Mg[Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ]	Na <sub>2</sub> CaSiO <sub>4</sub> Рентгеноаморфное вещество
Флюс	$\gamma\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	$\text{Ca}_6[\text{SiO}_4][\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ Рентгеноаморфное вещество	MgO, CaF <sub>2</sub> , Ca <sub>2</sub> Mg[Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ]	Примеси

**Сравнительный термографический анализ флюса и корки (числитель и знаменатель)**

Процесс		$t_n, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$\pm\Delta m, \text{мг}$
Номер	Название			
1	Окисление Fe до FeO, (Fe, Ca)S до MeSO <sub>4</sub>	20/20	960/970	+1,2/+0,6
2	Адсорбция N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	20/20	250/350	+0,2/+0,3
3	Дегазация	1000/1100	1300/1300	-1,0/-1,3
4	Плавление эвтектик	1210/1320	1200/1280	-1,0/-0,8
5	Плавление сложных оксидов	1300/1250	1420/1450	-0,7/-0,4
6	Кристаллизация тугоплавких соединений	1500/1480	1380/1460	-0,4/-0,2
7	Двухфазная кристаллизация	1380/1310	1380/1310	-0,2/-0,2
8	Кристаллизация эвтектик	1310/1300	1310/1300	-

**Выводы.** Изучено поведение в процессе нагрева и охлаждения получаемых при производстве стали рельсовых марок саморассыпающихся высокоосновных ковшевых шлаков, изготовленных из них сварочных флюсов и образовавшихся в процессе сварки шлаковых корок. Установлено, что плавление начинается при 1210 °С и протекает в два этапа. Эвтектические смеси проплавляются при 1210 – 1300 °С, тугоплавкие соединения – при 1300 – 1450 °С. Кристаллизация шлаков при охлаждении протекает в обратной последовательности и заканчивается при 1300 °С. Показана принципиальная возможность использования ковшевого шлака сталеплавильного производства для изготовления флюса. В результате экспериментов подобрано оптимальное соотношение количеств ковшевого шлака и жидкого стекла для изготовления керамического флюса, а также режимы сварки, обеспечивающие получение во время сварки под флюсом стабильное горение дуги и хорошее качество шва. Разработана технология изготовления керамическо-

го флюса при соотношении ковшевого шлака и жидкого стекла 67 и 33 %. Подобран оптимальный режим наплавки для флюса: ток сварки 680 А; напряжение дуги 27 В, скорость сварки 30 м/ч.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сварочные материалы для дуговой сварки. Справочное пособие. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Б.П. Конищев, С.А. Курланов, Н.Н. Потапов и др. / Под общ. ред. Н.Н. Потапова – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
2. П о д г а е ц к и й В.В., Л ю б о р е ц И.И. Сварочные флюсы. Учебник. – Киев: Техника, 1984. – 167 с.

© 2015 г. Н.Ф. Якушевич, Н.А. Козырев,  
А.А. Проводова, Р.Е. Крюков,  
У.И. Липатова

Поступила 23 апреля 2015 г.

УДК 62-419.5: 620.172.224:519.876.5

*Л.М. Гуревич, Ю.П. Трыков, Е.В. Соколова, Р.Е. Новиков, А.А. Загребина*

Волгоградский государственный технический университет

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ СВАРЕННЫХ ВЗРЫВОМ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ТИТАНО-СТАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ\***

Развитие энергетики, ракетно-космической и криогенной техники требует разработки технологий получения титано-стальных композитов с гарантированными служебными свойствами в условиях высоких давлений, нагрузок, низких и повышенных температур. Традиционные способы сварки (плавлением или прокаткой) сопровождаются нагревом границы раздела металлов до температур, приводящих к образованию интерметаллидов и карбидов титана и в результате к резкому падению прочности и пластичности слоистых композиционных материалов. При оптимальных режимах быстротечного процесса сварки взрывом не развиваются диффузионные процессы, и в полученных титано-стальных композитах отсутствуют хрупкие включения. Однако при последующих эксплуатационных нагревах свыше 600 °С возможно возникновение на границе раздела металлов интерметаллидных прослоек, поэтому для таких титано-стальных конструкций целесообразно использование композитов с промежуточными прослойками между титаном и сталью, исключающих или уменьшающих интенсивность диффузионных процессов [1, 2].

Введение медно-ниобиевой прослойки в титано-стальную композицию ОТ4-1 (ВТ1, ВТ6С)+Nb+Cu+2X18H10T расширяет оптимальный диапазон сварки и обеспечивает высокую стабильность механических свойств соединения после сварки взрывом и последующих кратковременных (до нескольких часов) нагревов до 1000 °С по сравнению с допустимыми 500 – 600 °С для биметалла ОТ4-1+12X18H10T. Оплавленные участки в таких соединениях обладают удовлетворительной пластичностью и имеют сравнительно низкую микротвердость (2,0 – 2,5 ГПа соединение Nb+Cu; 2,0 – 2,3 ГПа сталь 12X18H10T+Nb; 1,8 – 2,0 ГПа соединение сталь Ст3+Cu). Введение мягких прослоек должно снижать прочность композита. Однако при уменьшении толщин Cu (или медных сплавов) и Nb (кото-

рые обычно характеризуют относительной толщиной  $\chi = h/d$ , где  $h$  – толщина прослойки,  $d$  – диаметр испытываемого образца) из-за реализации эффекта контактного упрочнения при нагружении [3] обеспечивается равнопрочность соединения основному металлу (титану или стали) и за счет вовлечения последнего в пластическую деформацию значительно повышается деформационная способность соединения в целом. Для расчета прочности сваренных взрывом композиционных материалов с мягкими прослойками разработаны расчетно-графические методы, учитывающие соотношение прочностных характеристик (пределов прочности и текучести) составляющих композита [4]. В последние годы повышение вычислительных возможностей компьютерной техники позволило для моделирования поведения многослойных композитов использовать пакеты компьютерных программ, основанных на методе конечных элементов.

Целью настоящей работы была проверка возможности моделирования методом конечных элементов поведения четырехслойного титано-стального композиционного материала с мягкой прослойкой в условиях растяжения при нормальной температуре и 300 °С. Для верификации модели использовались ранее полученные результаты испытания образцов титано-стального композита при нормальной температуре [5].

Возможность моделирования процессов растяжения цилиндрического образца diam. 6 мм четырехслойного титано-стального композита ВТ6+ниобий ВН2+медь М1+сталь 12X18H10T методом конечных элементов проверялась с использованием модуля Abaqus/Explicit программного комплекса SIMULIA/Abaqus компании Abaqus, Inc. (USA), использующего явную схему интегрирования для сильно нелинейных переходных быстротекущих динамических процессов. Расчет проводился с использованием модели Мизеса. Прочность связей между слоями соответствовала прочности менее прочного элемента пары. Размер стороны кубической ячейки конечно-элементной сетки в сплаве ВТ6 и стали

\* Исследование выполнено за счет гранта научного фонда (проект № 14 – 19 – 00418).

12X18H10T выбирался равным 0,04 мм, что обеспечивало достаточную точность и приемлемое время проведения расчетов. В прослойках ниобия ВН2 и меди М1 размер ячейки в радиальном направлении выбирался 0,04 мм, а толщина принималась равной 40 ячейкам. Для сокращения времени моделирования использовалась осевая симметрия цилиндрического тела и рассчитывались деформации в радиальном сечении. Толщина прослойки меди варьировалась от 6 ( $\chi_{Cu} = 0,25$ ) до 0,3 мм ( $\chi_{Cu} = 0,05$ ) при толщине ниобия 0,6 мм ( $\chi_{Nb} = 0,1$ ).

Для расчета упрочнения материалов в результате пластического деформирования использовали для ниобия кривую упрочняемости при различных температурах [6], а для других материалов модель Джонсона–Кука [7], согласно которой предел текучести можно определить по формуле

$$\sigma_Y = \left( A + B \varepsilon_p^n \right) \left( 1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \left[ 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right],$$

где  $A$  – предел текучести неупрочненного материала;  $B$  – коэффициент упрочнения при деформировании;  $\varepsilon_p$  – эффективная пластическая деформация;  $T_m$  – температура плавления;  $T_r$  – комнатная температура;  $C$  – коэффициент зависимости упрочнения от скорости деформирования;  $n, m, \varepsilon_0$  – параметры модели;  $\dot{\varepsilon}_0$  и  $\dot{\varepsilon}_p$  – первые производные по времени величин  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_p$ .

Эта формула по сути представляет собой семейство кривых деформирования материала при различных температурах и скоростях деформирования. Значения параметров для выбранных материалов приведены в таблице. В связи с низкой скоростью деформирования ( $\dot{\varepsilon}_p$  менее  $0,0025 \text{ c}^{-1}$ ) ее влияние не учитывалось.

Моделируемая скорость растяжения образца 0,01 мм/с.

Проведенное моделирование показало изменение характера деформирования и формирования напряжений Мизеса в основных слоях композиции при варьировании относительной толщины мягкой прослойки (рис. 1). При нормальной температуре и деформации образца 5 % максимальные напряжения Мизеса наблюдались в титановом сплаве вблизи линии соединения с ниобием. Увеличение толщины мягкой прослойки меди приводило к ее преимущественной деформации при одной и той же суммарной деформации образца и снижению напряжений в слоях титана и стали. Увеличение температуры моделирования до 300 °С вызывало снижение напряжений при той же величине деформации образца. При малых толщинах медной прослойки (0,3 и 0,6 мм) в деформацию активно вовлекается слой стали.

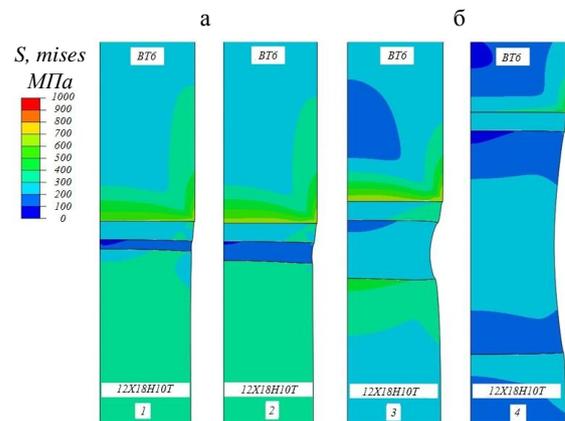


Рис. 1. Изменение характера распределения напряжений Мизеса в основных слоях и мягких прослойках в композите ВТ6+ВН2+М1+12Х18Н10Т (осевая суммарная деформация 5 %) при температурах 20 °С (а) и 300 °С (б) при варьировании  $\chi_{Cu}$ :  
1 –  $\chi_{Cu} = 0,05$ ; 2 –  $\chi_{Cu} = 0,1$ ; 3 –  $\chi_{Cu} = 0,25$ ; 4 –  $\chi_{Cu} = 1,0$

### Использованные коэффициенты для модели пластичности Джонсона – Кука

Материал	Коэффициенты для модели пластичности Джонсона – Кука [6]						
	A, МПа	B, МПа	m	n	$\dot{\varepsilon}_0, \text{ c}^{-1}$	$T_m, \text{ К}$	$T_r, \text{ К}$
Медь [7]	90	292	1,090	0,310	1	1356	293
Сталь 12X18H10T [8]	305	1161	0,517	0,61	1	1773	293
Титановый сплав ВТ6 [9]	968	380	0,577	0,421	1	1940	293

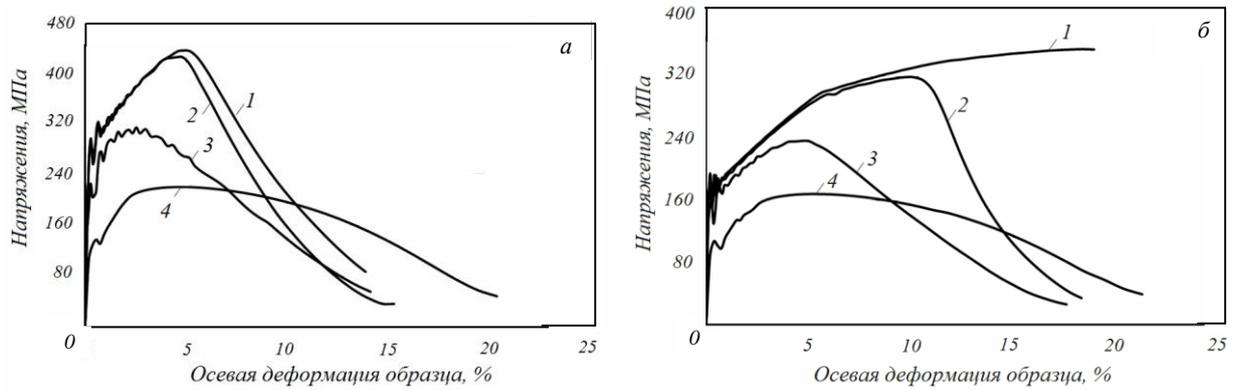


Рис. 2. Расчетные диаграммы растяжения для композита ВТ6+ВН2+М1+12Х18Н10Т при температурах 20 °С (а) и 300 °С (б) для различных  $\chi_{Cu}$ : 1 –  $\chi_{Cu} = 0,05$ ; 2 –  $\chi_{Cu} = 0,1$ ; 3 –  $\chi_{Cu} = 0,25$ ; 4 –  $\chi_{Cu} = 1,0$

Полученные при моделировании кривые напряжения – деформация ( $\sigma = f(\epsilon)$ ) при растяжении композита ВТ6+ВН2+М1+12Х18Н10Т с различными относительными толщинами медной прослойки  $\chi_{Cu}$  приведены на рис. 2. Уменьшение толщины медной прослойки до 0,3 мм позволяет повысить предел прочности до 435 МПа при комнатной температуре и до 350 МПа при 300 °С.

Зависимость деформации ячеек вдоль оси образцов с относительной толщиной медной прослойки  $\chi_{Cu} = 0,05$  от общей деформации составного образца при комнатной температуре и 300 °С показаны на рис. 3. При нормальной температуре основная деформация локализуется в стали 12Х18Н10Т, при повышении температуры преимущественное падение предела текучести меди вызывает деформацию, в основном, медной и ниобиевой прослоек.

Полученные результаты указывают на необходимость тщательного подхода к выбору толщины технологической прослойки меди в четырехслойном композите ВТ6+ВН2+М1+12Х18Н10Т, включая математическое моде-

лирование поведения изделия из композиционного материала при возможных схемах нагружения, для обеспечения необходимого запаса пластичности материала в условиях эксплуатации. Уменьшение толщины медной прослойки до 0,3 мм позволило переносить деформацию на слой стали 12Х18Н10Т при комнатной температуре, но для повышенных температур необходимы меньшие толщины медной прослойки.

**Выводы.** Методами конечно-элементного моделирования подтверждено, что уменьшение относительной толщины медной прослойки в четырехслойном композите ВТ6+ВН2+М1+12Х18Н10Т приводит к росту его прочности при нормальной температуре с постепенным перемещением локализации пластической деформации с меди М1 (при  $\chi_{Cu}$  от 1,0 до 0,1) на сталь 12Х18Н10Т (при  $\chi_{Cu} = 0,05$ ). Повышение температуры испытаний до 300 °С приводит к локализации деформации в медной и ниобиевой прослойках даже при  $\chi_{Cu} = 0,05$ .

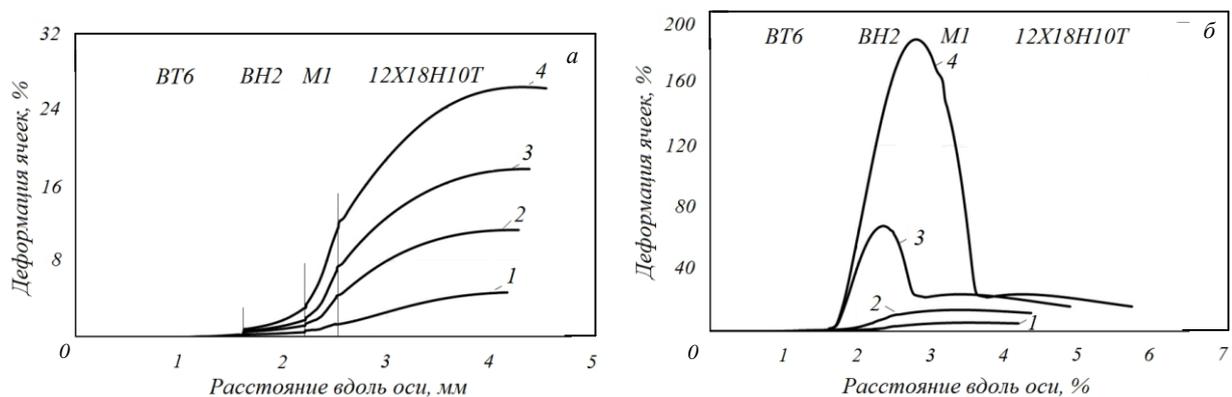


Рис. 3. Расчетная диаграмма распределения деформации ячеек вдоль оси образца в слоях композита ВТ6+ВН2+М1+12Х18Н10Т при температурах 20 °С (а) и 300 °С (б) с относительной толщиной медной прослойки  $\chi_{Cu} = 0,05$ : 1, 2, 3 и 4 – средняя относительная деформация образца 2, 5, 8 и 11 %

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Шморгунов В.Г. Титано-стальные композиты и соединения. – Волгоград: изд. ВолгГТУ, 2013. – 344 с.
2. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Кусков Ю.Н., Киселев О.С., Богданов А.И. Расчет прочности сваренных взрывом композиционных соединений с механически неоднородными мягкими прослойками // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 3. С. 11 – 14.
3. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Проничев Д.В. Композиционные переходники. – Волгоград: РПК «Политехник», 2007. – 328 с.
4. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Кусков Ю.Н., Самарский Д.С., Киселев О.С., Богданов А.И. Прочность свариваемых взрывом соединений с композитными прослойками // Конструкции из композиционных материалов. 2009. Вып. 4. С. 17 – 25.
5. Трыков Ю.П., Белоусов В.П., Гуревич Л.М., Рогозин В.Д., Писарев С.П. Исследование кинетики деформации и разрушения сваренных взрывом четырехслойных титано-стальных композитов // Деформация и разрушение материалов. 2007. № 8. С. 31 – 37.
6. Sia Nemat-Nasser, Weiguo Guo. Flow stress of commercially pure niobium over a broad range of temperatures and strain rates // Materials Science and Engineering A284 (2000). Pp. 202 – 210.
7. Johnson G.R., Cook W.H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures // Proceedings of the 7th Int. Symp. on Ballistics. 1983. Pp. 541 – 547.
8. Chandrasekaran R. M'Saoubi H. Chazal, Modelling of material flow stress in chip formation process from orthogonal milling and split Hopkinson bar tests // Machining Science and Technology. (2005). № 9. Pp. 131 – 145.
9. Li L., He N., A FEA study on mechanisms of saw-tooth chip deformation in high speed cutting of Ti-6Al-4V alloy, in: Fifth International Conference on High Speed Machining (HSM), Metz, France, 14–16 March 2006. Pp. 759 – 767.

© 2015 г. Л.М. Гуревич, Ю.П. Трыков,  
Е.В. Соколова, Р.Е. Новиков, А.А. Загребина  
Поступила 22 июня 2015 г.

УДК 621.745.34:662.87

*А.В. Феоктистов, О.Г. Модзелевская, И.Ф. Селянин, А.И. Куценко, А.А. Куценко*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО КАНАЛАМ СЛОЯ ТОПЛИВА

Пылеугольное топливо в доменном процессе используют уже порядка 50 лет. Практика его применения показала экономическую эффективность такого вида топлива в сравнении с другими заменителями кокса – природного газа и мазута.

В ваграночной плавке пылеугольное топливо не применяют, хотя технология процесса намного проще. С экономической точки зрения проблема использования этого топлива в ваграночном процессе заслуживает внимания

исследователей технологического и теоретического направлений специализации.

Установлено [1], что дисперсные частицы должны сгореть в пределах кислородной зоны для получения максимального теплового эффекта. Угольные частицы, попадая в восстановительную зону, где нет свободного кислорода, механически взаимодействуют со шлаком, изменяют его физико-механические свойства и удаляются из печи вместе с ним.

Время выгорания угольной частицы не должно быть больше времени  $\tau$  ее пролета по кислородной зоне, которое связано со скоростью движения зависимостью

$$\tau = \frac{H_{к.з.}}{v_{\tau}}, \quad (1)$$

где  $H_{к.з.}$  – высота кислородной зоны;  $v_{\tau}$  – скорость движения твердой частицы по каналам слоя кокса топливной насадки.

Скорость дисперсных твердых частиц в канале различного диаметра определяется формулой

$$v_{\tau} = v - v_{о.пр}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость несущего газового потока;  $v_{о.пр}$  – относительная предельная скорость частиц.

Эффективный диаметр  $d_{эф}$  каналов в слое кускового топлива (кокса, антрацита) связан со средним размером  $d_{к}$  куска зависимостью

$$d_{эф} = d_{к} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \cdot \frac{1}{f}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – порозность слоя;  $f$  – геометрический коэффициент формы фрагмента слоя.

Для слоев кокса как правило  $\varepsilon = 0,5$  и  $f = 2,86$ , для антрацита  $\varepsilon = 0,4 - 0,5$  и  $f = 3,17 - 3,5$ .

Предельная скорость отставания мелкодисперсных частиц ( $v_{о.пр}$ ) от скорости газового потока описывается выражением [2]

$$v_{о.пр} = v_{в} \sqrt{1 + K_{ст}}, \quad (4)$$

где  $v_{в}$  – скорость витания частиц;  $K_{ст}$  – критерий, учитывающий взаимодействие частиц со стенкой канала и их столкновение с кусками топлива.

Выражение для  $v_{в}$  получают из условия равенства веса частицы и ее аэродинамического сопротивления восходящему потоку:

$$\frac{1}{6} \pi d_3^3 (\rho_{\tau} - \rho) g = C_f^* \frac{\pi d_3^2 \rho v_{в}^2}{4}, \quad (5)$$

где  $d_3 = d_{\tau} f_{\tau}^{-0.5}$  – эквивалентный диаметр частицы;  $d_{\tau}$  – средний геометрический размер частицы;  $f_{\tau}$  – коэффициент формы твердой частицы (для угольной пыли  $f_{\tau} = 1,62 - 2,58$ );  $\rho_{\tau}$  и  $\rho$  – плотности твердой частицы и газа;  $C_f^*$  – эффективный коэффициент аэродинамического сопротивления,

$$v_{в} = \sqrt{\frac{4 (\rho_{\tau} - \rho) g d_3}{3 \rho C_f^*}}. \quad (6)$$

Выражения (5), (6) выведены для стационарного движения газозвеси, когда  $\frac{dv_{\tau}}{d\tau} = 0$ ,  $v_{\tau} = \text{const}$ , где  $\tau$  – время.

В реальных условиях движения пылеугольного топлива по каналам слоевой засыпи эффективный коэффициент  $C_f^*$  следует представить в виде произведения

$$C_f^* = C_{ш} C_f E_{\beta}^{-2}, \quad (7)$$

где  $C_{ш}$  – коэффициент сопротивления шара;  $C_f$  – поправка к коэффициенту сопротивления, учитывающая отклонение геометрии поверхности частицы от сферы;  $E_{\beta}$  – поправка, учитывающая стесненность движения частиц в канале или концентрацию пылеугольного топлива в газозвеси.

Для шара в переходной области обтекания, когда  $3 < Re_{\tau} < 400$ , аэродинамический коэффициент сопротивления определяется по формуле [3]

$$C_{ш} = \frac{24}{Re_{\tau}} + \frac{4}{Re_{\tau}^2}, \quad (8)$$

где  $Re_{\tau} = \frac{v_{о.пр} d_3}{\nu}$  – критерий Рейнольдса;  $\nu$  – кинематическая вязкость газа.

Для частиц с большим коэффициентом формы  $f > 1,5$  (для пылеугольного топлива  $f = 1,62 - 2,58$ ) автомобильный режим наступает при  $Re_{\tau} \geq 50$ . В этом режиме имеем [2]

$$C_f = 5,31 - 4,88 f_{\tau}^{-1} \quad (9)$$

Поправка  $E_{\beta}$  для всех режимов обтекания шаров описывается выражением [4]

$$E_{\beta} = \frac{(1-\beta)^{4,75} (18 + 0,61 \sqrt{Ar_{\tau}})}{18 + 0,61 \sqrt{Ar_{\tau}} (1-\beta)^{4,75}}, \quad (10)$$

где  $\beta$  – объемная концентрация частиц;  $Ar_{\tau} = \frac{g(\rho_{\tau} - \rho) d_3^3}{\rho v^2}$  – критерий Архимеда; величина  $\beta$  определяется выражением  $\beta = \frac{\mu_{\tau}}{\rho_{\tau}} \text{м}^3 / \text{м}^3$ , где  $\mu_{\tau}$  – удельная концентрация частиц, кг/м<sup>3</sup>.

Критерий  $K_{ст}$ , входящий в формулу (4), выражается через падение давления в слое ( $\Delta P_T$ ), обусловленным взаимодействием твердых частиц в потоке со стенками канала [2]:

$$K_{ст} = \frac{\Delta P_T}{\beta H P_T g}, \quad (11)$$

где  $H$  – высота канала или слоя топлива.

Величина  $\Delta P_T$  входит в общее выражение потерь напора. В первом приближении потери давления суммируются по правилу аддитивности:

$$\Delta P_{общ} = \Delta P + P_T + \Delta P_{п}, \quad (12)$$

где  $\Delta P$  – потери давления, обусловленные движением только газового потока;  $\Delta P_{п}$  – потери давления, определяемые подъемом всей газосмеси на высоту  $H$ .

Потери давления  $\Delta P$  определяются по уравнению Эгона:

$$\Delta P = \psi \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{H}{d_s} \frac{T_g}{273} \frac{P_0}{P} \frac{\rho v_0^2}{2}, \quad (13)$$

где  $\psi = 3,61 + 300/Re$  – коэффициент сопротивления;  $Re = vd_s/\nu$ ;  $T_g$  – температура газового потока;  $P_0$  и  $P$  – давление газа при нормальных условиях и в условиях экспериментальной установки или в шахтной печи;  $v_0$  – скорость газа в пустой трубе (шахте).

Потери давления  $\Delta P_{п}$  для восходящих потоков газозвеси составят [5]

$$\Delta P_{п} = 2F_{г}\mu_v, \quad (14)$$

где  $F_{г} = \frac{gd_s}{v^2}$  – критерий Фруда;  $\mu_v = \mu v/v_T$  –

удельная истинная концентрация,  $\frac{\text{кг/с пыли}}{\text{кг/с газа}}$ ;

$\mu$  – удельная расходная концентрация,  $\frac{\text{кг/с пыли}}{\text{кг/с газа}}$ .

Связь параметров  $\mu_T$  и  $\mu$  дается формулой

$$\mu = \frac{\mu_T}{\rho}. \quad (15)$$

В эксперименте определяют  $\Delta P$  и  $\Delta P_{общ}$ , продувая слой топлива вначале без пылеугольного топлива, затем в газовый поток добавляют дисперсную твердую составляющую и фиксируют значение  $\Delta P_{общ}$  при различной

величине  $\mu_T$ . Из выражения (11) неизвестная величина  $\Delta P_T$  определяется разностью

$$\Delta P_T = \Delta P_{общ} - (\Delta P + \Delta P_{п}). \quad (16)$$

Окончательно скорость твердых частиц определяется по выражению (2) с использованием формул (3), (6), (7), (8), (10).

Ниже дан численный расчет скорости твердых дисперсных частиц методом последовательных приближений. Блок-схема расчета приведена на рис. 1. На основе алгоритма создана программа расчета скорости твердых дисперсных частиц в среде C++ Builder.

Исходные данные:  $v_0 = 2,0$  м/с;  $\varepsilon = 0,5$ ;  $d_T = 10^{-4}$  м;  $f_T = 2,0$ ;  $\nu = 15,03 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\mu_T = 14$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho = 1,2045$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_T = 1,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; температура дутья  $t_d = 20$  °С. В результате расчета получили:  $v = 4,0$  м/с,  $v_T = 2,4$  м/с. Получены значения скорости движения твердой частицы в зависимости от ее среднего геометрического размера. Результаты вычислений приведены ниже и отражены в виде графика на рис. 2:

$d_T, \text{ м}$	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-6}$
$v_T, \text{ м/с}$	0,27	1,25	2,40	2,83	3,58	3,76	3,95

**Выводы.** В результате расчета выявлена зависимость скорости движения твердой частицы по каналам слоя кокса топливной насадки от среднего геометрического размера частицы. Увеличение размера твердой частицы приводит к уменьшению скорости ее движения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Я р о ш е в с к и й С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. – М.: Металлургия, 1988. – 176 с.
2. Г о р б и с З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков. – М.: Энергия, 1970. – 424 с.
3. Л е в и н Л.М. Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 225 с.
4. Г у п а л о Ю.П. О некоторых закономерностях псевдооживленного слоя и стесненного падения // ИФЖ. 1962. № 2. С. 105 – 108.
5. Д з я д э н о А.М., К е м м е р А.С. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1967. – 272 с.

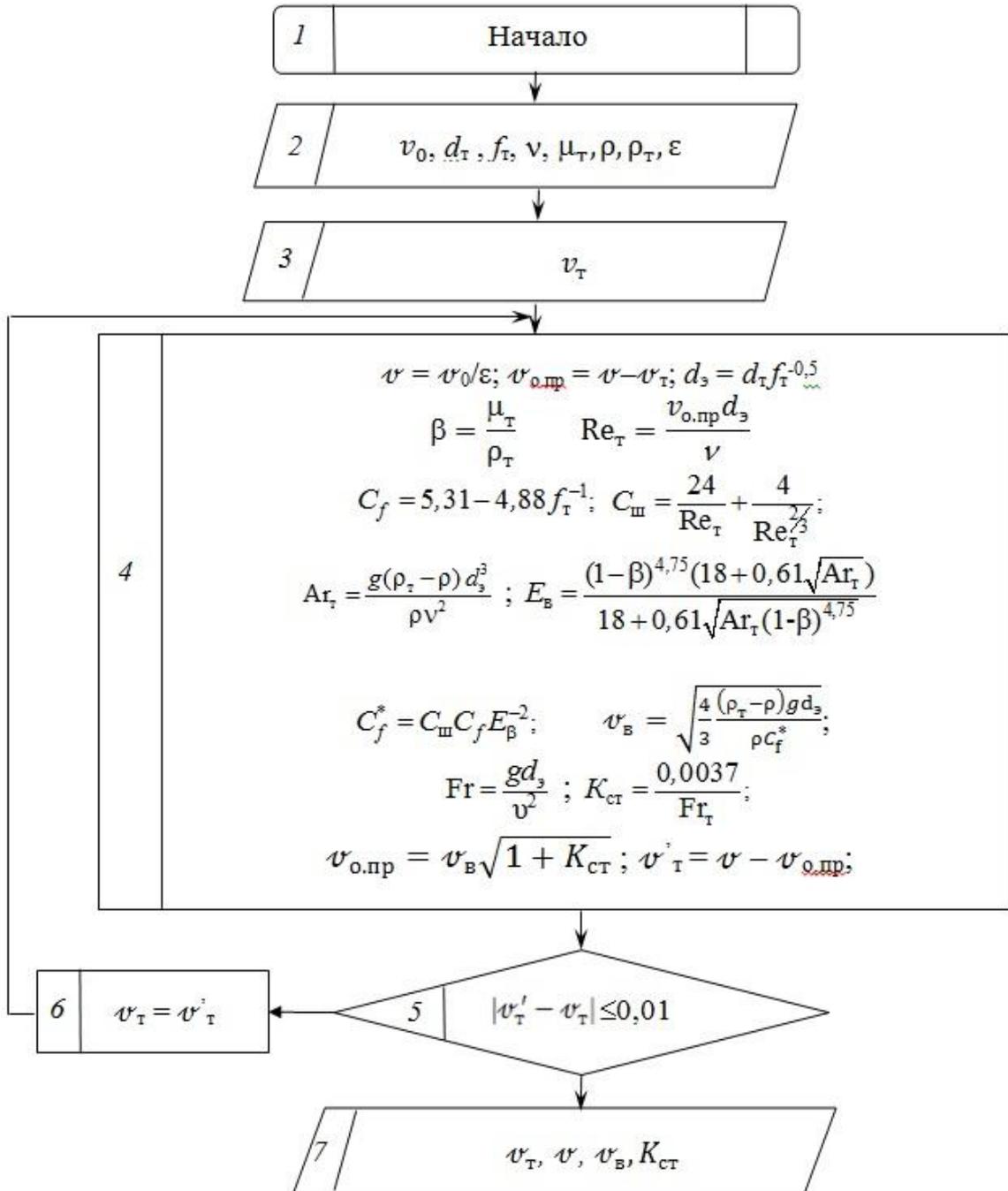


Рис. 1. Блок-схема расчета скорости движения твердой дисперсной частицы по каналам слоя топлива

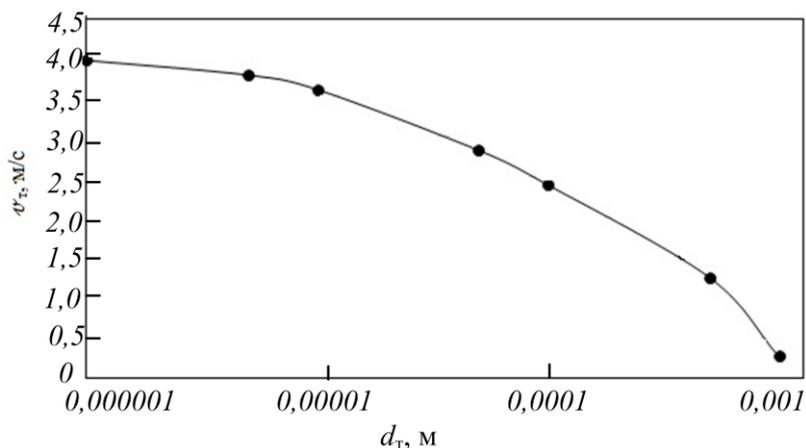


Рис. 2. График зависимости скорости движения твердой частицы по каналам слоя кокса топливной насадки от среднего геометрического размера частицы

© 2015 г. А.В. Феоктистов,  
 О.Г. Модзелевская, И.Ф. Селянин,  
 А.И. Куценко, А.А. Куценко  
 Поступила 21 мая 2015 г.

УДК 621.745

**В.М. Павловец, А.В. Герасимук**

Сибирский государственный индустриальный университет

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЕ, НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОШИХТОВОЙ СТРУИ**

Технология получения сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает две основные стадии: формирование зародышей теплосиловым напылением влажной шихты на гарнисаж холостой зоны тарели и формирование оболочки окатышей доокомкованием зародышей в рабочей зоне окомкователя. Для этого загружаемую шихту расходом  $G_T$  (производительность агрегата) делят на два потока: поток шихты с расходом  $G_{ш}$ , необходимый для принудительного зародышеобразования, и поток шихты с расходом  $G_{об}$ , направляемый к зародышам для формирования оболочки окатышей. Для получения зародышей в струйный аппарат (СА) диаметром  $d_{СА}$  загружают влажную шихту расходом  $G_{ш}$ , кг/с. В корпусе СА она ускоряется сжатым воздухом, нагретым до температуры  $t_b$ , °С, который подается под давлением  $P_b$ , кПа, через воздушное сопло, распо-

ложенное на оси СА. На выходе из СА формируется воздушношихтовая струя (ВШС), которая при взаимодействии с шихтовым гарниса-

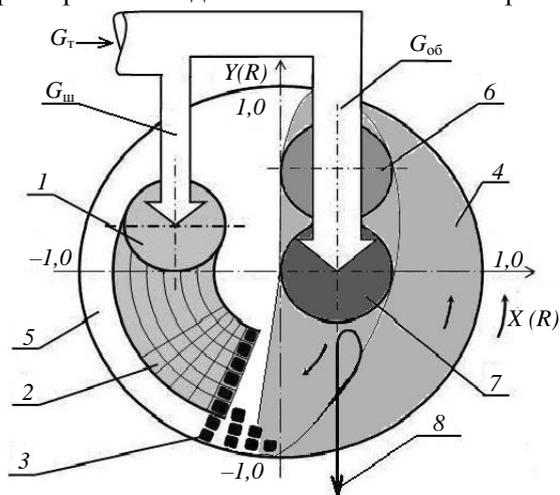


Рис. 1. Схема получения окатышей способом принудительного зародышеобразования:

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

жем окомкователя оказывает давление  $P_{\text{вщс}}$ , кПа, на влажную шихту (рис. 1) [1 – 3].

Целью работы является анализ технологии получения окатышей, базирующейся на принудительном зародышеобразовании. За основу взят расчет давления ВШС и построение номограммы для его определения с использованием входных параметров струйного процесса. В расчете использовали известное уравнение, согласно которому среднее давление ВШС, называемое удельной силой удара (далее давление)  $P_{\text{вщс}}$ , Па, на произвольно ориентированную поверхность шихтового гарнисажа определяется по выражению [4]

$$P_{\text{вщс}} = (\zeta J \sin \beta / F) - P_{\text{г}}, \quad (1)$$

где  $\zeta$  – коэффициент потерь импульса;  $J$  – импульс ВШС (сила давления струи), Н;  $F$  – поперечное сечение ВШС в области напыления шихты на шихтовом гарнисаже, м<sup>2</sup>;  $\beta$  – угол атаки ВШС к гарнисажу, градус;  $P_{\text{г}}$  – геометрическое (Архимедово) давление нагретого воздуха в ВШС, Па.

Импульс ВШС рассчитывали по формуле

$$J = W_{\text{вщс}} G_{\text{вщс}}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{вщс}}$  – скорость истечения ВШС из сопла струйного аппарата, м/с;  $G_{\text{вщс}}$  – массовый расход в СА, кг/с.

За основу расчета скорости истечения ВШС из струйного аппарата с цилиндрической камерой смешения был взят закон сохранения импульса [5]:

$$W_{\text{вщс}} = \varphi (G_{\text{в}} W_{\text{в}} + G_{\text{ш}} W_{\text{ш}} + \int P df) / (G_{\text{в}} + G_{\text{ш}}), \quad (3)$$

где  $\varphi$  – коэффициент потерь давления воздушно-шихтовой смеси в корпусе СА из-за трения [5];  $G_{\text{в}}$  и  $G_{\text{ш}}$  – массовые расходы воздуха и шихты, кг/с, их суммированием определяли  $G_{\text{вщс}}$ ;  $W_{\text{в}}$  и  $W_{\text{ш}}$  – скорости истечения воздуха из воздушного сопла и шихты из приемного бункера СА, м/с;  $\int P df$  – интеграл импульса по боковой поверхности СА (для цилиндрической камеры смешения  $\int P df = 0$  [5]).

Учитывая, что  $G_{\text{в}} = G_{\text{ш}} / \mu$ , где  $\mu$  – отношение массового расхода шихты к массовому расходу воздуха в воздушно-шихтовой смеси (массовая концентрация) [4], получим

$$W_{\text{вщс}} = \varphi (W_{\text{в}} + W_{\text{ш}} \mu) / (1 + \mu). \quad (4)$$

В расчетах приняли, что скорость истечения шихты в приемном патрубке СА не превышала 0,5 м/с.

Скорость истечения воздуха из воздушного сопла СА определяли по уравнению Сен-Венана [5]

$$W_{\text{в}} = \Omega \left[ \frac{2K}{K-1} \right]^{1/2} \frac{RT_{\text{в}}}{P_{\text{в}}} \left( 1 - \left( \frac{P_0}{P_{\text{в}}} \right)^{(K-1)/K} \right)^{0,5}, \quad (5)$$

где  $\Omega$  – коэффициент скорости (для канала конической сходящейся формы с односторонним углом конусности 6° величина  $\Omega = 0,96$ ; для канала цилиндрической формы  $\Omega = 0,82$  [5]);  $K$  – показатель адиабаты (для влажного воздуха  $K = 1,32$  [5]);  $R$  – универсальная газовая постоянная (для воздуха  $R = 287$  Дж/(кг·К));  $T_{\text{в}}$  – температура воздуха на выходе из сопла, К;  $T_{\text{в}} = t_{\text{в}} + 273$ ;  $P_0 = 101,325$  кПа – давление окружающей среды;  $P_{\text{в}}$  – давление воздуха на выходе из сопла, кПа.

Давление  $P_{\text{в}}$  и температура воздуха  $t_{\text{в}}$  являются основными входными параметрами струйного процесса. Коэффициент потерь  $\varphi$  учли в расчете через вычисление потерь скорости ВШС в корпусе СА:

$$\Delta W_{\text{вщс}} = W_{\text{вщс}}^0 [0,5 \lambda_{\text{в}} (1 + \varphi_0 \mu) (\rho_{\text{в}} / \rho_{\text{вщс}}) \times (L_{\text{СА}} / d_{\text{СА}}^0)^{0,5}], \quad (6)$$

где  $W_{\text{вщс}}^0$  – скорость ВШС без учета потерь на трение, м/с;  $\lambda_{\text{в}}$  – коэффициент гидравлического трения воздуха о стенки СА;  $\varphi_0$  – эмпирический коэффициент, учитывающий концентрацию дисперсной фазы в воздушно-шихтовом потоке [4];  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{вщс}}$  – плотность ВШС в корпусе СА;  $L_{\text{СА}}$  и  $d_{\text{СА}}^0$  – длина и диаметр корпуса СА, м ( $L_{\text{СА}} / d_{\text{СА}}^0 = 5$ ).

Коэффициент гидравлического трения воздуха о стенки СА определяли по формуле А.Д. Альтшуля [4]

$$\lambda_{\text{в}} = 0,11 \left\{ \left( \frac{k}{d_{\text{СА}}^0} \right) + \left( \frac{68}{\text{Re}} \right) \right\}^{0,25}, \quad (7)$$

где  $k$  – шероховатость металлической стенки СА, м;  $\text{Re}$  – число Рейнольдса.

Плотность ВШС в корпусе СА определяли по выражению

$$\rho_{\text{вщс}} = (G_{\text{ш}} + G_{\text{в}}) / (V_{\text{в}} + V_{\text{ш}}), \quad (8)$$

где  $V_{\text{ш}}$  – объемный расход шихты, м<sup>3</sup>/с, который определяли экспериментально по времени

истечения шихты из загрузочного бункера известного объема.

С учетом параметра  $\mu$  формула (8) приобретает следующий вид:

$$\rho_{\text{вшс}} = (\mu G_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}} + \rho_{\text{в}} G_{\text{ш}}) / \mu (G_{\text{ш}} + G_{\text{ш}} / \mu). \quad (9)$$

Расход шихты задавали от 0,036 до 6,036 кг/с с шагом в 0,5 кг/с.

Поперечное сечение ВШС  $F$ ,  $\text{м}^2$ , в области напыления шихты на гарнисаж окомкователя определяли по уравнению

$$F = \pi \{d_{\text{сА}} + 2L \operatorname{tg}(\alpha / 2)\}^2 / 4, \quad (10)$$

где  $\alpha$  – угол раскрытия струи, градус;  $d_{\text{сА}}$  – диаметр выходного сечения сопла СА, м;  $L$  – расстояние от среза сопла СА до шихтового гарнисажа окомкователя, м.

В расчетах давления ВШС и построения номограммы использовали безразмерное расстояние струи  $L/d_{\text{сА}}$ .

Угол раскрытия струи вычисляли по эмпирическому выражению

$$\alpha = 10^{-4} \mu^2 - 0,1156 \mu + 20,118. \quad (11)$$

В расчетах учитывали, что пропускная способность СА по расходу шихты зависела от диаметра сопла струйного аппарата и находилась в следующем соотношении:

$G_{\text{ш}} = 0,036$  кг/с при  $d_{\text{сА}} = 0,02$  м;  $G_{\text{ш}} = 0,63$  кг/с при  $d_{\text{сА}} = 0,06$  м;

$G_{\text{ш}} = 1,53$  кг/с при  $d_{\text{сА}} = 0,10$  м;  $G_{\text{ш}} = 3,036$  кг/с при  $d_{\text{сА}} = 0,20$  м.

Геометрическое давление нагретого воздуха учитывали в расчетах при встречном совпадении вектора силы ВШС и подъемной силы воздуха на вертикальной оси ВШС. Его вычисляли по формуле

$$P_{\text{г}} = L_1 [\rho_{\text{ос}} - \{ \rho_0 / (1 + \alpha t_{\text{ос}}) \}] + L_2 \cdot [\rho_{\text{ос}} - \{ \rho_0 / (1 + \alpha t_{\text{с}}) \}], \quad (12)$$

где  $L_1 = 4,4 d_{\text{сА}}$  и  $L_2 = L - L_1$  – длины начального и основного участков ВШС, м;  $\rho_{\text{ос}}$  и  $t_{\text{ос}}$  – плотность и температура окружающей среды,  $\text{кг}/\text{м}^3$  и  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{с}}$  – среднемассовая температура воздуха в ВШС,  $^{\circ}\text{C}$ ; индекс «0» соответствует нормальным физическим условиям.

Среднемассовую температуру воздуха в ВШС определяли по следующей формуле:

$$t_{\text{с}} = (t_{\text{в}} - t_{\text{ос}}) [0,7 / \{0,159 (L_{\text{с}} / d_{\text{сА}}) + 0,29\}] + t_{\text{ос}}, \quad (13)$$

где  $L_{\text{с}}$  – расстояние от среза сопла СА до точки нахождения среднемассовой температуры воздуха в ВШС, м.

Расстояние  $L_{\text{с}}$  определяется по аналогии с известным выражением, позволяющем определить центр масс сложной фигуры [6]:

$$L_{\text{с}} = (A_1 L_{\text{с1}} + A_2 L_{\text{с2}}) / A, \quad (14)$$

где  $L_{\text{с1}}$  – расстояние от среза сопла до точки нахождения среднемассовой температуры начального участка струи, м;  $L_{\text{с2}}$  – расстояние от начала основного участка струи до точки среднемассовой температуры этого участка, м;  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A$  – площади осевого сечения начального участка, основного участка и всей ВШС (по оси  $L$ ),  $\text{м}^2$ .

Площади  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A$  определяли по формулам

$$A_1 = 0,5 (d_{\text{сА}} + D_1) L_1; A_2 = 0,5 (D + D_1) L_2; \\ A = 0,5 (d_{\text{сА}} + D) L; \quad (16)$$

здесь  $D_1$  и  $D$  – диаметры струи на расстоянии  $L_1$  и  $L$  от среза сопла, м, их можно определить, используя формулу (10).

Расстояние  $L_{\text{с1}}$  определяется по аналогии с известным выражением, позволяющем определить центр масс равнобедренной трапеции [6]:

$$L_{\text{с1}} = (d_{\text{сА}} + 2D_1) L_1 / [3(d_{\text{сА}} + D_1)]. \quad (17)$$

Параметр  $L_{\text{с2}}$  находится по аналогии с известным выражением определения центра масс плоской фигуры переменной плотности [7]:

$$L_{\text{с2}} = [ \int \int X \rho(X, Y) dS ] / [ \int \int \rho(X, Y) dS ]; \quad (18)$$

здесь  $X$  и  $Y$  – текущие координаты ВШС по осям  $L$  и  $D$ ;  $\rho(X, Y)$  – функциональная зависимость плотности воздуха от температуры на текущих координатах,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , имеющая следующий вид:

$$\rho(X, Y) = \rho / [1 + \alpha \{ (t_0 - t_{\text{ос}}) \times \\ \times (0,7 / 0,159 X / d_{\text{сА}} + 0,29) (1 - (2Y / D)^{1,5}) \} ]. \quad (19)$$

С учетом формулы (19) выражение (18) примет вид

$$L_{\text{с2}} = [ \int_{L_1}^L \int_a^b [ X \rho_0 / [1 + \alpha \{ (t_0 - t_{\text{ос}}) \times \\ \times (0,7 / 0,159 X / d_{\text{сА}} + 0,29) (1 - \\ - (2Y / D)^{1,5}) \} ] dX dY ] / [ \int_{L_1}^L \int_a^b [ \rho_0 / [1 + \\ + \alpha \{ (t_0 - t_{\text{ос}}) (0,7 / 0,159 X / d_{\text{сА}} + \\ + 0,29) (1 - (2Y / D)^{1,5}) \} ] dX dY ], \quad (20)$$

где  $R = D/2$  – наибольший радиус струи, м;  $a$ ,  $b$  – пределы интегрирования;  $b = R + R_1 + (C - L_1) \operatorname{tg}(\alpha / 2)$ ;  $a = R - R_1 - (C - L_1) \operatorname{tg}(\alpha / 2)$ .

В формулах (18) – (20)  $X$  и  $Y$  соответствуют текущим значениям  $L$  и  $D$ .

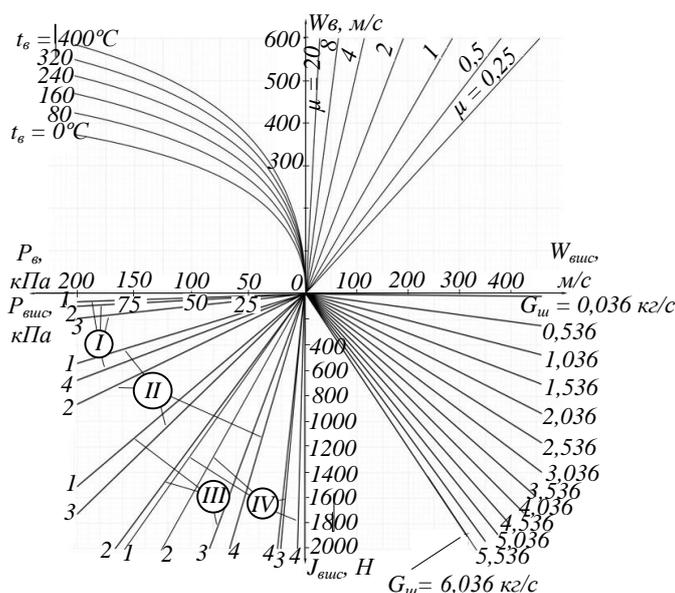


Рис. 2. Номограмма для выбора давления ВШС и диаметра СА при заданных параметрах струйного процесса:  
 $I - d_{CA} = 0,02$  м,  $II - d_{CA} = 0,06$  м,  $III - d_{CA} = 0,1$  м,  $IV - d_{CA} = 0,2$  м;  
 $1 - L/d_{CA} = 1$ ;  $2 - L/d_{CA} = 2$ ;  $3 - L/d_{CA} = 4$ ;  $4 - L/d_{CA} = 10$

Расчеты выполняли с использованием программы Microsoft Exel 2013 и пакетов программ компьютерной алгебры RTC MathCAD Prime 3.0 и Maple 17. Результаты расчетов в виде номограммы, позволяющей определить давление ВШС по входным параметрам струйного процесса ( $P_в$ ,  $t_в$ ,  $\mu$ ,  $G_ш$ ,  $d_{CA}$ ,  $L/d_{CA}$ ) при  $\beta = 90^\circ$ , показаны на рис. 2.

Особенностью номограммы является то, что струйные аппараты с различными диаметрами ( $d_{CA}$ ) при постоянном значении  $L/d_{CA}$  позволяют генерировать давление ВШС в достаточно узких пределах. При  $L/d_{CA} > 10$  и уменьшении угла атаки струи давление ВШС резко падает, что предполагает изменение пределов шкалы давления и построения новой номограммы.

Методика определения ВШС по полученной номограмме требует знания основных входных параметров струйного процесса:  $P_в$ ,  $t_в$ ,  $\mu$ ,  $G_ш$ ,  $d_{CA}$ ,  $L/d_{CA}$ , по которым последовательно вычисляются  $W_в$ ,  $W_{вшс}$ ,  $J_{вшс}$ ,  $P_{вшс}$ . Пример зависимости показателей струйного процесса ( $K$  – коэффициент напыления шихты, %) и параметров напыленного слоя шихты ( $d/d_{CA}$ ,  $h$ ,  $\rho$ ,  $\Pi$  – относительного диаметра, высоты, плотности, прочности напыленного слоя на его оси) от  $P_{вшс}$  в технологии получения окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании, приведен на рис. 3.

Экспериментальные данные для расчета  $P_{вшс}$  получены в лабораторных условиях при  $P_в = 20$  кПа,  $t_в = 18$  °С,  $\mu = 7$ ,  $G_ш = 0,07$  кг/с,  $d_{CA} = 0,02$  м. Причем, главным параметром, влияющим на  $P_{вшс}$  в указанных опытах, является изменение величины  $L/d_{CA}$  от 2,5 до 50. Уравнения регрессии, полученные по экспериментальным данным, представлены ниже:

$$d/d_{CA} = 54(P_{вшс} + 4,5)^{-0,45}, R^2 = 0,996;$$

$$h = - [0,0635/(P_{вшс} + 66)^{0,077}] \ln(P_{вшс} - 8)^{-17} - 11, R^2 = 0,992;$$

$$\rho = 307,37 \ln P_{вшс} + 1173, R^2 = 0,987 ;$$

$$\Pi = 29,937 \ln P_{вшс} - 26,119, R^2 = 0,987;$$

$$K = 200 (P_{вшс} - 6)^{-1,4} + 74,2, R^2 = 0,996.$$

Как было установлено, величина рабочего давления  $P_{вшс}$  зависит от заданной регламентированной структуры окатышей и существенно влияет на показатели струйного процесса ( $K$ , %) и параметры напыленного слоя шихты. В частности, повышая давление ВШС свыше 1219 кПа ( $L/d_{CA} < 2,5$ ), можно повысить прочность напыленного слоя до 200 кПа, плотность до 3400 кг/м<sup>3</sup>, а его высоту увеличить с 4 до 32 мм. При этом относительный

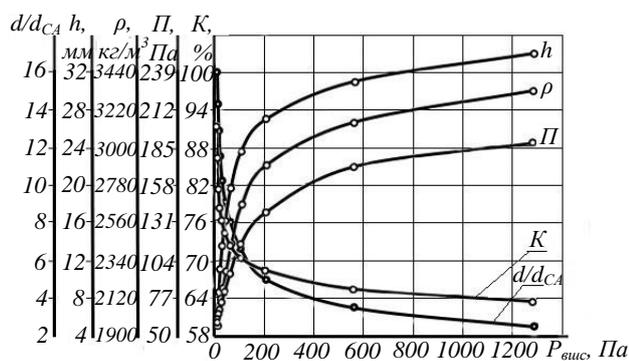


Рис. 3. Зависимость показателей струйного процесса и параметров напыленного слоя шихты от давления ВШС

диаметр ( $d/d_{CA}$ ) уменьшается с 16 до 3, а коэффициент напыления снижается с 91 до 68 %. Если предполагается получать окатыши зародышевым центром, у которого плотность меньше плотности окатышей ( $\rho_{зр} < \rho_{ок}$ ,  $\rho_o = 3200 \text{ кг/м}^3$ ), то рабочее давление для вышеуказанных исходных данных должно быть менее 600 Па.

Недостатком этого режима напыления может быть относительно малое влагоудаление  $\Delta W$  из зародышей при формировании напыленного слоя шихты, например  $\Delta W < 0,5 - 1,0 \%$  (абс.). Для получения окатышей с регламентированными свойствами, плотность зародышей которых выше плотности окатышей ( $\rho_{зр} > \rho_{ок}$ ), рабочее давление ВШС должно превышать 600 Па. В этом режиме напыления, напротив, можно получить относительно высокое влагоудаление ( $\Delta W > 0,5 - 1,0 \%$  (абс.)) из зародышей при формировании напыленного слоя, но в этом случае следует учитывать нерациональную форму слоя. Это связано с тем, что относительный диаметр напыленного слоя очень низкий ( $d/d_{CA} < 3$ ), а его высота, напротив, чрезмерно высокая ( $h > 30 \text{ мм}$ ). Этими обстоятельствами в решающей степени объясняется уменьшение коэффициента напыления шихты с 91 до 68 %. При определении рационального профиля напыленного слоя шихты, в первую очередь необходимо исходить из оптимальной высоты напыленного слоя, которая по данным предыдущих исследований должна составлять 5,6 – 10,4 мм. Эта высота напыленного слоя шихты при заданных значениях  $G_{ш}$  и  $L/d_{CA}$  ориентирует на определенное значение  $d/d_{CA}$ . Дальнейшее проектирование режима напыления требует анализа плотности и прочности напыленного слоя, что, в свою очередь, предполагает корректировку этих параметров путем подбора параметров  $\mu$  и  $P_{вн}$ . Последний можно использовать в совокупности с повышенной температурой воздуха, однако в этом

случае выходные параметры технологии изменяются. В частности, коэффициент напыления, геометрические размеры напыленного слоя снижаются, но плотность и прочность существенно возрастают. Это в свою очередь требует либо поправочных коэффициентов, либо экспериментальных связей между давлением ВШС и параметрами технологии, которые могут составить предмет дальнейших исследований.

**Выводы.** В результате разработанной методики расчета давления воздушно-шихтовой струи и информации, полученной на основе выполненных расчетов, построен комплекс номограмм, позволяющих выбрать необходимое давление ВШС по входным параметрам струйного процесса, размерам напыленного слоя шихты и характеристикам зародышевой массы. Результаты расчетов позволяют прогнозировать структурные свойства окатышей, полученные по технологии принудительного зародышеобразования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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 тепловых режимов напыления влажной шихты, предназначенных для принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 6. С. 9 – 13.
3. Павловец В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 15 – 20.
4. Альтшуль А.Д. Примеры расчетов по гидравлике. Учебное пособие. – М.: Стройиздат, 1977. – 255 с.
5. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
6. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. Ч 1. – М.: Высшая школа, 1966. – 429 с.
7. Демидович Б.П., Кудрявцев В.А. Краткий курс высшей математики. Учебное пособие для вузов. – М.: Астрель; АСТ, 2001. – 656 с.

© 2015 г. В.М. Павловец, А.В. Герасимук  
Поступила 23 сентября 2015 г.

И.И. Тетерина

Сибирский государственный индустриальный университет

ОСТРАКОДЫ ПЛИОЦЕНА ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ СТЕПНОГО АЛТАЯ

При изучении остракод верхних горизонтов павлодарской свиты в районе города Омска Т.А. Казьмина выделила новостаничный комплекс остракод. Комплекс с характерными видами *Cyprinotus vassoevichi* (= *Cyprinotus baturini*) Schneider, *Caspiocypris candida* (Livental), *Cytherissa bogatschovi* var. *plana* Klein, *C. hyalina* Schneider, *Denticulocythere iliensis* Bodina, *D. tuberculata* Negadaev был прослежен в обнажениях и скважинах Омского и Черлакского Прииртышья, в Ишимской степи и южнее до Центральной Кулунды. Новостаничный комплекс по видовому составу коррелирует с илийским комплексом остракод Юго-Восточного Казахстана [1, 2]. Позже новостаничная свита была выделена из состава павлодарской свиты. В стратотипическом обнажении в районе села Новая Станица на реке Иртыш южнее города Омска отложения представлены темно-серыми и бурыми карбонатными глинами, охарактеризованы одноименным комплексом остракод, фауной моллюсков и млекопитающих позднего миоцена – раннего плиоцена. Отложения известны в обнажениях на правом берегу реки Иртыш в районе города Омска и вскрываются скважинами южнее до Центральной Кулунды [3].

Материалом для изучения послужила коллекция остракод из отложений неогена Центральной Кулунды (лист М-44-XXXIII, лист М-44-XXXIV, определения О.Ю. Буткеевой), которая собрана в 60-е годы прошлого столетия и хранится в геологическом музее СибГИУ (см. рисунок).

Новостаничный комплекс остракод установлен в разрезе скважин: скважина 2 (в 13,5 км на юго-запад от села Крестьянка), скважина 1 (район села Родино), скважина 60 (северо-западная окраина села Миронов Лог), скважина 63 (в 7 км на северо-запад от села Романово) (см. таблицу).

Скважина 63, интервал 110 – 117 м. Из слоя буровато-серых плотных глин выделены остракоды: *Hyocypris bradyi* Sars, *Hyocypris gibba* (Ramd.), *Hyocypris manasensis* Mand.,

*Candona combibo* Liv., *Cypria candonaeformis* Schw., *Cyprinotus aracensis* Bod., *Eucypris foveatus* Popova, *Cyclocypris* sp., *Denticulocythere iliensis* Bodina, *Denticulocythere ornata* Mand. Виды *Candona combibo*, *Cypria candonaeformis* известны в составе битекейского комплекса остракод. Виды *Denticulocythere iliensis*, *Cyprinotus aracensis* впервые описаны Л.Е. Бодинной из отложений миоцена Восточного Казахстана [4]. Вид *Limnocythere iliensis* на юге Западной Сибири имеет более узкое стратиграфическое распространение и приурочен только к новостаничному комплексу остракод [1, 2]. Близкого видового состава остракоды установлены из слоя серых глин интервала 125 – 127 м (скважина 60).

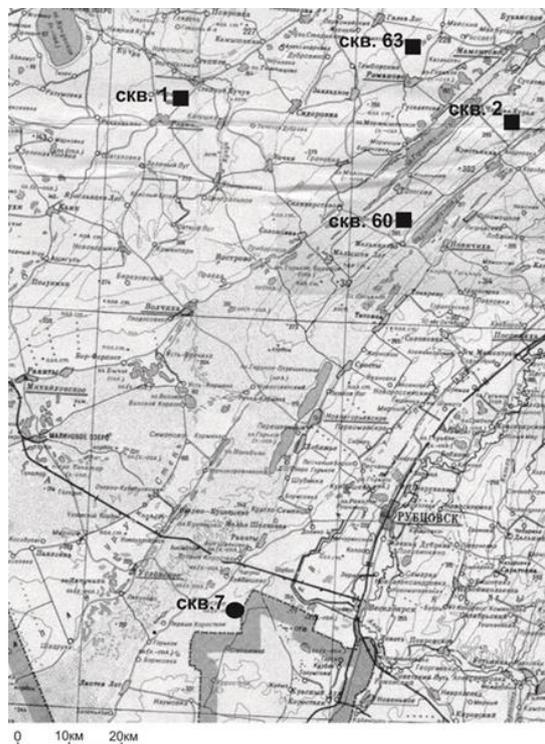


Схема расположения скважин с новостаничным комплексом остракод:  
 ■ – скважины Романовской партии (1968 – 1971 гг.);  
 ● – скважина ОАО «ГАЗ»

**Видовой состав остракод раннего плиоцена центральных и юго-западных районов Степного Алтая**

Виды остракод	Количество в скважине				
	7 Интервал 52,3 – 35,0 м	1 Интервал 71,0 – 69,0 м	2 Глубина 154 м	60 Интервал 125,8 – 127,0 м	63 Интервал 110,0 – 117,0 м
<i>Ilyocypris errabundis</i>	10	-	-	-	-
<i>Ilyocypris manasensis</i>	37	-	-	-	4
<i>Ilyocypris gibba</i>	-	1	2	-	5
<i>Ilyocypris bradyi</i>	более 20	20	20	-	7
<i>Cycloocypris regularis</i>	5	-	1	-	-
<i>Cycloocypris laevis</i>	-	-	3	-	2
<i>Eucypris foveatus</i>	1	2	2	-	1
<i>Eucypris numulis</i>	5	-	-	-	-
<i>Eucypris concinna</i>	5	-	-	-	-
<i>Eucypris sp. (крупн. обл.)</i>	до 10	-	-	-	-
<u><i>Cyprinotus vassoevichi</i></u>	2	3	3	-	-
<u><i>Cyprinotus aracensis</i></u>	-	-	-	5	1
<u><i>Cypria candonaeformis</i></u>	-	7	2	-	30
<u><i>Candona combibo</i></u>	-	2	2	16	1
<i>Candona neglecta</i>	2	1	2	-	-
<u><i>Denticulocythere iliensis</i></u>	более 20	5	7	-	3
<u><i>Denticulocythere tuberculata</i></u>	более 20	-	3	-	-
<i>Denticulocythere ornata</i>	более 20	7	3	-	-
<u><i>Prolimnocythere scharapovae</i></u>	10	-	-	-	-
<i>Prolimnocythere aff. scharapovae</i>	-	-	-	-	2
<i>Prolimnocythere sp.</i>	10	-	-	-	-
<u><i>Zonocypris membranae</i></u>	10	10	14	-	-
<u><i>Cytherissa bogatschovi var. plana</i></u>	20	-	-	-	-

*Примечание.* Указано количество раковин остракод в комплексе; подчеркнуто название видов, характерных для новостаничного комплекса.

Скважина 2, глубина 154 м. Из слоя буровато-серых глин выделены остракоды: *Ilyocypris bradyi*, *Ilyocypris gibba*, *Candona neglecta* Sars, *Candona combibo*, *Eucypris foveatus*, *Cyprinotus vassoevichi* Schn. (= *baturini* Schn.), *Cypria candonaeformis*, *Denticulocythere iliensis*, *D. luculenta* Liv., *Cytherissa bogatschovi var. plana* Kl. Близкого видового состава комплекс установлен из слоя светло-бурой глины интервала 69 – 71 м (скважина 1, район села Родино). Здесь также встречаются типично плиоценовые ви-

ды: *Cypria candonaeformis*, *Denticulocythere iliensis*, *Cytherissa bogatschovi var. plana*.

В начале 2000-х годов автором настоящей работы были обработаны образцы ядра скважины 7, пробуренной геологами Региональной партии ОАО «Горно-Алтайская экспедиция» (ГАЭ) в юго-западной части Алтайского края на границе с Казахстаном (см. рисунок). Был исследован разрез павлодарской свиты в интервале глубин 35,0 – 52,3 м. В районе западных предгорий Алтая коричнево-красные

плотные глины павлодарской свиты известны повсеместно выше зеленовато-серых глин рубцовской свиты. Возраст отложений установлен как позднемиоценовый [3].

Результаты геохимических и рентгеноструктурных анализов (проведен микрофаунистический анализ образцов) свидетельствуют об их накоплении в солонатоводных условиях [5].

Комплекс остракод был установлен в слое плотных коричнево-бурых глин с белыми пятнами и прослоями карбонатов кальция и мелкими черными пятнами гидрооксидов марганца в интервале глубин 35,0 – 52,3 м.

Определены следующие виды: *Ilyocypris errabundis*, *Il. manasensis*, *Il. bradyi*, *Cyclocypris regularis*, *Eucypris foveatus*, *Eucypris numulis*, *Eucypris concinna*, *Eucypris* sp. (крупные обла-*ctmu*), *Cyprinotus vassoevichi* (= *C. baturini*), *Candona combibo*, *Denticulocythere iliensis*, *D. tuberculata*, *D. ornata*, *Prolimnocythere scharapovae*, *Prolimnocythere* aff. *scharapovae*, *Prolimnocythere* sp., *Zonocypris membranae*. Остракоды разнообразны по видовому составу и многочисленны по количеству створок (см. таблицу). Отмечаются виды, известные в составе новостаничного комплекса остракод и характерные для него (*Cyprinotus vassoevichi*, *Candona combibo*, *Denticulocythere iliensis*, *D. tuberculata*). Однако в составе комплекса есть и существенные отличия. Отмечается большое количество раковин видов *Ilyocypris manasensis*, *Eucypris numulis*, *Eucypris concinna*. Виды не известны в отложениях новостаничной свиты, но часто встречаются в составе комплексов остракод миоцена и плиоцена Юго-Восточного Алтая и Юго-Восточного Казахстана [6 – 8]. Наиболее близкий комплекс был установлен в Чуйской впадине Юго-Восточного Алтая в обнажении правого берега реки Туерык: здесь комплекс остракод с характерными видами *Cyprinotus vialovi* Schneider, *Eucypris numulis* Schneider, *Eucypris concinna* Schneider, *Denticulocythere inderica* Scharapova, *D. tuberculata* Negadaev, *Prolimnocythere* aff. *scharapovae* Schweyer выделяется автором как верхнетуерыкский комплекс раннего плиоцена [9, 10]. В Северо-Западной Монголии из озерных отложений свиты хиргис-нур А.П. Савиновой были определены остракоды близкого видового состава (по группе видов *Denticulocythere*). Эти отложения Е.В. Девяткин сопоставляет с нижне-среднеплиоценовыми отложениями Горного Алтая и отложениями новостаничной свиты юга Западной Сибири [11]. В Рудном Алтае близкого видового состава комплексы остракод были установлены автором из отложений

павлодарской свиты (поселок Горняк, Успенско-Раздольнинская площадь) [12].

Таким образом, изучение остракод показало, что отложения нижнего плиоцена юго-западных районов Степного Алтая (западные предгорья Алтая) имеют свою особую микрофаунистическую характеристику и коррелируют с отложениями, близкими к новостаничным. При анализе новостаничных комплексов остракод Центральной Кулунды и западных предгорий Алтая отмечаются отличающиеся между собой ассоциации. Вероятно, это является следствием изменчивости экологических условий водоемов. Дальнейшее изучение этих отложений, возможно, позволит выделить и проследить изменения отдельных ассоциаций остракод, соответствующие определенным отрезкам геологического времени.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К а з ь м и н а Т.А. Неогеновые и четвертичные комплексы остракод юга Западной Сибири // Кайнозой Сибири и Северо-Востока СССР. – Новосибирск: Наука, 1989. С. 66 – 71.
2. К а з ь м и н а Т.А. Стратиграфия и остракоды плиоцена и раннего плейстоцена юга Западно-Сибирской равнины. – Новосибирск: Наука, 1975. – 136 с.
3. Унифицированные региональные стратиграфические схемы неогеновых и палеогеновых отложений Западно-Сибирской равнины: объяснительная записка. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2000. – 64 с.
4. Б о д и н а Е.И. Остракоды третичных отложений Зайсанской и Илийской депрессий // Тр. ВНИГРИ. 1961. Вып. 170. Сб. XI. С. 43 – 168.
5. Р у с а н о в Г.Г. Западные предгорья Алтая в мезозое и кайнозое. – Бийск: изд. БПГУ им. В.М. Шукшина, 2009. – 144 с.
6. К о н д р а ш к и н а О.Н. Остракоды неогена межгорных впадин Северного Тянь-Шаня // Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Алма-Ата: Ин-т геол. наук им. К.И. Сатпаева АН КазССР, 1970. – 21 с.
7. Остракоды плиоценовых и постплиоценовых отложений Туркменистана / М.И. Мандельштам, Л.П. Маркова, Т.Р. Розыева, Н.Е. Степанайтыс. – Ашхабад: Изд: АН ТССР, 1962. – 287 с.
8. М а н д е л ь ш т а м М.И., Ш н е й д е р Г.Ф. Ископаемые остракоды СССР. Семейство *Cyprididae* // Тр. ВНИГРИ, 1963. Вып. 203. – 330 с.

9. Т е т е р и н а И.И. Фауна остракод туерькской и кызылгирской свит из обнажения на правом берегу р. Туерьк // Известия Бийского отделения Русского географического общества. 2005. Вып. 25. С. 41, 42.
10. Т е т е р и н а И.И. Остракоды неогена межгорных впадин Юго-Восточного Алтая // Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Томск: Томский государственный университет, 2012. – 19 с.
11. Д е в я т к и н Е.В. Кайнозой Внутренней Азии. – М: Наука, 1981. – 196 с.
12. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200000. Изд. 2-е. Серия Алтайская, лист М-44-XX (Горняк): объяснительная записка. – СПб: ВСЕГЕИ, 2001. – 217 с.

© 2015 г. И.И. Тетерина  
Поступила 21 мая 2015 г.

Э.Я. Живаго, Н.И. Михайленко

Сибирский государственный индустриальный университет

РЕШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ДАЛАМБЕРА

Принцип Даламбера сформулирован в 1743 г. и является одним из общих принципов механики. В литературе встречаются и другие названия: *метод кинестатики*, *петербургский принцип*, а также принцип Германа – Эйлера – Даламбера.

Согласно этому принципу, *если в любой момент времени к действующим на точку силам как активным, так и реакции связи присоединить силу инерции, то полученная система сил будет уравновешенной (эквивалентной нулю)*, то есть

$$\bar{F} + \bar{R} + \bar{\Phi} = 0, (\bar{F}, \bar{R}, \bar{\Phi}) \sim 0, \quad (1)$$

где  $\bar{F}$  – активная сила;  $\bar{R}$  – реакция связи;  $\bar{\Phi}$  – сила инерции материальной точки, по модулю равная произведению массы  $m$  точки на модуль ее ускорения  $a$  и направленная противоположно этому ускорению:

$$\bar{\Phi} = -m\bar{a}; \quad \Phi = ma. \quad (2)$$

Следует отметить, что в формулировке принципа Даламбера говорится об уравновешенности системы сил, а не о равновесии (покое) материальной точки.

Так как ускорение точки складывается из касательной и нормальной составляющих ( $\bar{a} = \bar{a}_\tau + \bar{a}_n$ ), то сила инерции тоже может быть представлена двумя составляющими – касательной и нормальной (рис. 1):

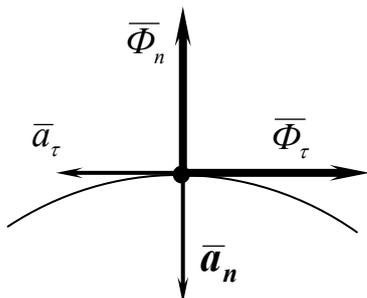


Рис. 1. Составляющие силы инерции и ускорения точки при ее движении по кривой

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_\tau + \bar{\Phi}_n, \quad (3)$$

где  $\bar{\Phi}_\tau = -m\bar{a}_\tau$ ,  $\Phi_\tau = ma_\tau = m \frac{dV}{dt}$ ;  $\bar{\Phi}_n = -m\bar{a}_n$ ,  $\Phi_n = ma_n = m \frac{V^2}{\rho}$ ;

здесь  $V$  – скорость точки;  $\rho$  – радиус кривизны траектории.

Если точка принадлежит телу, вращающемуся вокруг оси с угловой скоростью  $\omega$  и угловым ускорением  $\varepsilon$  (рис. 2), то

$$\Phi_\tau = ma_\tau = m\varepsilon r; \quad \Phi_n = ma_n = m\omega^2 r. \quad (4)$$

Если точка совершает сложное движение, то ее абсолютное ускорение складывается из относительного, переносного ускорений и ускорения Кориолиса:

$$\bar{a}_a = \bar{a}_r + \bar{a}_e + \bar{a}_c.$$

Соответствующие силы инерции составят

$$\bar{\Phi}_r = -m\bar{a}_r, \quad \bar{\Phi}_e = -m\bar{a}_e, \quad \bar{\Phi}_c = -m\bar{a}_c.$$

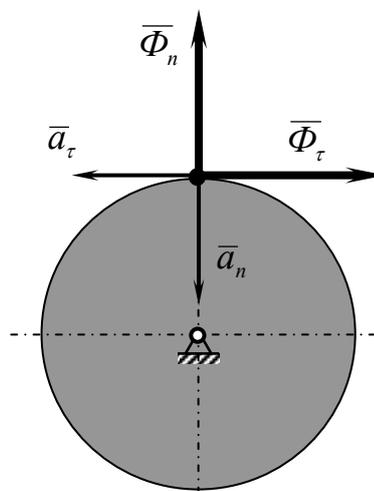


Рис. 2. Составляющие силы инерции и ускорения точки, принадлежащей вращающемуся телу

Рассмотрим механическую систему, состоящую из  $n$  материальных точек, которые под действием внешних и внутренних сил движутся по отношению к инерциальной системе отсчета с ускорением  $\bar{a}_k$ . Применяя к каждой точке системы принцип Даламбера, получим

$$\begin{aligned} \bar{F}_k + \bar{R}_k + \bar{\Phi}_k &= 0, \quad k=1, 2, \dots, n; \\ (\bar{F}_k, \bar{R}_k, \bar{\Phi}_k) &\sim 0, \quad k=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

и придем к результату, выражающему принцип Даламбера для системы: если в любой момент времени к каждой из точек системы кроме действующих на нее внешних и внутренних сил присоединить соответствующие силы инерции, то полученная система сил будет уравновешенной (эквивалентной нулю).

Математически принцип Даламбера для системы записывается  $n$  равенствами вида (5).

Значение принципа Даламбера состоит в том, что при непосредственном его применении к задачам динамики уравнения движения системы составляются в форме хорошо известных уравнений равновесия, что делает единым подход к решению задач и часто упрощает соответствующие расчеты.

Просуммировав все уравнения (5), получим одно:

$$\sum_{k=1}^n \bar{F}_k + \sum_{k=1}^n \bar{R}_k + \sum_{k=1}^n \bar{\Phi}_k = 0. \quad (6)$$

Умножим каждое из равенств (5) на радиус-вектор  $\bar{r}_k$   $k$ -й точки и, просуммировав их, получим

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \bar{r}_k \times \bar{F}_k + \sum_{k=1}^n \bar{r}_k \times \bar{R}_k + \sum_{k=1}^n \bar{r}_k \times \bar{\Phi}_k &= 0; \\ \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{F}_k) + \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{R}_k) + \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{\Phi}_k) &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\bar{M}_O$  – вектор момента силы относительно выбранного центра (точки  $O$ ).

В проекциях на оси декартовой системы координат, начало которых совпадает с центром  $O$ , получим шесть уравнений равновесия пространственной произвольной системы сил:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{kx} + \sum_{k=1}^n R_{kx} + \sum_{k=1}^n \Phi_{kx} &= 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{ky} + \sum_{k=1}^n R_{ky} + \sum_{k=1}^n \Phi_{ky} &= 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{kz} + \sum_{k=1}^n R_{kz} + \sum_{k=1}^n \Phi_{kz} &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n M_x(\bar{F}_k) + \sum_{k=1}^n M_x(\bar{R}_k) + \sum_{k=1}^n M_x(\bar{\Phi}_k) &= 0, \\ \sum_{k=1}^n M_y(\bar{F}_k) + \sum_{k=1}^n M_y(\bar{R}_k) + \sum_{k=1}^n M_y(\bar{\Phi}_k) &= 0; \\ \sum_{k=1}^n M_z(\bar{F}_k) + \sum_{k=1}^n M_z(\bar{R}_k) + \sum_{k=1}^n M_z(\bar{\Phi}_k) &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Обозначим главные векторы активных сил  $\bar{F} = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k$ , реакций связей  $\bar{R} = \sum_{k=1}^n \bar{R}_k$  и сил инерции  $\bar{\Phi} = \sum_{k=1}^n \bar{\Phi}_k$ , главные моменты активных сил  $\bar{M}_O^F = \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{F}_k)$ , реакций связей  $\bar{M}_O^R = \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{R}_k)$  и сил инерции  $\bar{M}_O^\Phi = \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{\Phi}_k)$ .

Если силы, действующие на точку, разложить на внешнюю  $\bar{F}_k^e$  и внутреннюю  $\bar{F}_k^i$ , то уравнение (5) примет вид

$$\bar{F}_k^e + \bar{F}_k^i + \bar{\Phi}_k = 0$$

Согласно свойствам внутренних сил системы их главный вектор и главный момент относительно любого центра приведения равны нулю, и уравнения (6) и (7) можно переписать:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \bar{F}_k^e + \sum_{k=1}^n \bar{\Phi}_k &= 0; \\ \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{F}_k^e) + \sum_{k=1}^n \bar{M}_O(\bar{\Phi}_k) &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

Полученные уравнения аналогичны (6) и (7), но в них не входят внутренние силы.

Понятие о силе инерции и принцип Даламбера составляют основу метода кинестатики, главной целью которого является применение методов статики к задачам динамики машин и механизмов. Чтобы пользоваться этим методом, нужно уметь вычислять главный вектор и главный момент сил инерции.

Главный вектор сил инерции механической системы, в частности твердого тела, равен произведению массы системы (тела) и направлен противоположно этому ускорению:

$$\bar{\Phi} = -m\bar{a}_c. \quad (10)$$

Главный момент сил инерции механической системы (твердого тела) относительно некоторого центра  $O$  или оси  $z$  равен взятой со знаком минус производной по времени от ки-

нетического момента системы (тела) относительно того же центра или той же оси:

$$\bar{M}_O^\phi = -\frac{d\bar{K}_O}{dt} \text{ и } M_z^\phi = -\frac{dK_z}{dt}. \quad (11)$$

Если движение точек механической системы рассматривать как сложное, т.е.  $\bar{r}_k = \bar{r}_C + \bar{\rho}_k$ , то

$$\bar{K}_O = \bar{K}_C^{(r)} + \bar{r}_C \times M\bar{V}_C,$$

где  $\bar{K}_C^{(r)} = \sum \bar{\rho}_k \times m_k \bar{V}_k^{(r)}$  – главный момент количества движения системы в ее относительном движении по отношению к системе координат, движущейся поступательно вместе с центром масс.

В этом случае главный момент сил инерции относительно неподвижного центра приведения  $O$  запишется как

$$\bar{M}_O^\phi = -\frac{d\bar{K}_O}{dt} = -\frac{d\bar{K}_C^{(r)}}{dt} - M\bar{r}_C \times \bar{a}_C. \quad (12)$$

Силы инерции точек механической системы можно привести к центру масс, который может быть подвижной точкой. В этом случае главный момент сил инерции относительно центра масс будет представлен в виде

$$\bar{M}_C^\phi = -\frac{d\bar{K}_C^{(r)}}{dt} \quad (13)$$

(производная в выражении (13) полная, поскольку угловая скорость подвижной системы координат равна нулю).

В общем случае систему сил инерции можно привести к одной силе и к одной паре сил.

В частных случаях:

1 – при поступательном движении силы инерции твердого тела приводятся к равнодействующей  $\bar{\Phi}$ , линия действия которой проходит через центр масс тела;

2 – при вращении тела вокруг неподвижной оси главный момент сил инерции относительно оси вращения равен произведению осевого момента инерции на угловое ускорение.

Так как  $K_z = J_z \omega$ , то равенство (11) можно записать в виде

$$M_z^\phi = -J_z \frac{d\omega}{dt},$$

или  $M_z^\phi = -J_z \varepsilon. \quad (14)$

Главные моменты сил инерции (центробежные моменты инерции) относительно осей,

лежащих в плоскости, перпендикулярной оси вращения, запишутся так:

$$M_x^\phi = J_{xz} \varepsilon - J_{yz} \omega^2; \quad M_y^\phi = J_{yz} \varepsilon + J_{xz} \omega^2; \quad (15)$$

3 – в случае плоскопараллельного движения система сил инерции будет представлена и главным вектором, и главным моментом сил инерции относительно оси, проходящей через центр масс:

$$\bar{\Phi} = -m\bar{a}_C, \quad M_z^\phi = -J_{zc} \varepsilon. \quad (16)$$

С учетом полученных выше соотношений для проекций главного вектора и главного момента сил инерции, а также выражений для проекций главного вектора и главного момента реакций связей уравнения принципа Даламбера (8) принимают вид

$$\begin{aligned} F_x + X_A + X_B + m\varepsilon x_C + m\omega^2 x_C &= 0; \\ F_y + Y_A + Y_B - m\varepsilon x_C + m\omega^2 y_C &= 0; \\ F_z + Z_A &= 0; \\ M_x^F + Y_A l_A - Y_B l_B + J_{xz} \varepsilon - J_{yz} \omega^2 &= 0; \\ M_y^F - X_A l_A + X_B l_B + J_{yz} \varepsilon + J_{xz} \omega^2 &= 0; \\ M_z^F - J_z \varepsilon &= 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Эти шесть уравнений полностью описывают характеристики вращающегося твердого тела. Особым из них является последнее уравнение – это дифференциальное уравнение вращательного движения. Первые пять уравнений служат для определения пяти величин реакций опор:  $X_A, Y_A, Z_A, X_B$  и  $Y_B$ .

Величины реакций, получаемые из уравнений (17), в общем случае зависят от характера вращения тела (кроме реакции  $Z_A$ ), т.е. от величины угловой скорости и углового ускорения. Такие реакции называются динамическими в отличие от статических реакций неподвижного тела.

Динамические реакции могут быть значительно больше статических (см. примеры 1 и 2).

**Пример 1.** Маховое колесо, насаженное посередине вала с небольшим перекосом

$\alpha = 1^\circ \left( \frac{\pi}{180} \text{ рад} \right)$  к поперечной оси, вращается с

постоянной угловой скоростью  $\omega$  ( $n = 3000$  об/мин). Определить добавочные динамические давления на подшипники вала, считая, что масса маховика  $m=100$  кг, центр тяжести расположен на оси вращения вала, радиус маховика  $R = 1$  м, расстояние между подшипниками  $a = 1$  м. Массу считать равномерно распределенной по ободу (рис. 3).

Воспользуемся уравнениями (17). Выберем оси координат  $Oxyz$  как показано на рис. 3. Реакцию каждого из подшипников представим двумя составляющими  $N_{Ax}, N_{Ay}, N_{Bx}, N_{By}$ , и, учитывая, что маховое колесо вращается равномерно ( $\varepsilon=0$ ), а центр его находится на оси вращения вала ( $x_C=y_C=0$ ), получим

$$\begin{aligned} N_{Ax} + N_{Bx} &= 0; & N_{Ay} + N_{By} &= 0; \\ m_x(\bar{N}_A) + m_x(\bar{N}_B) &= \omega^2 J_{yz}; \\ m_y(\bar{N}_A) + m_y(\bar{N}_B) &= -\omega^2 J_{xz}; \end{aligned} \quad (a)$$

с учетом того, что

$$\begin{aligned} m_x(\bar{N}_A) &= -N_{Ay} \cdot \frac{a}{2}, & m_x(\bar{N}_B) &= N_{By} \cdot \frac{a}{2}; \\ m_y(\bar{N}_A) &= N_{Ax} \cdot \frac{a}{2}, & m_y(\bar{N}_B) &= -N_{Bx} \cdot \frac{a}{2}, \end{aligned}$$

получим

$$\begin{aligned} N_{Ax} + N_{Bx} &= 0, & N_{Ay} + N_{By} &= 0; \\ \frac{a}{2}(N_{By} - N_{Ay}) &= \omega^2 J_{yz}, & \frac{a}{2}(N_{Ax} - N_{Bx}) &= -\omega^2 J_{xz}. \end{aligned} \quad (b)$$

Решим систему уравнений (b)

$$N_{Ax} = -N_{Bx} = -\frac{\omega^2 J_{xz}}{a}, \quad N_{By} = -N_{Ay} = \frac{\omega^2 J_{yz}}{a}. \quad (c)$$

Для вычисления центробежных моментов инерции  $J_{xz}$  и  $J_{yz}$  введем в рассмотрение главные оси инерции  $Ox_1y_1z_1$  (рис. 3).

По известным формулам геометрии масс имеем

$$J_{xz} = 0;$$

$$J_{yz} = \frac{1}{2}(J_{z_1} - J_{y_1})\sin 2\alpha,$$

где  $J_{y_1}, J_{z_1}$  – моменты инерции колеса относительно указанных главных осей.

Так как  $J_{y_1} = \frac{mR^2}{2}, J_{z_1} = mR^2$ , то

$$J_{yz} = \frac{mR^2}{4}\sin 2\alpha.$$

Подставляя значения центробежных моментов инерции в формулы (c), получим окончательные выражения для динамических реакций подшипников

$$\begin{aligned} N_{Ax} = N_{Bx} &= 0; \\ N_{By} = -N_{Ay} &= \frac{mR^2\omega^2}{4a}\sin 2\alpha. \end{aligned}$$

Если значение угла  $\alpha$  мало, то  $\sin 2\alpha = 2\alpha$ , а

$$N_{By} = -N_{Ay} \approx \frac{mR^2\omega^2\alpha}{2a} = 86,2 \text{ кН.}$$

Полученные результаты показывают, что в данной задаче вследствие неуравновешенности система реакций эквивалентна одной паре, стремящейся повернуть колесо так, чтобы угол  $\alpha$  стал равным нулю.

Динамические давления на подшипники равны по величине найденным реакциям и противоположны им по направлениям.

**Пример 2.** Маятник центробежного регулятора делает при установившемся движении 180 об/мин. Вследствие изменения нагрузки машины регулятор приведен в действие, и шары раздвигаются с относительной скоростью  $V_r = 0,2$  м/с. Считая вес каждого шара равным 10 кг и пренебрегая весом ручек, вычислить дополнительное давление на подшипники  $C_1$  и

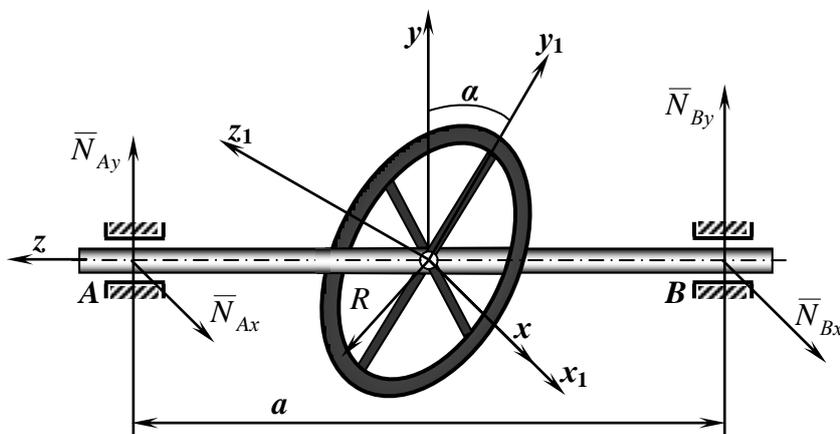


Рис. 3. Определение динамического давления на подшипники

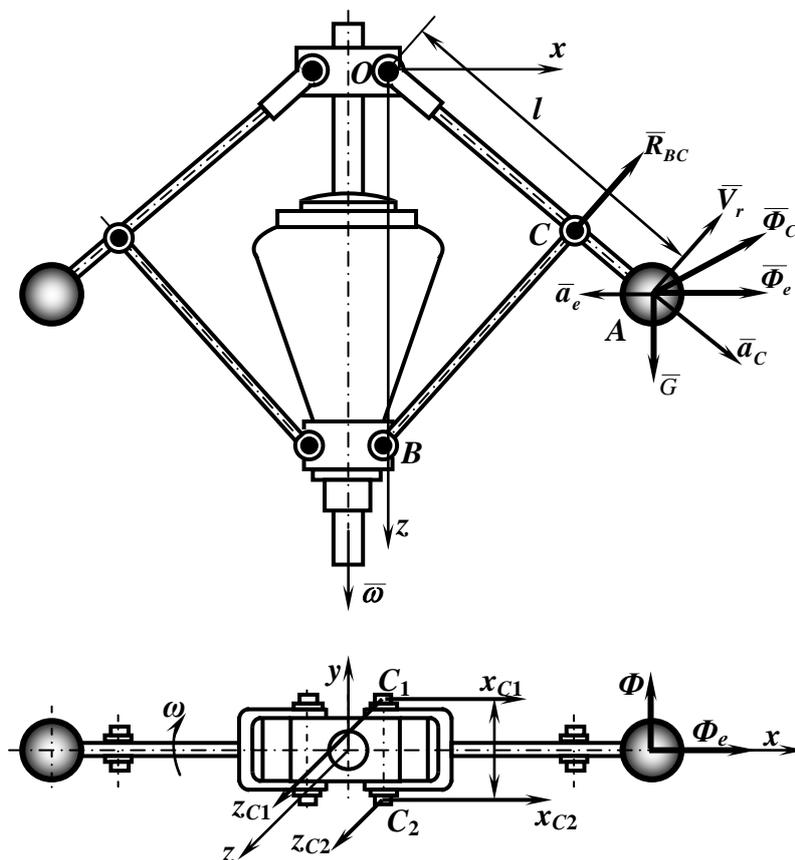


Рис. 4. Определение дополнительного давления, вызываемого ускорением Кориолиса

$C_2$ , вызываемое ускорением Кориолиса. При этом считать угол, образуемый ручкой с осью регулятора, равным  $45^\circ$  и число оборотов не изменившимся; размеры подвески:  $l = 25$  см,  $d = 2,5$  см (рис. 4).

Освободим стержень  $OA$  от связей, стержня  $BC$  и подшипников  $C_1$  и  $C_2$ , заменив их реакциями  $\bar{R}_{BC}, \bar{X}_{C_1}, \bar{Z}_{C_1}, \bar{X}_{C_2}, \bar{Z}_{C_2}$ .

Шар, который считаем точкой, совершает сложное движение, и его абсолютное ускорение складывается из относительного, переносного ускорений и ускорения Кориолиса, т.е.  $\bar{a}_a = \bar{a}_r + \bar{a}_e + \bar{a}_c$ . Соответствующие силы инерции будут такими:  $\bar{\Phi}_r = -m\bar{a}_r$ ,  $\bar{\Phi}_e = -m\bar{a}_e$ ,  $\bar{\Phi}_c = -m\bar{a}_c$ .

Учитывая, что угловая скорость переносного движения  $\omega$  и относительная скорость шара  $V_r$  величины постоянные,  $a_r = 0$ ,  $\bar{a}_e = \bar{a}_e^n$ ,  $\bar{a}_c = 2(\bar{\omega} \times \bar{V}_r)$ .

При определении дополнительного давления силу  $\bar{\Phi}_e$  и силу тяжести  $\bar{P}$  не будем учитывать.

Сила инерции Кориолиса

$$\Phi = \frac{2P}{g} \omega V_r \cdot \sin 45^\circ \quad (d)$$

направлена по перпендикуляру плоскости, в которой расположены векторы  $\bar{\omega}$  и  $\bar{V}_r$ .

Введем координатные оси  $Oz$  и  $Ox$ , расположив их в плоскости стержней  $OA$  и  $BC$ . Составляя уравнения равновесия, замечаем, что ни в одно из них силы  $\bar{R}$  и  $\bar{\Phi}$  не входят одновременно, а это значит, что сила  $\bar{\Phi}$  не оказывает влияния на реакцию  $\bar{R}$ .

Дополнительные давления на подшипники  $C_1$  и  $C_2$  от силы  $\bar{\Phi}$  найдем, предварительно определив реакции  $X_{C_1}, X_{C_2}, Y_{C_1}, Y_{C_2}$  из четырех уравнений равновесия

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n X_k &= 0; \quad \sum_{k=1}^n Y_k = 0; \\ \sum_{k=1}^n M_{kx} &= 0; \quad \sum_{k=1}^n M_{ky} = 0, \end{aligned}$$

которые в явном виде выглядят так:

$$\begin{aligned} X_{C_1} + X_{C_2} &= 0; \\ Z_{C_1} + Z_{C_2} &= 0; \\ -X_{C_1} \frac{d}{2} + X_{C_2} \frac{d}{2} + \Phi l \sin 45^\circ &= 0; \quad (e) \\ Z_{C_1} \frac{d}{2} - Z_{C_2} \frac{d}{2} + \Phi l \sin 45^\circ &= 0. \end{aligned}$$

Первые два уравнения системы показывают, что дополнительные реакции образуют пару сил.

Из системы уравнений вытекает, что

$$|\bar{X}_{C_1}| = |\bar{Z}_{C_1}| = |\bar{X}_{C_2}| = |\bar{Z}_{C_2}| = \Phi \frac{l}{d} \sin 45^\circ \quad (f)$$

и, следовательно, дополнительное давление

$$N = \sqrt{X_{C_1}^2 + Z_{C_1}^2} = \Phi \frac{l}{d}. \quad (g)$$

Из формул (f) и (g) вытекает, что дополнительные давления направлены вдоль стержня, поэтому эту задачу можно решить, сведя вопрос к изучению равновесия системы сил, расположенных в плоскости, содержащей стержень  $OA$  и силу  $\Phi$ .

Принимая во внимание соотношения (d) и (g), получим

$$N = \frac{2Pl}{dg} u \omega \sin 45^\circ,$$

откуда после подстановки числовых значений определим

$$N = \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,25}{0,025} \cdot 0,2 \cdot 6\pi \frac{\sqrt{2}}{2} = 533 \text{ Н.}$$

С развитием научно-технического прогресса скорости вращения деталей машин возросли до нескольких десятков, а в некоторых условиях до сотен тысяч оборотов в минуту. При таких скоростях даже незначительная неуравновешенная масса может привести к выходу из строя и аварии механизма или аппарата.

Балансировка (уравновешивание) вращающихся машинных частей (ротора турбины или электродвигателя, коленчатого вала, шкивов и других) является важной технической задачей. Для большинства роторов машин осью вращения является ось, проходящая через центры опорных поверхностей цапф изделия. Несовпадение этой оси с главной центральной осью инерции (что может быть результатом погрешностей технологии изготовления изделия либо его конструктивных особенностей) приводит к появлению нескомпенсированных центробежных сил и моментов, вызывающих быстрый износ подшипников, повышенные вибрации машины, изгибные колебания ее элементов и др.

Из уравнений (17) видно, что наличие вращения не будет влиять на значение реакций, если

$$m\epsilon y_C + m\omega^2 x_C = 0; \quad -m\epsilon x_C + m\omega^2 y_C = 0;$$

$$J_{xz} \epsilon - J_{yz} \omega^2 = 0; \quad J_{yz} \epsilon + J_{xz} \omega^2 = 0,$$

а точнее

$$x_C = 0; \quad y_C = 0; \quad (18)$$

$$J_{xz} = 0; \quad J_{yz} = 0. \quad (19)$$

Равенства (18) и (19) – это условия равенства динамических и статических реакций, или условия динамической уравновешенности вращающегося тела при его вращении вокруг оси  $z$ .

Для того чтобы динамические реакции не отличались от статических, должны выполняться следующие условия: 1) центр масс должен лежать на оси вращения; 2) ось вращения должна быть главной центральной осью инерции тела.

Ось  $Oz$ , для которой центробежные моменты инерции  $J_{xz}$  и  $J_{yz}$ , содержащиеся в своих индексах наименование этой оси, равны нулю, называется главной осью инерции тела для точки  $O$ . Если тело имеет ось симметрии, то эта ось является главной осью инерции тела для любой своей точки. Если тело имеет плоскость симметрии, то любая ось перпендикулярная этой плоскости будет главной осью инерции тела для точки  $O$ , в которой ось пересекает плоскость.

Таким образом, динамические реакции равны статическим, если ось вращения является одной из главных центральных осей инерции.

Механический смысл центробежных моментов инерции  $J_{xz}$  и  $J_{yz}$  заключается в том, что они характеризуют степень динамической неуравновешенности тела при вращении вокруг оси  $Oz$ .

Динамическое уравновешивание – важная техническая задача, которая сводится к определению главных центральных осей инерции.

Любую ось можно сделать главной центральной осью инерции, если добавить к телу (или отнять у него) две точечные массы. Пусть для тела массой  $M$  величины  $x_C, y_C, J_{xz}, J_{yz}$  известны и не равны нулю. Прибавим к телу две массы  $m_1$  и  $m_2$  в точках с координатами  $(x_1, y_1, z_1)$  и  $(x_2, y_2, z_2)$ .

Тогда из формул

$$\begin{aligned} x_C &= \frac{1}{M} \sum_{k=1}^n m_k x_k, & y_C &= \frac{1}{M} \sum_{k=1}^n m_k y_k, \\ z_C &= \frac{1}{M} \sum_{k=1}^n m_k z_k, & J_{xy} &= \sum_{k=1}^n m_k x_k y_k, \\ J_{yz} &= \sum_{k=1}^n m_k y_k z_k, & J_{zx} &= \sum_{k=1}^n m_k z_k x_k \end{aligned}$$

следует, что если удовлетворить равенствам

$$\begin{aligned} Mx_C + m_1 x_1 + m_2 x_2 &= 0, & My_C + m_1 y_1 + m_2 y_2 &= 0, \\ J_{xz} + m_1 x_1 z_1 + m_2 x_2 z_2 &= 0, \\ J_{yz} + m_1 y_1 z_1 + m_2 y_2 z_2 &= 0, \end{aligned} \quad (20)$$

то для полученного тела будет  $x'_C = y'_C = J'_{xz} = J'_{yz} = 0$ , то есть ось  $Oz$  станет главной центральной осью инерции. Подбирая массы  $m_1, m_2$  и их положения так, чтобы удовлетворились уравнения (20), мы и решим поставленную задачу. Частью величин при этом следует задаться наперед. Например, можно задать значения  $m_1, m_2$  и  $z_1, z_2$  (но так, чтобы было  $z_1 \neq z_2$ ), а  $x_1, y_1, x_2, y_2$  найти из уравнений (20) или задать положение (координаты) точечных масс, а найти  $m_1, m_2$  и тому подобное.

Такой метод уравнивания вращающихся тел широко используется в технике для уравнивания коленчатых валов (см. нижеприведенный пример 3), кривошипов, спарников и т.п.

**Пример 3.** Коленчатый вал одноцилиндрового двигателя несет на себе два одинаковых маховика  $A$  и  $B$  радиусом  $r = 0,5$  м. Рассматривая щеки и шейку колена вала как груз массой  $m = 21$  кг, находящийся на расстоянии  $h = 0,2$  м от оси, определить массы  $m_A$  и  $m_B$  грузов, которые нужно расположить на ободах маховиков, чтобы сбалансировать систему, если  $b =$

$0,6$  м,  $l = 1,4$  м (рис. 5). Для определения точечных масс воспользуемся равенствами (20):

$$\begin{aligned} Mx_C + m_A x_A + m_B x_B &= 0; \\ My_C + m_A y_A + m_B y_B &= 0; \\ J_{xz} + m_A x_A z_A + m_B x_B z_B &= 0; \\ J_{yz} + m_A y_A z_A + m_B y_B z_B &= 0. \end{aligned} \quad (h)$$

Проведем координатные оси, вращающиеся вместе с телом, так, чтобы колено вала лежало в плоскости  $Oxz$ . Тогда эта плоскость будет плоскостью симметрии. Следовательно,  $y_C = 0$ , и так как при этом ось  $Oy$  будет для точки  $O$  главной осью инерции, то  $J_{yz} = 0$ . Кроме того, если обозначить массу всей системы через  $M$ , то для нее  $x_C = mh/M$  и  $J_{xz} = mhb$ .

Последний результат следует из того, что центробежный момент инерции системы равен сумме моментов инерции ее частей, а для маховиков и примыкающих к ним частей вала центробежные моменты  $J_{xz}$  равны нулю (ось  $Oz$  – ось симметрии). Для присоединяемых грузов координаты  $y_A = y_B = 0$ .

С учетом этого из равенств (h) останется два:

$$\begin{aligned} Mx_C + m_A x_A + m_B x_B &= 0; \\ J_{xz} + m_A x_A z_A + m_B x_B z_B &= 0. \end{aligned} \quad (i)$$

Так как грузы располагаются на ободах маховиков, то  $z_A = 0, z_B = l$  и  $x_A = x_B = -r$  (при знаке плюс уравнения не имеют решений, следовательно, грузы должны быть внизу).

Подставим значения координат в уравнения (i) и получим

$$M \frac{mh}{M_C} - m_A r - m_B r = 0; \quad (j)$$

$$mhb - m_A r \cdot 0 - m_B r \cdot l = 0. \quad (k)$$

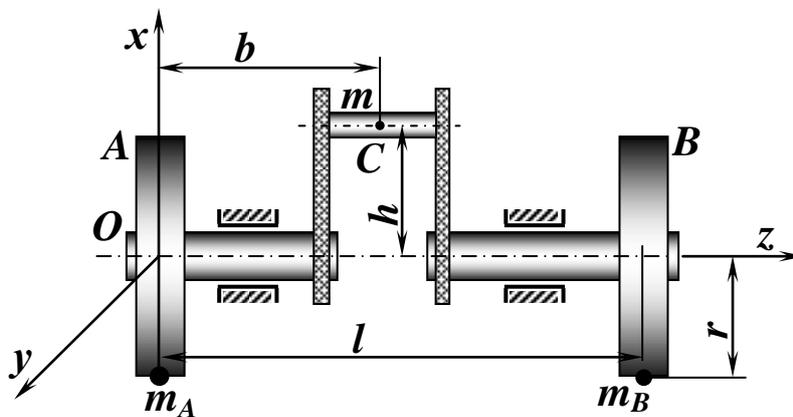


Рис. 5. Балансировка коленчатого вала одноцилиндрового двигателя

Решая уравнения, найдем:  
из уравнения (к)

$$m_B = \frac{bhm}{rl} = 3,6 \text{ кг};$$

из уравнения (j)

$$m_A = \frac{(l-b)hm}{rl} = 4,8 \text{ кг}.$$

Присоединение этих грузов делает систему уравновешенной, а ось  $Oz$  – главной центральной осью инерции (но не осью симметрии) тела.

**Выводы.** Показано применение принципа Даламбера для уравновешенности системы сил, действующих на систему материальных точек. Приведены конкретные примеры решения технических задач.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курс теоретической механики / Под ред. К.С. Колесникова. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. Т. 1. – 735 с.
2. Теоретическая механика. Учебник для вузов / Г.Т. Баранова, Т.Н. Дадочкина, В.В. Дрожжин и др; под общ. ред. Э.Я. Живаго. – Старый Оскол: изд. ТНТ, 2013. – 384 с.
3. Сборник заданий по теоретической механике. Динамика: Учебное пособие / Под ред. В.В. Дрожжина, 2-е изд., испр. – СПб.: «Лань», 2012. – 384 с.

© 2015 г. Э.Я. Живаго, Н.И. Михайленко  
Поступила 22 сентября 2015 г.

*М.Б. Школлер*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Научно-производственной фирмой «Сибтермо» (г. Красноярск) разработана и освоена в промышленном варианте технология автотермического полукоксования бурых углей Канско-Ачинского бассейна [1]. Получаемый в этом процессе буругольный полукокк (БПК) является низкосернистым и низкзолыным высокоуглеродистым продуктом, характеризующимся высокой химической активностью, повышенной адсорбционной способностью. Он предназначен для использования в качестве пылевидного энергетического топлива и очистки от примесей газообразных и жидких веществ. Однако ряд потребителей нуждается в кусковом энергоносителе с такими же характеристиками.

По заказу фирмы «Сибтермо» разработали способ химико-термического окускования буругольного полукокка с получением углерод-углеродных композитов.

Основы способа были заложены в работе [2]. Его принцип заключается в следующем. Полукокк, выходящий из реактора с температурой 700 – 800 °С, выполняет функцию твердого теплоносителя для нагрева в специальном смесителе коксующегося угля до температуры максимального размягчения пластической массы. Соотношение компонентов для достижения поставленной задачи рассчитывается на основе совместного решения уравнений материального и теплового баланса смесителя. Если принять допущения о том, что газовая фаза мгновенно удаляется при той температуре, при которой она образуется, а теплоемкости полукокка и нагреваемого угля одинаковы, то можно получить упрощенное уравнение расчета соотношения масс теплоносителя и нагреваемого угля ( $K$ ):

$$K = (T_c - T_y) / (T_{пк} - T_c),$$

где  $T_c$  – заданная температура нагрева смеси, °С;  $T_y$  – температура исходного угля, °С;  $T_{пк}$  – заданная температура теплоносителя, °С.

Для получения композитов была создана экспериментальная установка (рис. 1), состоя-



Рис. 1. Лабораторная установка по получению композитов

щая из шахтной лабораторной электропечи; лабораторного реактора; потенциометра; электрообогреваемой матрицы; машины для испытания на сжатие ИП-6012-1000-1.

В корпус шахтной лабораторной электропечи помещался лабораторный реактор – металлический цилиндрический аппарат со съемной крышкой. В крышку был вварен «карман» для термопары, штуцер для измерения давления внутри реактора, предохранительный клапан. В центре крышки имелось отверстие для мешалки. Узел ввода вала мешалки снабжен сальником с набором чередующихся металлических и фторопластовых прокладок и принудительным водяным охлаждением.

Посредством термопары, помещенной в «карман», измерялись температуры в зоне взаимодействия компонентов реакционной смеси. Термопара подсоединялась к потенциометру ТРМ 138-Р, предназначенного для построения автоматических систем контроля и регулирования производственными технологическими процессами.

Электрообогреваемая матрица представляла собой обогреваемую электроспиралью прессформу со съемной верхней и нижней частями, в стенку которой помещена хромель-алюмелевая термопара.

Машина для испытания на сжатие ИП-6012-1000-1 с гидравлическим нагружающим

устройством имела пульт управления и измерительную систему, состоящую из измерительного преобразователя и блока измерения. Статическое испытание образцов на сжатие осуществляется путем деформирования образца до разрушения и измерения нагрузки на образце.

Для получения композитов использовали следующую смесь: БПК «Сибтермо» (класс 0 – 3 мм), концентрат ГЖ (смесь углей марок Г и Ж) Кузнецкой ЦОФ также крупностью 0 – 3 мм.

Качественная характеристика БПК приведена в работе [3]. Показатели качества концентрата ГЖ следующие:  $A^d = 7,8 \%$ ;  $V^d = 38,1 \%$ ;  $x = 30 \text{ мм}$ ;  $y = 28 \text{ мм}$ .

Выбор угля с высокой толщиной пластического слоя был обусловлен как высокой пористостью БПК, так и его громадной реакционной поверхностью (до  $500 \text{ м}^2/\text{г}$ ). Запасы углей этих марок в Кузнецком, Якутском и Улугхемском угольных бассейнах весьма значительны.

Температура нагрева БПК ( $T_{\text{пк}}$ ) была задана на уровне  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ , что соответствует возможностям технологии «Сибтермо».

При непосредственном контакте твердого теплоносителя с углем нагрев происходит в высокоскоростном режиме, что, как известно из работы [3], приводит к значительному снижению газообразования, увеличению выхода нелетучих жидкоподвижных продуктов, сдвигу основополагающих процессов термической деструкции в область более высоких температур. Последнее необходимо учитывать при задании конечной температуры смешивания относительно стандартных температурных показателей пластического состояния используемого типа угля.

Кроме того, следует иметь в виду, что полукок будет адсорбировать газообразные и жидкие продукты деструкции, а на его поверхности будет формироваться прочный межфазный

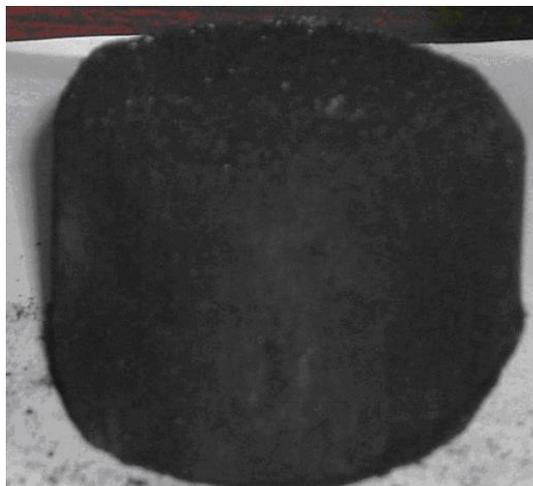


Рис. 2. «Сырой» углерод-углеродный композит

слой [1]. С учетом этого расчетный состав смеси оказался следующим: 70 % БПК + 30 % концентрата ГЖ.

Реактор с навеской (35 г) буроугольного полукокса помещали в шахтную электропечь, где осуществляли ее нагрев до  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ . По достижении этой температуры в микрореактор засыпали 15 г концентрата ГЖ и осуществляли его перемешивание с полукоксом в течение 30 – 40 с. Скорость нагрева угля составляла  $700 - 800 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$

За этот промежуток времени происходило падение температуры смеси с  $800$  до  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этом отмечалось непродолжительное сильное газовыделение в интервале температур от  $800$  до  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  и незначительное газовыделение в интервале температур от  $600$  до  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ . При дальнейшем падении температуры смеси ниже  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  газовыделение полностью прекращалось. Затем полученную смесь перегружали в предварительно обработанную изнутри графитовой смазкой обогреваемую матрицу (температура матрицы  $330 - 360 \text{ }^\circ\text{C}$ ). На высыпанную смесь сразу же ставили пуансон, и после изотермической выдержки в течение 20 – 30 с матрицу помещали на платформу машины сжатия. Применяемое давление на матрицу составляло 100 кН. Конечная температура смеси при загрузке в матрицу и время, необходимое для получения готовой формовки, составляли соответственно  $410 - 430 \text{ }^\circ\text{C}$  и 120 с.

Выданный из матрицы композит (рис. 2) охлаждали в слое песка до температуры окружающей среды. Потеря по массе композита от первоначальной массы смеси (50 г) усредненно составляла 14,0 %.

Полученные композиты (рис. 3) испытывали на прочность согласно ГОСТ 21289 – 75



Рис. 3. Термостабилизированный углерод-углеродный композит

«Брикеты угольные. Методы физических испытаний» на машине для испытания на сжатие ИП-6012-1000-1.

Качественная характеристика композитов представляется следующими данными:  $A^d = 9,1 \%$ ;  $V^d = 9,2 \%$ ; прочность на сжатие  $850 \text{ Н/см}^2$ .

Представляется возможным получение подобным способом и углеродминеральных композитов в качестве шихтовых материалов, например для металлургических процессов, в том числе при утилизации мелкодисперсных отходов.

Примерная принципиальная технологическая схема получения углеродминеральных композитов может, по нашему мнению, выглядеть так, как показано на рис. 4.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исламов С. Р. Энерготехнологическая переработка угля. – Красноярск: ООО «Поликор», 2009. – 224 с.
2. А.с. № 388609 СССР. Способ получения формованного кокса и углеродистого восстановителя / Школлер М.Б. и др. Бюллетень изобретений 1973. № 4.
3. Школлер М.Б., Дьяков С.Н., Субботин С.П. Современные энерготехнологические процессы глубокой переработки твердых топлив. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – 287 с.

© 2015 г. М.Б. Школлер  
Поступила 8 июня 2015 г.

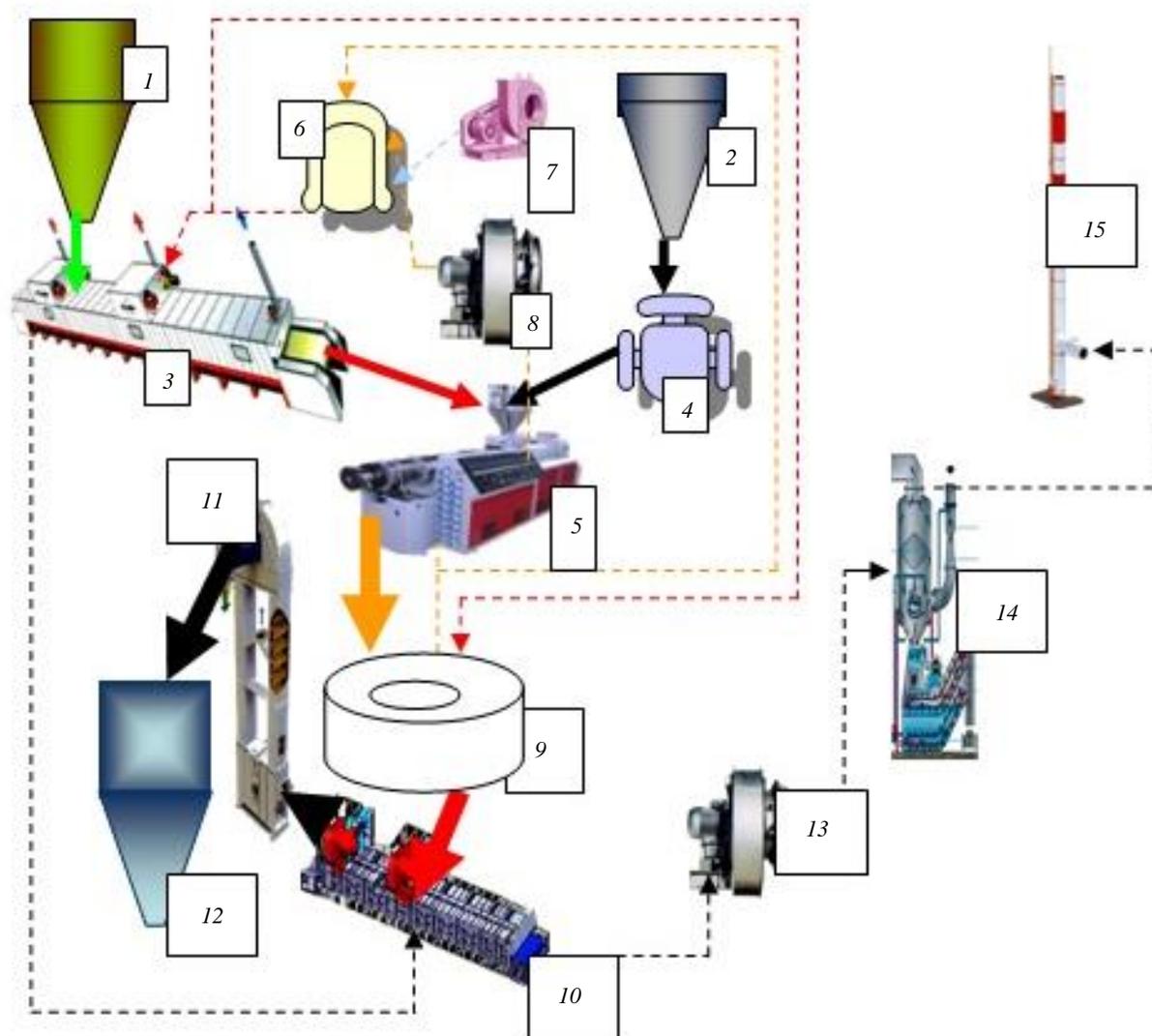


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема получения углерод-минеральных композитов термохимическим способом:

1 – бункер минерального компонента; 2 – бункер коксующегося угля;

3 – устройство для предварительного нагрева минерального компонента; 4 – мельница; 5 – экструдер; 6 – топка; 7 – воздуходувка; 8, 13 – дымососы; 9 – устройство термоупрочнения композитов; 10 – устройство для охлаждения композитов; 11 – элеватор; 12 – бункер композитов; 14 – газоочистка; 15 – дымовая труба

*С.В. Платонова*

Сибирский государственный индустриальный университет

## СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ПОД ПОДОШВОЙ ЛЕНТОЧНЫХ ЩЕЛЕВИДНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАСЧЕТОВ, ПОЛУЧЕННЫМИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ «PLAXIS»

В настоящее время используются математические модели грунта разной степени сложности [1]. Преимущество простых моделей заключается в меньшем количестве входных параметров, а также в простоте и ясности определяющих уравнений. Результаты моделирования при этом могут не соответствовать реальным условиям работы [2, 3]. Сложные, усовершенствованные модели позволяют описать поведение грунта точнее, но они требуют более широкого набора характеристик грунта, а также достаточной осведомленности и опытности инженера при постановке задачи, выборе модели и ее параметров, а также при анализе полученных результатов расчета.

Для уточнения характера распределения напряжений по подошве фундаментов в лаборатории Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета проведены лабораторные испытания [4]. Исследовано напряженное состояние грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов (рис. 1). Ширина плиты  $b_{пл}$  составляла 0,98 м, толщина стен  $b_{ст}$  – 0,14 м, высота стен  $h$  фундамента – 0,6 м.

В экспериментах использовали твердый суглинок нарушенной структуры плотностью



Рис. 1. Трехщелевой фундамент

$\gamma = 1,95 \text{ г/см}^3$ , естественная влажность  $W$  составляла 0,15, пластичность  $J_p = 0,06$ , показатель текучести  $J_L = 0,58$ , угол внутреннего трения  $\varphi = 26^\circ$ , сцепление  $c = 0,04 \text{ МПа}$ , модуль деформации суглинка  $E = 8 \text{ МПа}$ . Все физические и прочностные характеристики определены по стандартным методикам.

Для измерения напряжений под фундаментом и в грунтовом сердечнике использовали малые податливые датчики давления конструкции А.П. Криворотова [5], всего для выполнения экспериментов было изготовлено 64 датчика. Показания датчиков регистрировали автоматизированной тензометрической системой [6], в основе конструкции которой использован мост Уинстона. Тарировку датчиков осуществляли в заполненном исследуемым суглинком баке диам. 0,44 м, высотой 0,14 м. Плотность грунта в баке соответствовала плотности грунта в лотке.

Для измерения контактных напряжений в грунте было проведено четыре серии опытов с трехкратным повтором. Измеряли нормальные напряжения в плоскости возможных деформаций грунта (вертикальные  $\sigma_z$ , горизонтальные  $\sigma_x$ , наклонные  $\sigma_n$  (под углом  $45^\circ$  к вертикали)) и в направлении продольной оси штампа (горизонтальные  $\sigma_y$ ). Нагружение производили ступенчато по  $50 \text{ кН/м}^2$  до  $p = 600 \text{ кН/м}^2$ . Для каждой группы датчиков получены градуировочные характеристики [6]. Построены графики нарастания контактных напряжений при погружении (рис. 2). Представлены осредненные значения компонент напряжений (основанием для осреднения явились условия плоской деформации грунтового основания и симметричность загрузки фундамента). Получено по 12 значений для каждого компонента напряжений.

Распределение напряжений по подошве фундамента зависит от степени приближения

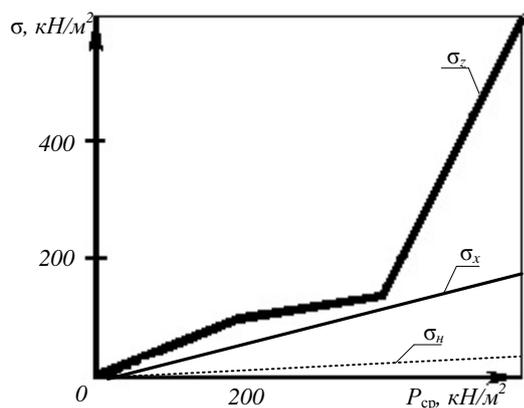


Рис. 2. Графики напряжений  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$

напряженного состояния к предельному. В глинистых грунтах развитие зон сдвигов по краям фундамента происходит позже и медленнее, чем в несвязных (песчаных) грунтах. При большом диапазоне изменения нагрузок наблюдается сравнительно интенсивный рост напряжений в этих же зонах. В проведенных опытах крайние датчики располагали на расстоянии  $0,5 b_{ст}$  от края штампа.

Вопрос об экспериментальном определении напряжений непосредственно под краем стен фундамента остается открытым. Можно полагать, что максимум напряжений на начальных ступенях нагружения до первой критической нагрузки приходится на край фундамента. Точно измерить напряжения при малых размерах ширины стенки непосредственно под кра-

ем фундамента на данном этапе исследований затруднительно.

По результатам проведенного эксперимента построены эпюры напряжений под подошвой фундамента (рис. 3). Следует отметить, что характер распределения измеренных напряжений по ширине подошвы фундамента равномернее на начальных стадиях нагружения. По мере увеличения внешней нагрузки напряжения увеличиваются (возрастают крайевые ординаты). Это говорит о слабом перераспределении напряжений под подошвой щелевидного фундамента в процессе роста нагрузки на него.

В настоящей работе для исследований напряженно-деформированного состояния грунтового массива при проведении расчетов использовано численное моделирование, реализованное в современном комплексе геотехнических программ «PLAXIS» [1]. Расчеты выполнены совместно с ООО «Фундамент» г. Новосибирска.

Программа «PLAXIS» располагает опцией оперативного математического моделирования стандартных лабораторных испытаний грунтов с использованием имеющихся расчетных моделей (опция «soil test»). В этом программном комплексе реализуется метод конечных элементов для непрерывной упругопластической среды. Возможно проследить изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) основания при поэтапном нагружении. Программа хорошо апробирована [2] и имеет соответствующий сертификат Росстандарта.

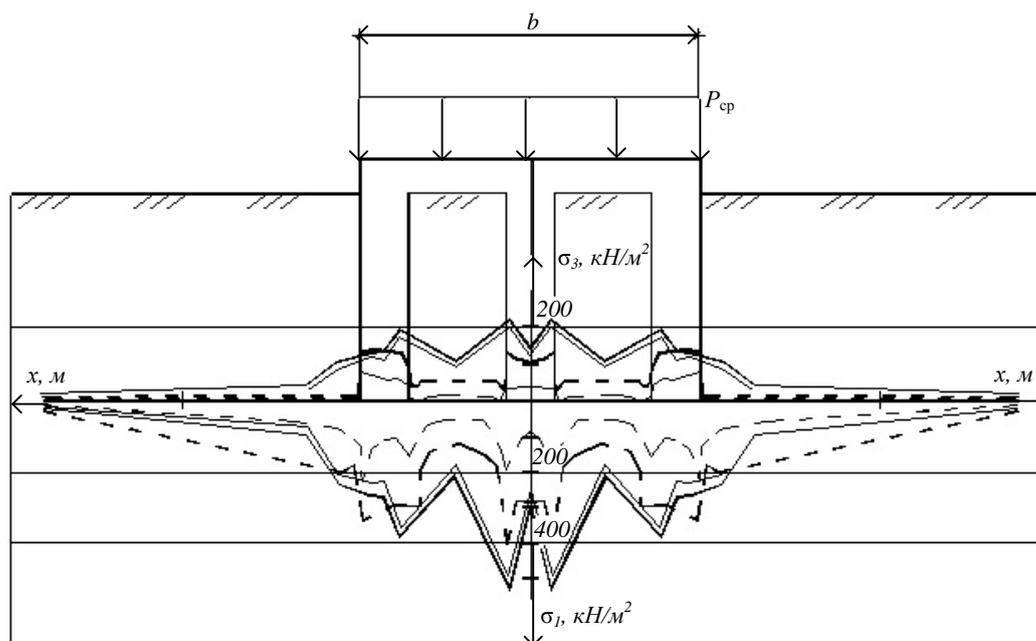


Рис. 3. Распределение напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  на глубине  $z = z/b = 0$  при заглублении фундаментов  $h = 0,6$  м:  
 - - - - - модель Кулона-Мора, ——— и ———— экспериментальные данные (малая и большая нагрузка)

Выбор расчетной модели грунта и определение ее параметров возможны на основе сопоставления результатов лабораторных испытаний и их виртуальных компьютерных аналогов [7]. В настоящей работе сопоставлены результаты расчета и полунатурных испытаний.

Для выполнения численных расчетов были выбраны две расчетные модели: упруго идеальнупластическая модель Кулона-Мора и линейная упругая модель. Эти модели включены в программный комплекс «PLAXIS», и, соответственно, можно провести сравнительный анализ и оценить влияние моделей и их расчетных параметров на прогнозируемое развитие напряженно-деформированного состояния грунта.

В результате проведенного моделирования определены возможные перемещения трехщелевого фундамента (рис. 4). По расчету максимальная осадка не превышает 20 см.

Результаты расчета грунтового массива, полученные по нелинейной упругопластической модели Кулона-Мора с учетом величины осадки в уплотненных глинистых грунтах нарушенной структуры, имеют большие расхождения с экспериментальными данными [4].

Экспериментальные значения напряжений (рис. 3) хорошо согласуются с теоретическими, полученными при использовании модели Кулона-Мора. Проведенный анализ результатов поэтапного моделирования позволил выявить, что для щелевидных фундаментов возможны значительные сжимающие и растягивающие напряжения в грунте у края стенок фундамента. Характер распределения напряжений в зависимости от расположения точек различен: при приближении к краевым участкам стенок фундамента при больших нагрузках появляется существенное увеличение вертикальных напряжений  $\sigma_z$ , что соответствует появлению линий сдвигов в краевых участках стенок фундамента. В центральной части загружаемого участка напряжения уменьшаются.

Использование модели Кулона-Мора обеспечивает надежную оценку статической работы фундамента. Проведенные расчеты с использованием современного комплекса геотехнических программ «PLAXIS» и исследования напряженно-деформированного состояния несущей системы для щелевидных фундаментов позволили получить представление о статической работе и несущей способности этих фундаментов, дать ряд рекомендаций.

Оценку НДС грунтового основания осуществляли с помощью тензометрических датчиков [6], опрашиваемых в разное время в за-

висимости от интенсивности изменения показателя

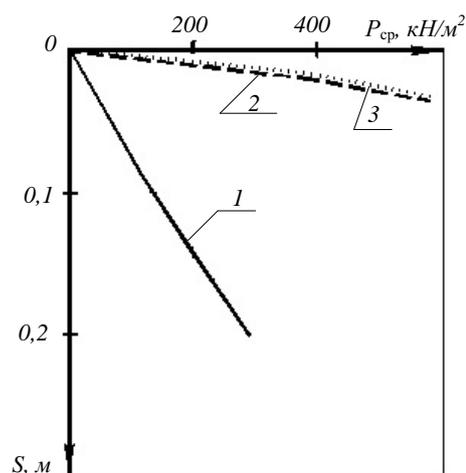


Рис. 4. Графики осадок для фундаментов (при заглублении  $h_f = 0,6$  м):

1 — опытные данные; 2 — модель Кулона-Мора; 3 — линейная упругая модель

ний. По специально разработанной в СибГИУ программе «Тензо» выполняли обработку и анализ измерений. Полученные в процессе мониторинга значения деформации и усилий сравнивали с расчетными значениями.

Таким образом, с использованием программного комплекса «PLAXIS» сопоставлены экспериментальные данные и результаты численного моделирования. Это, в свою очередь, дает возможность выбора соответствующих оптимальных решений, например, при строительстве в стесненных условиях с близко расположенными зданиями и инженерными коммуникациями. При необходимости по деформациям могут быть определены усилия и напряжения в фундаменте (последние сравниваются с нормативными прочностными показателями материала) [8 – 10].

**Выводы.** Модель Кулона-Мора можно рекомендовать для оценки предельного напряженного состояния и возможного механизма ее разрушения, а также для предварительных деформационных расчетов в целях экономии времени.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Платонова С.В. Анализ напряженно-деформированного состояния с использованием программного комплекса «PLAXIS». – В кн.: Инновационное будущее технических наук: сборник статей Международной научно-практической

- конференции, 20 января 2015 г. – Уфа: Аэтерна, 2015. С. 12 – 15.
2. Кожевникова С.В., Криворотов А.П. Напряженно-деформированное состояние упруго-пластического основания ленточных щелевидных фундаментов. – Новокузнецк: изд. Сибирского гос. индустр. ун-та, 2002. – 213 с.
  3. Платонова С.В. Особенности напряженно-деформированного состояния ленточного трехщелевого фундамента. – В кн.: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции НГАСУ. – Новосибирск: изд. Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2010. С. 30 – 34.
  4. Платонова С.В. Экспериментальное исследование напряженного состояния грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов. – В кн.: Инновационное будущее технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции. 20 января 2015 г. – Уфа: Аэтерна, 2015. С. 15 – 19.
  5. Криворотов А.П. О методике измерения давлений в грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1971. № 1. С. 6, 7.
  6. Платонова С.В. Тензометрическое устройство для измерения напряжений в грунтовой толще. – В сб.: Теория и практика современной науки: Материалы XVI Международной научно-практической конференции. – М.: 2014. С. 100 – 105.
  7. Платонова С.В. Исследование влияния заглубления щелевого фундамента на его осадки и напряженное состояние грунтового основания // Инновации и инвестиции. 2014. № 12. С. 187 – 191.
  8. Платонова С.В., Криворотов А.П. Расчет прочности щелевидного фундамента // Изв. вуз. Строительство. 1995. № 4. С. 23 – 29.
  9. Платонова С.В. Анализ напряженно-деформированного состояния ленточных щелевидных фундаментов с использованием программы «Геомеханика». – Уфа: РИЦ Аэтерна, 2015. – 176 с.
  10. Платонова С.В. Исследование характера напряженно-деформированного состояния грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. № 2. С. 14 – 22.

© 2015 г. С.В. Платонова  
Поступила 24 февраля 2015 г.

*А.Р. Горбунова<sup>1</sup>, А.М. Шипилова<sup>2</sup>, И.С. Семина<sup>2</sup>, И.П. Беланов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>«Разрез Краснобродский» Филиал ОАО Угольная компания «Кузбассразрезуголь»

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>3</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ КУЗБАССА

Проблема рекультивации земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых открытым способом, является одной из ключевых в Кузбассе.

В настоящее время на территории Кемеровской области общая площадь техногенно нарушенных территорий составляет не менее 200 тыс. га. Рельеф местности сильно изменен вследствие ведения горных работ, основные площади техногенных ландшафтов представлены отвалами вскрышных пород, образованных в результате разработки угольных месторождений.

В целом в Кузбассе скорость отчуждения земель под горные работы значительно превышает скорость рекультивации этих земель. При этом экологическая эффективность используемых технологий рекультивации, как правило, невелика. Проблема рекультивации и последующего использования нарушенных земель является важной не только для Кемеровской области, но и для Сибири в целом.

В настоящей работе проведены исследования в лесостепной зоне Кузнецкой котловины на территории Киселевского района.

Объектами рекультивации являются два внешних и шесть внутренних отвалов разреза. Все объекты рекультивации связаны между собой подъездными автодорогами, которые после отработки участка остаются и не рекультивируются.

Цель проводимых работ – создание ландшафта с максимальной экологической ценностью при минимальных финансовых затратах.

Рекультивация проводится в два этапа: технический и биологический.

Основной задачей планировочных работ является создание посттехногенного ландшафта, который должен соответствовать ряду требований:

– инженерно-геологическая безопасность – отсутствие процессов, которые могли бы не-

благоприятно влиять на существующие или будущие объекты хозяйственной деятельности;

– экологическая приемлемость – отсутствие выделения вредных веществ в атмосферу, гидросферу;

– потребительская ценность – возможность использования возрожденного ландшафта для удовлетворения потребностей населения;

– эстетическая привлекательность – разнообразие, мозаичность элементов пейзажа, гармоничное его сочетание с природным фоном.

Для проведения технического этапа рекультивации используются бульдозеры. Грубая планировка платообразной поверхности отвалов (как внешних, так и внутренних) производится вслед за отсыпкой отвалов с целью создания равномерной усадки последних. Проведение чистовой планировки осуществляется через год.

Технология формирования отвалов определяет в дальнейшем плотность и порозность формирующихся типов почв. В процессе отсыпки отвалов слои породы переуплотняются тяжелой техникой. Помимо техники, которая используется для отсыпки отвала, на плотность почв также влияют минералогический и гранулометрический составы входящих в отвал пород.

Экологическое состояние техногенных ландшафтов также во многом зависит от качества слагающих пород и рельефа поверхности. В большинстве случаев плотные вскрышные и вмещающие породы, вынесенные на дневную поверхность, обладают очень малым потенциалом почвообразования. Поэтому очень важную роль при проведении рекультивационных мероприятий имеют рыхлые вскрышные потенциально плодородные породы – лессовидные суглинки и глины (ППП), а также плодородный слой почвы (ПСП) [1]. Внесение PPP в посадочные ямы принято проводить непо-

средственно перед высадкой саженцев лесных культур.

Через год после технического этапа рекультивации проводится биологический этап. Целью биологической рекультивации является создание растительного покрова на рекультивируемых землях, восстановление плодородия грунтов, создание благоприятных условий среды, возвращение нарушенных земель землепользователю по различным направлениям:

- лесохозяйственное – на горизонтальных поверхностях внешних и внутренних отвалов;
- санитарно-гигиеническое – откосы внутренних отвалов, обращенные в сторону остаточной выработки.

Период проведения биологического этапа рекультивации по лесохозяйственному направлению составляет пять лет. Видовой состав трав очень разнообразен. На естественных угодьях преобладают злаковые травы: овсяница луговая, ежа сборная, мятлик луговой, пырей ползучий.

При создании противоэрозионного озеленения на рекультивируемых участках используются наиболее перспективные виды растений, эколого-биологические свойства которых соответствуют почвенно-климатическим условиям местности, а именно, травосмеси должны обладать стойкостью к биологическому старению даже в позднем возрасте; требовать минимального ухода, проявлять устойчивость к болезням и вредителям, достаточную зимо- и морозоустойчивость; иметь способность самообновляться без помощи или с минимальным участием человека. Посев должен производиться в прохладные дни с периодическим выпадением осадков.

Все полевые работы в первый год биологического этапа рекультивации (внесение удобрений, подготовка грунтов к посеву, посев смеси многолетних трав, посадка древесных насаждений) проводятся в период с третьей декады апреля по третью декаду мая.

Леса являются одним из важнейших факторов, оптимизирующих экологическую обстановку. Средообразующая функция растительности прямо пропорциональна биологической продуктивности, массе живого вещества. Для получения лесных насаждений на спланированных поверхностях отвала и автодороги предусматривается посадка одно - трехлетних саженцев сосны обыкновенной, лиственницы, а также облепихи и лоха серебристого.

Посадка деревьев производится после внесения удобрений и оттаивания грунтов на глубину 35 - 40 см до распускания почек или осе-

нию со времени начала листопада до промерзания грунтов.

Технологический комплекс для выполнения биологического этапа рекультивации включает в себя трактор с навесным оборудованием.

Территория, где проводились исследования, имеет сложное геологическое строение: преобладают мощные крутопадающие пласты, разработка которых открытым способом сопровождается образованием обширных отвалов, что создает неблагоприятные экологические условия. Поэтому своевременная и качественная рекультивация нарушенных земель является необходимым комплексом мероприятий восстановления разрушенных экосистем, сохранения биологического разнообразия и сохранения экологической емкости территории.

Следует учитывать, что разработка современных и эффективных технологий рекультивации невозможна без учета местных природных ресурсов рекультивации. Природные ресурсы рекультивации можно разделить на три группы: литогенные, климатогенные и биогенные. К литогенным ресурсам рекультивации относятся субстраты, которые составляют основу техногенных ландшафтов в Кузбассе. Основными литогенными ресурсами, обладающими наибольшим потенциалом восстановления почв, являются лессовидные суглинки и плодородный слой почвы.

Климатогенные ресурсы - это климатические характеристики территории, на которой проводятся рекультивационные мероприятия: количество атмосферных осадков, сумма биологически активных температур и т.д.

Биогенные ресурсы рекультивации характеризуются показателями естественных экосистем, расположенных в районе проведения рекультивационных работ. При этом учитывается биологическое разнообразие экосистем, их общая продуктивность и т.д. [2].

Таким образом, для восстановления нарушенных земель необходимо проведение комплекса рекультивационных мероприятий после окончания технологических работ. Наиболее экологически результативную рекультивацию техногенных ландшафтов можно осуществить только при условии максимально полного и рационального использования местных природных ресурсов. Полнота использования в технологиях рекультивации местных природных ресурсов определяет перспективы функционирования техногенных ландшафтов.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

Поступила 12 мая 2015 г.

1. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. – Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 2004. С. 22 - 27.

2. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования / И.С. Семина, И.П. Беланов, А.М. Шипилова, В.А. Андроханов – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 396 с.



Заращение отвалов

© 2015 г. *А.Р. Горбунова, А.М. Шипилова, И.С. Семина, И.П. Беланов*

*Г.С. Гун*

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

## ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТОГОРСКОГО ЦЕНТРА КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ (НАУЧНЫЙ ОБЗОР)\*

В Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова (МГТУ) интенсивно развивается теория оценки и управления качеством в металлургии. Открыт центр качества, созданы специализированный факультет, филиал Академии проблем качества РФ, открыт и эффективно действует единственный в России диссертационный совет по специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции» в металлургии. Анализ результатов исследований в этой сфере и посвящен предлагаемый научный обзор [1 – 6].

### **Методология управления качеством. Концепции и подходы**

В последнее десятилетие в мировой науке стала стремительно развиваться теория оценки и управления качеством продукции. Появилась новая наука – квалиметрия [7]. Оценкой и управлением качеством металлопродукции занимались В.Т. Жадан, Ю.П. Адлер, Л.А. Кузнецов, М.Б. Гитман, В.В. Бринза, А.Б. Найзабеков, В.Е. Громов, Э.А. Гарбер и многие другие ученые [8 – 10].

Но целостного методологического подхода к оценке и управлению качеством в известных работах сформулировано не было. Учеными Магнитогорского горно-металлургического института им. Г.И. Носова (в настоящее время МГТУ им. Г.И. Носова) впервые предложена в 1978 г. теория квалиметрии металлургии [11, 12].

Магнитогорской научной школой разработана теория оценки качества (сначала на примере производства высокоточных профилей).

Основные положения предложенной методологии использованы и внедрены при оптимизации технологических процессов на Череповецком сталепрокатном заводе, Магнитогорском металлургическом комбинате и ряде других предприятий металлургической отрасли [13 – 17]. С использованием аппарата формальной логики и принципов квалиметрии впервые разработана методология оценки качества металлопродукции с учетом качественного статуса единичных показателей качества (введены понятия – доминирующие и компенсируемые показатели) [18 – 24]. Выбрана и обоснована целевая функция комплексной оценки объекта (продукции, технологии), разработаны методы определения комплексных, интегральных и единичных оценок показателей качества с использованием аппарата механики сплошных сред.

В докторской диссертации [25], первой защищенной в совете Д 212.111.05 при МГТУ им. Г.И. Носова, и других работах [26, 27] Д.М. Закировым разработан методологический подход для изучения эффективности технологического процесса производства крепежа, основанный на представлении технологического процесса как операционной системы.

На основе системного подхода предложена схема иерархии свойств процесса изготовления крепежа как дерева с тремя ветвями: свойства исходной заготовки, свойства технологии и свойства готовой продукции. Разработана методика оценки единичных свойств технологических процессов изготовления крепежа, включающая применение гаммы зависимостей оценки от физических и организационно-экономических показателей. Предложенная гамма зависимостей учитывает различные варианты динамики связей и охватывает все исследуемые показатели.

Одним из ярких представителей магнитогорской научной школы управления качеством в металлургии является Г.Ш. Рубин [28 – 30]. Им разработана методология функционально-целевого анализа, сформулированы понятия и

\* Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания Магнитогорскому государственному техническому университету им. Г.И. Носова № 11.1525.2014К от 18.07.2014 г., а также реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 02.G25.31.0040 от 11.02.2013 г.).

принципы функционально-целевого анализа как методологическая основа исследования структуры качества металлических изделий и технологических процессов их производства. Предложен комплекс требований к функциям свертки оценок качества, отражающий системный подход к исследованию и оценке качества метизов промышленного назначения и учитывающий эффект эмерджентности в системах. Применен процессный подход к оценке результативности технологических процессов производства метизов. Разработаны методы совершенствования технологических процессов, основанные на принципах нечеткого моделирования с целью получения заданного качества метизов, а также методы факторного анализа для повышения результативности технологического процесса. Разработаны понятия и методы локальной, глобальной и комплексной результативности многооперационного процесса производства, основанные на функциональном подходе к оценке технологического процесса, а также методы их оценки.

Получение всей необходимой для управления показателями качества продукции информации в структурно-сложных и многофакторных процессах обработки, характеризующихся действием наследственных связей между технологическими операциями, связано с большими сложностями, финансовыми и временными затратами. Это, в свою очередь, затрудняет установление четкого однозначного соответствия между параметрами управления процессами обработки и показателями качества металлических изделий.

В этих условиях существующие методы управления показателями качества продукции, основанные на детерминированных или случайно-вероятностных математических моделях, оказываются не вполне эффективными.

В трудах А.Г. Корчунова и его коллег [31 – 33] разработана концепция управления показателями качества металлических изделий в технологических процессах метизного производства, отличающаяся использованием математических моделей с элементами нечеткой логики при формализации взаимосвязи между параметрами процесса управления, более адекватно описывающими реальную ситуацию с учетом неполноты и нечеткости исходной информации. Предложены математические модели управления показателями качества металлических изделий в процессах обработки калиброванной стали, высокопрочной арматуры, железнодорожных пружинных клемм, отличающиеся использованием нечетких и лингвистических переменных при формировании условий

и заключений в логических правилах управления вида «если ..., то», позволяющие определять технологические режимы обработки, обеспечивающие получение заданного уровня показателей качества готовой продукции.

Под руководством И.Г. Гуна в Магнитогорске создан сначала мини-завод порошковой металлургии, а затем – одно из ведущих в России предприятий по производству автокомпонентов – НПО «Белмаг» [34, 35] как базовая кафедра МГТУ им. Г.И. Носова по отработке инновационных технологий для автопрома.

Проблема отсутствия для целого ряда металлоизделий методик оценки технологических процессов их производства с точки зрения требований стандарта ИСО/ТУ 16949, предъявляемых к автокомпонентам, негативно сказывается на конкурентоспособности металлургических и металлоперерабатывающих предприятий. Особенно актуальной эта проблема становится в настоящее время, когда на территории России расширяется присутствие иностранных автомобилестроительных компаний.

Одними из наиболее ответственных узлов автомобиля, качество которых практически полностью определяется уровнем металлоперерабатывающих процессов, являются шаровые шарниры передней подвески. Большинство показателей качества этих изделий формируется на стадии осуществления операций обработки металлов давлением при изготовлении их компонентов, а также создания сборочных соединений узлов.

Под руководством И.Г. Гуна специалисты И.А. Михайловский, В.В. Сальников, Ю.В. Калмыков, Д.С. Осипов, В.И. Куцепедик, В.И. Артюхин и другие разработали теорию оценки и управления качеством при производстве автокомпонентов с использованием металлургических процессов [36 – 50].

Сформирован и обоснован комплекс показателей качества шаровых шарниров, определяющих оценку результативности технологических процессов их производства. Разработана методология определения результативности производства шаровых шарниров, учитывающая показатель выхода несоответствующей продукции (ppm) по различным показателям качества изделий с учетом их весомости и позволяющая выявлять технологические операции, требующие приоритетного улучшения для повышения результативности.

Предложена методика проведения комбинированных испытаний шаровых шарниров для определения взаимосвязи между показателями качества изделий «циклическая долго-

вечность шарнира» и «гарантийный срок эксплуатации» на основе оценки изменения технического состояния узлов.

Создана модель формирования микронеровностей неполной сферической поверхности головок шаровых пальцев при планетарной обкатке, позволяющая обеспечить требуемый уровень качества по характеристикам шероховатости.

Установлены зависимости, характеризующие влияние технологических параметров процессов поверхностного пластического деформирования обкаткой на формирование показателя качества «высотные параметры шероховатости неполной сферической поверхности» основных компонентов шарниров – шаровых пальцев.

Создана комплексная математическая модель для процесса запрессовки шарнира и определения его показателя качества «усилие выдавливания шарового пальца из корпуса».

Учеными О.Н. Тулуповым, А.Б. Моллером и другими разработан пакет методик для управления качеством при сортовой прокатке, позволяющий развить процессный подход с применением структурно-матричного описания объектов и внедрить результаты на предприятиях металлургической отрасли [51 – 53].

Профессор А.М. Песин возглавил цикл работ по управлению качеством на основе теории ограничений [54, 55]. Профессор И.Ю. Мезин провел цикл работ по управлению и прогнозированию качества в процессах нанесения покрытий [56].

Необходимо отметить плодотворное сотрудничество магнитогорских ученых с пермскими специалистами под руководством профессора М.Б. Гитмана [57, 58]. В современных рыночных условиях для управления качеством продукции на металлургических предприятиях кроме традиционно используемых технических и технологических методов необходимо широкое применение организационных, экономических и социальных методов, соответствующих основным принципам TQM. Таким образом, разработка и внедрение на металлургических предприятиях инновационных методов управления качеством продукции, реализующих принципы TQM, являются актуальной научно-технической проблемой.

С.А. Федосеевым определены современные механизмы управления металлургическими предприятиями, реализующие такие принципы TQM, как ориентация на потребителя, лидерство руководителей, вовлечение работников, процессный подход, системный подход, по-

стоянное улучшение, принятие решений, основанных на фактах.

Для реализации таких принципов TQM, как лидерство руководителей, вовлечение работников и системный подход, предложена схема иерархии принятия решений металлургического предприятия, включающая три уровня управления (стратегический, тактический и оперативный) и отличающаяся наличием обратных связей между этими уровнями.

Разработан новый алгоритм структурной адаптации, учитывающий дополнительные ограничения, возникающие при переходе на нижележащие уровни управления в иерархии принятия решений, при минимальном отклонении от оптимальных значений показателей качества продукции.

Для реализации принципа TQM вовлечения работников на основе теории нечетких множеств предложен новый метод построения обобщенного (комплексного) критерия оптимальности, который более адекватно учитывает экспертные оценки значимости частных критериев оптимальности.

Для реализации принципов TQM ориентации на потребителя и повышения уровня качества металлопродукции по показателю своевременности поставки разработана математическая модель для формирования оптимального портфеля заказов на стратегическом уровне управления, отличающаяся возможностью учета нечетких ограничений и нескольких критериев оптимальности, в том числе критерия важности потребителей для предприятия.

Исследователями М.В. Чукиным и М.П. Барышниковым разработаны теоретические принципы оценки качества с учетом несплошности металла, а также оценки качества ультрадисперсных материалов, полученных в результате деформационных и тепловых воздействий [59 – 68]. Из работ последних лет следует отметить перспективные исследования Э.М. Голубчика и М.А. Поляковой. Э.М. Голубчиком разработана методология адаптивного управления качеством и принципы прогнозирования свойств конечной металлопродукции на разных технологических стадиях ее жизненного цикла в зависимости от требований стандартов и потребителей [69 – 71].

Предложена двухконтурная двухуровневая система адаптивного управления качеством продукции, реализующая возможности адаптации требований потребителей к показателям качества на заданном множестве технологических маршрутов и/или адаптации технологического маршрута к требованиям потребителя к показателям качества продукции.

Разработана методика принятия решений по организации технологического процесса, отличающаяся возможностью прогнозирования конечного уровня показателей качества металлопродукции на разных технологических стадиях ее жизненного цикла в многовариантных технологических системах.

М.А. Полякова с коллегами предложила новую теорию стандартизации продукции – протипологию [72, 73]. Разработана теория прогнозирования изменения показателей во времени на основе свойств S-образных кривых [74]. Предлагаемый технологией аппарат позволяет корректно прогнозировать динамику роста показателей качества с определением временных интервалов эффективности существования процесса.

Предложена методология определения результативности и эффективности процессов в соответствии с современными международными стандартами. Теория качества апробирована на широком сортаменте металлопродукции: листе, жести, канатах, проволоке, крепеже, гнутых профилях, прокатных валках, биметаллической продукции, платините и др. [75 – 91].

**Выводы.** В исследованиях магнитогорских ученых за последние четыре десятилетия разработана и широко апробирована теория оценки качества в металлургии. В соответствии с современными международными стандартами предложена методология определения результативности и эффективности процессов. Теория качества апробирована на широком сортаменте металлопродукции. Предложена и развивается новая наука – протипология.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колокольцев В.М. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. История. Развитие // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 5, 6.

2. Колокольцев В.М., Разинкина Е.М. Университетский комплекс: интеграция и непрерывность // Высшее образование в России. 2011. № 5. С. 3 – 10.

3. Колокольцев В.М., Разинкина Е.М., Глухова А.Ю. Подготовка квалифицированных кадров в условиях университетского комплекса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-2. С. 615 – 618.

4. Гун Г.С. Достижения магнитогорских ученых в обработке материалов давлением

(научный обзор) // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2015. № 1. С. 5 – 22.

5. Колокольцев В.М. Пять лет от аттестации до аттестации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 5 – 11.

6. Гун Г.С., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун И.Г., Рубин Г.Ш. Научно-педагогическая школа Магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производственных процессов // Качество в обработке материалов. 2014. № 1. С. 5 – 8.

7. Чукин М.В., Колокольцев В.М., Гун Г.С., Салганик В.М., Платов С.И. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 55 – 59.

8. Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б., Дыя Х., Найзабеков А.Б. Методы исследования механических характеристик металлов и сплавов в процессах обработки давлением с учетом неоднородности структуры // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 4 (48). С. 26 – 31.

9. Гун Г.С. Инновационные методы и решения в процессах обработки материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 4 (48). С. 99 – 113.

10. Гун Г.С. Инновационные решения в обработке металлов давлением (научный обзор) // Качество в обработке материалов. 2014. № 2. С. 5 – 26.

11. Гун Г.С., Сторожев С.Б. Расчет комплексного показателя качества на примере оценки качества стальных фасонных высокоточных профилей // Стандарты и качество. 1978. № 1. С. 39 – 41.

12. Goon G.S., Storozhev S.B. A qualimetric approach to the analyse of highly accurate structural shapes production // Steel in the USSR. London. 1978. № 8. P. 349 – 350.

13. Гун Г.С. Совершенствование технологии производства высокоточных профилей оптимизацией по комплексному критерию качества: дис. д-ра техн. наук. – М., 1985. – 276 с.

14. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей. – М.: Металлургия, 1984. – 152 с.

15. Гун Г.С. Метод комплексной оценки качества металлопродукции // Изв. вуз. Черная металлургия. 1982. № 8. С. 62 – 65.

16. Г у н Г.С. Теоретическое обоснование комплексной оценки качества металлопродукции // Известия АН СССР. Металлы. 1983. № 4.
17. Г у н Г.С. Критерии управления качеством процесса изготовления фасонных профилей // Известия АН СССР. Металлы. 1984. № 2.
18. Р у б и н Г.Ш., Г у н Г.С., П у д о в Е.А. Комплексная оценка качества стальной канатной проволоки // Сталь. 1983. № 1. С. 56.
19. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства / А.Г. Корчунов, М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.А. Полякова. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2012. – 164 с.
20. Рубин Г.Ш., Гун Г.С., Чукин М.В., Корчунов А.Г. Квалиметрия в металлургии. – В кн.: Качество в производственных и социально-экономических системах: материалы Международ. науч.-техн. конф. – Курск, 2013. С. 185 – 189.
21. R u b i n G.Sh., G u n G.S., C h u k i n M.V., G u n I.G., K o r c h u n o v A.G. Разработка теории квалиметрии в металлургической отрасли. – In book: XIV International Scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering: a collective monograph edited by Henryk Dzia, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. Czestochowa, 2013. P. 51 – 55.
22. G u n G.S., R u b i n G.Sh., C h u k i n M.V., G u n I.G., M e z i n I.U., K o r c h u n o v A.G. Metallurgy qualimetry theory design and development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 5 (45). P. 67 – 69.
23. Г у н Г.С., Ч у к и н М.В., Р у б и н Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Металлургические процессы и оборудование. 2013. № 4 (34). С. 106 – 112.
24. Г у н Г.С., Р у б и н Г.Ш., Ч у к и н М.В., М е з и н И.Ю., К о р ч у н о в А.Г., Г у н И.Г. Разработка и развитие теории квалиметрии металлургии. – В кн.: Материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Современные металлические материалы и технологии (СММТ’13)» (25-29 июня 2013 г., Санкт-Петербург). – СПб., 2013.
25. З а к и р о в Д.М. Развитие теории оценки качества и практики производства метизов автомобильного назначения на основе разработки конкурентоспособных технологий: дис. д-ра техн. наук. – Белебей, 2008. – 350 с.
26. Р у б и н Г.Ш., Ч у к и н М.В., Г у н Г.С., З а к и р о в Д.М., Г у н И.Г. Разработка теории квалиметрии метизного производства // Черные металлы. 2012. № 7. С. 15 – 20.
27. Г у н Г.С., Ч у к и н М.В., Г у н И.Г., К о р ч у н о в А.Г., М е з и н И.Ю., Р у б и н Г.Ш., З а к и р о в Д.М. Разработка теории квалиметрии производства металлоизделий. – В кн.: Труды IX конгресса прокатчиков. Т. 1. Череповец, 16-18 апреля 2013. – Череповец, 2013. С. 237 – 244.
28. Г у н Г.С., Р у б и н Г.Ш. Логические законы оценки качества продукции. Деп. ВИНТИ. 19.08.81. № 4105-81. – 23 с.
29. Р у б и н Г.Ш. Квалиметрия метизного производства. – Магнитогорск: изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 167 с.
30. Г у н Г.С., Р у б и н Г.Ш., П у д о в Е.А., К у п р и н В.М. Выбор эффективной технологии получения профилей повышенной точности для машиностроения // Изв. вуз. Машиностроение. 1981. № 5. С. 155 – 157.
31. К о р ч у н о в А.Г. Методология управления показателями качества продукции в технологиях метизного производства на основе моделей с элементами нечеткой логики: дис. д-ра техн. наук. – Магнитогорск, 2010. – 320 с.
32. К о р ч у н о в А.Г., Л ы с е н и н А.В. Управление качеством метизной продукции в условиях неопределенности технологической информации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 3 (39). С. 43 – 45.
33. Г у н Г.С., Ч у к и н М.В., Р у б и н Г.Ш., М е з и н И.Ю., К о р ч у н о в А.Г. Актуальные проблемы квалиметрии метизного производства в период зарождения шестого технологического уклада // Металлург. 2014. № 4. С. 92 – 95.
34. Получение порошковых материалов и изделий (Опыт работы завода «Марс») / А.А. Гостев, Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, Е.Г. Козодоев, И.Ф. Тимошенко, И.Г. Гун. – Магнитогорск: изд. отдел. Магнитогорского полиграфпредприятия, 1993. – 112 с.
35. Г у н Г.С., Г о с т е в А.А., Г у н И.Г. Концепция мини-завода порошковой металлургии с использованием в качестве сырья чугуной стружки. – В кн.: Новые технологии получения слоистых порошковых материалов, композиционных покрытий: Материалы Международ. науч.-техн. конф. Сочи, 7-10 сентября 1993. – Сочи, 1993.
36. М и х а й л о в с к и й И.А. Повышение результативности производства шаровых шарниров на основе регламентации комплекса требований к качеству изделий и материалов: дис. д-ра техн. наук. – Магнитогорск, 2011. – 310 с.
37. Г у н И.Г., М и х а й л о в с к и й И.А. Способ чистовой обработки неполных сфери-

ческих поверхностей обкатыванием // Технология машиностроения. 2001. № 4. С. 12 – 15.

**38.** Михайловский И.А., Сальников В.В., Осипов Д.С., Гун И.Г. Совершенствование режимов планетарной обкатки головок шаровых пальцев на основе анализа микро топографии поверхности с целью повышения качества изделий // Вестник Череповецкого государственного университета. 2011. № 2. Т. 2. С. 10 – 14.

**39.** Сальников В.В., Михайловский И.А., Гун И.Г. Моделирование процесса разрушения шарового шарнира передней подвески автомобиля при осевом нагружении // ААИ. 2011. № 2. С. 51 – 53.

**40.** Гун И.Г., Михайловский И.А. Анализ и совершенствование процесса планетарной обкатки головок шаровых пальцев. – В кн.: Совершенствование технологий производства и конструкций автомобильных компонентов: Сб. науч. тр. – М.: ИД «АИИ-ПРЕСС», 2003. С. 119 – 123.

**41.** Михайловский И.А., Гун И.Г., Лапчинский В.В. Методика проведения и обработка результатов объединенных испытаний верхних шаровых пальцев передней подвески автомобилей ВАЗ 2101 – 2107 // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2004. № 4 (8). С. 43 – 50.

**42.** Пат. № 2263889 РФ. Стенд для испытаний шаровых шарниров / Михайловский И.А., Гун И.Г., Ясаков Ю.М. и др. Заявл. 29.12.2003. Оpubл. 10.11.2005.

**43.** Пат. № 2162785 РФ. Способ обработки неполной сферической головки шарового пальца поверхностным деформированием / Гун И.Г., Железков О.С., Михайловский И.А. Заявл. 10.02.2000. Оpubл. 10.02.2001.

**44.** Пат. № 2475652 РФ. Шаровой шарнир / Гун И.Г., Артюхин В.И., Калмыков Ю.В., Левченко П.Е., Сальников В.В., Гун Е.И. Заявл. 13.07.2012. Оpubл. 20.02.2013.

**45.** Пат. № 2501995 РФ. Шаровой шарнир рулевого управления / Гун И.Г., Артюхин В.И., Гун Е.И., Калмыков Ю.В., Сальников В.В., Куцепендик В.И. Заявл. 13.07.2012. Оpubл. 20.12.2013.

**46.** Шаровые шарниры шасси: совершенствование конструкций, технологий и методов оценки качества / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, Е.И. Гун, Е.Г. Касаткина. – Магнитогорск: изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 201 с.

**47.** Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Куцепендик В.И., Сальников В.В., Гун Е.И., Смирнов

Ал.В., Смирнов Ар.В. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 52 – 57.

**48.** Михайловский И.А., Куцепендик В.И., Гун Е.И., Гун И.Г., Сальников В.В. Разработка процесса планетарно-поворотной обкатки // Metallургические процессы и оборудование. 2014. № 1. С. 39 – 45.

**49.** Гун И.Г., Осипов Д.С., Михайловский И.А., Калмыков Ю.В., Куцепендик В.И., Сальников В.В., Гун Е.И. Разработка, моделирование и исследование процессов ОМД при производстве шаровых шарниров автомобилей. – В кн.: Инновационные технологии обработки металлов давлением: Сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. – М.: изд. НИТУ «МИСиС», 2011. С. 482 – 487.

**50.** Куцепендик В.И., Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Сальников В.В., Гун Е.И., Смирнов Ар.В., Смирнов Ал.В. – В кн.: Развитие процессов ОМД в производстве автокомпонентов // XIV International Scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. – Czestochowa, 2013. P. 309 – 316.

**51.** Моллер А.Б. Методология управления качеством в сортопрокатной технологической системе на основе адаптивных моделей формирования потребительских свойств продукции: дис. д-ра техн. наук. – Магнитогорск, 2011. – 283 с.

**52.** Моллер А.Б., Тулупов О.Н., Левандовский С.А. и др. Разработка и применение баз данных технологических параметров с целью освоения и совершенствования сортопрокатных станов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. № 4. С. 36 – 40.

**53.** Моллер А.Б., Тулупов О.Н., Лимарев А.С., Назаров Д.В. Концепция построения современных моделей прокатки на сортовых станах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 64 – 67.

**54.** Леднева Г.А. Повышение эффективности управления качеством в металлургии с использованием сбалансированной системы показателей с учетом ограничений: дис. канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2008. – 114 с.

**55.** Баскакова Н.Т. Повышение эффективности подсистемы менеджмента качества

планирования ремонтов металлургического оборудования на основе оптимизации срока службы с учетом ограничений: дис. канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2010. – 137 с.

**56.** Бузунов Е.Г. Методика прогнозирования качества покрытия при горячем цинковании проволоки на основе использования статистического анализа и фрактальной геометрии: дис. канд. техн. наук. – Магнитогорск. 2010. – 119 с.

**57.** Гитман М.Б., Пустовойт К.С., Столбов В.Ю., Федосеев С.А., Гун Г.С. Концептуальная модель ситуационного центра промышленного предприятия // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 102 – 107.

**58.** Федосеев С.А. Управление качеством продукции метизно-металлургических предприятий на иерархически связанных этапах планирования производства: дис. д-ра техн. наук. – Пермь, 2012. – 341 с.

**59.** Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б. Анализ программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4 (40). С. 72 – 74.

**60.** Чукин М.В., Барышников М.П., Беляев А.О. Подход к определению коэффициента трения в задачах обработки металлов давлением на основе представления области контакта как некомпактной среды // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 3. С. 25 – 28.

**61.** Чукин М.В., Барышников М.П., Беляев А.О. Методика оценки коэффициента пропорциональности в процессах ОМД с применением средств объектно-ориентированного программирования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 4 (24). С. 76 – 79.

**62.** Гун Г.С., Чукин М.В., Емалеева Д.Г., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Барышников М.П. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 3 (19). С. 84 – 86.

**63.** Чукин М.В., Голубчик Э.М., Гун Г.С., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Чукин Д.М., Матушкин А.Н. Исследование физико-механических свойств и

структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 43 – 48.

**64.** Chukin M.V., Korshunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V. Nanodimensional in high carbon steel structural part formation by thermal and deformation processing // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 5 (45). P. 33 – 35.

**65.** Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры из высокоуглеродистых марок стали // Черные металлы. 2012. № 12. С. 8 – 15.

**66.** Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термомодеформационного наноструктурирования // Черная металлургия. Бюл. Черметинформации. 2012. Вып. 4. С. 100 – 105.

**67.** Ушаков С.Н., Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения // Путь и путевое хозяйство. 2012. № 11. С. 25 – 28.

**68.** Гун Г.С., Мезин И.Ю., Рубин Г.Ш., Минаев А.А., Назайбеков А.Е., Дыя Х. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 92 – 97.

**69.** Голубчик Э.М. Развитие методологических основ адаптивного управления качеством металлопродукции в многовариантных технологических системах: дис. д-ра техн. наук. – Магнитогорск, 2014. – 417 с.

**70.** Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 63 – 69.

**71.** Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Рубин Г.Ш. Применение принципов технологической адаптации при управлении показателями качества в многовариантной технологической системе изготовления холоднокатаной ленты // Качество в обработке материалов. 2014. № 1. С. 34 – 41.

**72.** Рубин Г.Ш., Полякова М.А., Чукин М.В., Гун Г.С. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства // Сталь. 2013. № 10. С. 84 – 87.

**73.** Рубин Г.Ш., Полякова М.А. Развитие научных основ стандартизации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 97 – 102.

**74.** Рубин Г.Ш., Полякова М.А., Гун Г.С. Моделирование технологического трансформирования на основе S-образных кривых развития // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 1 (49). С. 70 – 75.

**75.** Белалов Х.Н., Клековкина Н.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г. и др. Производство стальной проволоки. – Магнитогорск: изд. МГТУ, 2005. – 543 с.

**76.** Стальная проволока / Х.Н. Белалов, Н.А. Клековкина, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова. – Магнитогорск: изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – 689 с.

**77.** Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / М.В. Чукин, А.Г. Корчунов, В.А. Бакшинов, М.П. Барышников, Г.С. Гун, Д.К. Долгий, Ю.Ю. Ефимова, В.М. Колокольцев, Н.В. Копцева, К.Ю. Куранов, В.Н. Лебедев, И.Ю. Мезин, М.А. Полякова, В.В. Чукин; под общ. ред. М.В. Чукина. – М.: Металлургиздат, 2014. – 276 с.

**78.** Чукин М.В., Полякова М.А., Рубин Г.Ш., Копцева Н.В., Гун Г.С. Перспективы производства высокопрочного крепежа из заготовок из углеродистых сталей с ультрамелкозернистой структурой // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2014. № 1. С. 39 – 44.

**79.** Рубин Г.Ш., Вахитова Ф.Т., Лебедев В.Н., Гусева Е.Н., Шишов А.А. Методологический подход к управлению качеством метизной продукции, основанный на нечетких множествах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 4 (28). С. 50 – 53.

**80.** Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев / И.Г. Гун, Г.Ш. Рубин, В.В. Сальников и др. – Магнитогорск: изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2008. – 133 с.

**81.** Щербо Ю.А. Повышение качества соединения компонентов сталемедной катанки на основе регламентации свойств медной ленты и совершенствования технологии плакирования: дис. канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2005. – 148 с.

**82.** Касаткина Е.Г. Повышение качества платинита совершенствованием техноло-

гии его производства: дис. канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2006. – 137 с.

**83.** Пивоварова К.Г. Повышение качества калиброванной стали на основе моделирования и оценки изменения шероховатости поверхности при волочении: дис. канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2006. – 121 с.

**84.** Производство и эксплуатация валков на металлургическом предприятии. Т. 4. Валковый инструмент для производства гнутых профилей / М.Ф. Сафронов, В.Г. Антипанов, В.Ф. Рашников, В.Ф. Афанасьев, В.Л. Корнилов, Г.С. Гун, Н.Г. Шемшурова. – Магнитогорск: изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 1999. – 92 с.

**85.** Ресурсосбережение в метизном производстве (теория и практика работы Белорецкого металлургического комбината) / В.И. Зюзин, В.А. Харитонов, Г.С. Гун и др. – Магнитогорск: изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2001. – 163 с.

**86.** Гун Г.С., Пудов Е.А., Иванова Л.Б. Оптимизация процессов обработки металлов давлением по комплексному критерию качества // Изв. вуз. Черная металлургия. 1982. № 8. С. 62 – 65.

**87.** Гун Г.С., Чукин М.В. Оптимизация процессов деформирования объектов с покрытиями в технологиях и машинах обработки давлением. – Магнитогорск: изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2006. – 323 с.

**88.** Соколов А.А., Шубин И.Г., Гун Г.С., Богатов А.А., Смирнов С.В., Соколов А.А. (мл.). Методика оценки способности углеродистой стали к волочению с учетом технологии ее обработки // Производство проката. 2005. № 5. С. 27 – 30.

**89.** Соколов А.А., Шубин И.Г., Гун Г.С., Богатов А.А., Смирнов С.В. Моделирование процесса волочения с целью оценки его влияния на структуру и свойства проволоки // Производство проката. 2005. № 6. С. 21 – 23.

**90.** Рубин Г.Ш., Данилова Ю.В., Полякова М.А. Функционально-целевой анализ как метод структурирования функций и свойств металлоизделий. Сообщение 1 // Производство проката. 2015. № 5. С. 27 – 31.

**91.** Рубин Г.Ш., Данилова Ю.В., Полякова М.А. Функционально-целевой анализ как метод структурирования функций и свойств металлоизделий. Сообщение 2 // Производство проката. 2015. № 6. С. 38 – 43.

*В.Ф. Панова, С.А. Панов*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ОТВАЛОВ ОТХОДОВ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Природная сырьевая база для производства строительных материалов с каждым годом истощается. В то же время в промышленном производстве образуется большое количество техногенных продуктов, которые могут использоваться как сырье [1 – 3].

Исследование золошлаковых отходов ТЭС Кузбасса показало, что ежегодный выход золы составляет 2,6 млн. т, кроме того, в отходы идут 2,4 млн. т в виде золошлаковых смесей. В отвалах накоплено около 40 млн. т таких отходов [4].

Целью настоящей работы было изучить состав, свойства отходов энергетики; систему устройства и разработки золоотвала, определить направления применения золы в строительной индустрии.

Отходы энергетики подразделяются на два вида: зола-унос и золошлаковая смесь. Зола-унос (З-У) образуется методом сухого отбора из электрофильтров. Она относится к дисперсным материалам и имеет следующие свойства:  $S_{\text{уд}} = 800 - 2500 \text{ см}^2/\text{г}$ , насыпная плотность  $700 - 750 \text{ кг}/\text{м}^3$ , истинная плотность  $2,2 \text{ г}/\text{см}^3$ . Золошлаковая смесь (ЗШС) из отвала представлена в виде песка повышенной влажности, так как удаляется в отвал гидротранспортом.

В зависимости от химического состава золы подразделяют на типы: кислые (К) – антрацитовые, каменноугольные, содержащие до 10 % оксида кальция; основные (О) — бурогольные, содержащие более 10 % оксида кальция.

Действующие на ТЭС системы отбора и удаления в отвалы зол и шлаков не позволяют рационально и с наименьшими затратами применять их в производстве бетонов, прежде всего из-за влажности, неоднородности по гранулометрическому, химическому и минералогическому составам, загрязненности, из-за трудностей транспортировки, хранения и дозировки на предприятиях. Гранулометрический состав ЗШС изменяется по мере удаления ее от места выпуска. В отвалах выделяются следующие зоны: *шлаковая* – с преобладающим содержанием шлаковых фракций; *зольная 1* – с

преобладающим содержанием зольных фракций; *зольная 2* – с преобладающим содержанием золы фракции менее 0,08 мм (в центральной части отвала, районе отстойного пруда). Для того чтобы добиться однородности гранулометрического состава, предлагается применять определенную систему добычи ЗШС из отвала и разделять ее по фракциям (рис. 1 и 2). Разработка золоотвала производится поэтапно до конечной глубины с оставлением в подошве целика толщиной 0,3 – 0,5 м для предотвращения загрязнения сырья подстилающими породами. Разработку рекомендуется начинать на участке зольной зоны с наибольшей однородностью золошлаковой смеси. Разработку золоотвала с относительно однородным гранулометрическим составом золы следует производить без разделения на зоны. Для усреднения по влажности и гранулометрическому составу порода должна перемешиваться и складироваться в бурты и затем конусы. Зола может отгружаться потребителям из конусов в усредненном состоянии с влажностью не более 30 %. Необходимые на зимний период запасы сырья могут создаваться как в отвалах, так и на территории предприятий-потребителей.

Золу, содержащую в своем составе более 10 % остаточного топлива, рекомендуется обогащать методом флотации. Для флотационного обогащения золы размер ее частиц не должен превышать 1 мм. Остаточное топливо из золы следует выделять пенной флотацией, при которой удаляются не сгоревшие частицы топлива с пеной, а минеральные оседают. Для пенной флотации можно использовать, например, также реагенты: собиратель – керосин, вспениватель – кубовый остаток ректификации диметилдиоксиана (отход химической промышленности). Примерный расход реагентов на одну тонну флотируемой зольной массы следующий: 3,0 – 3,5 кг собирателя, 2,0 кг вспенивателя. Для флотации золы с остаточным топливом используется стандартное технологическое оборудо-

вание. В процессе флотации из золы выделяет-

ся 20 – 25 % остаточного топлива.

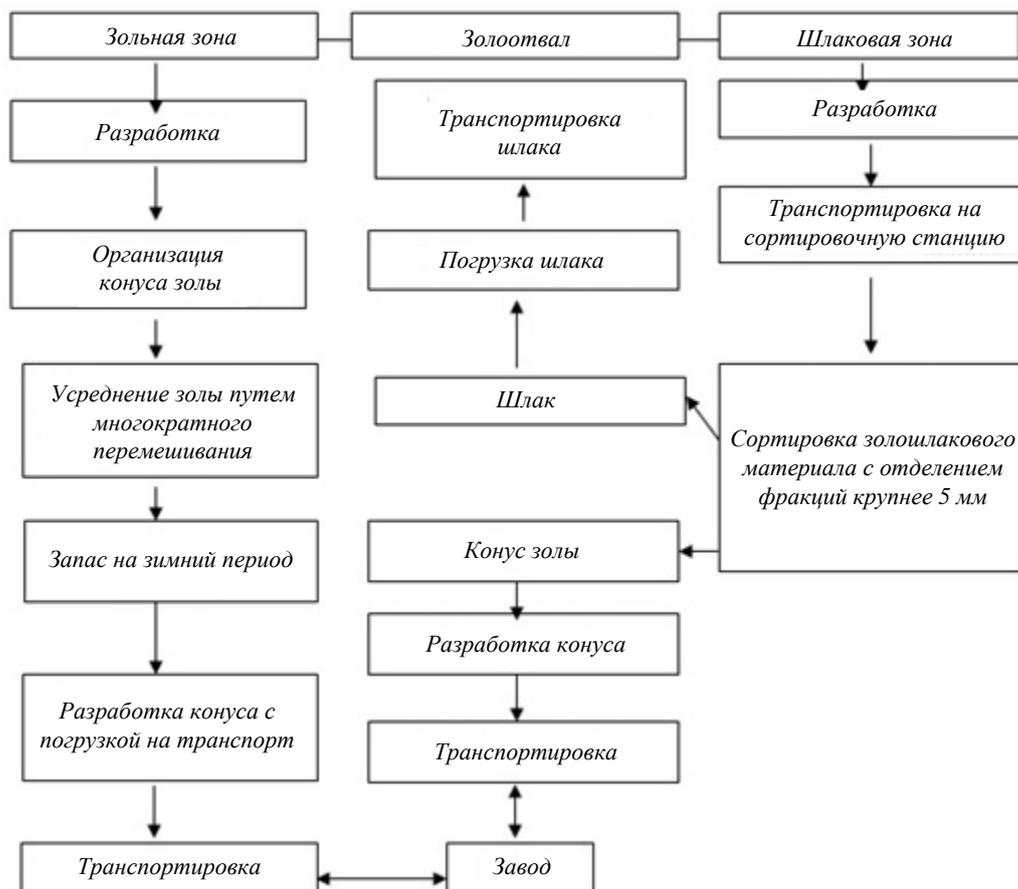


Рис. 1. Технологическая схема горных работ в золоотвалах с неоднородным гранулометрическим составом

Разработана модель (рис. 3) переработки и использования отходов энергетики как вторичных минеральных ресурсов (ВМР). На первом этапе оцениваются агрегатное состояние и объем накопленных отходов, далее определяется степень экологичности: содержание радиоактивных, токсичных веществ, остаточных примесей угля, рациональность их применения. Исследования показывают, что содержание токсических и радиоактивных веществ, таких как Ra226 (радий), Th232 (торий), K40 (калий), в составе золошлаковой смеси отвечает нормативным требованиям, т.е. ее можно применять в качестве строительного сырья. Далее определяется химический и минералогический составы.

Применение отходов энергетики эффективно осуществлять после их обогащения: удаления цветных, благородных металлов, сушки, термической обработки с аккумуляцией тепла от сжигания остаточного углерода. Затем осуществляются лабораторные, полупромышленные и промышленные испытания полученного золы строительного материала или изделия. Заключительный этап – разработка регламента на каждый вид строительного материала.

Исследованием установлено, что зола от сжигания каменных углей месторождения Кузбасса относится к группе «кислых» с минимальным количеством щелочных и сернистых соединений, что является положительным для производства строительного материала (табл.1). Основные требования к золе как к сырью для производства строительных материалов отражены в табл. 2. Отмечены требования к золе как заполнителю: *I* – бетона; *II* – железобетона; *III* – ячеистого бетона; *IV* – дорожного бетона.

Ниже приведены результаты исследований золы как компонента золы безглиноцементного цемента на примере Беловской ГРЭС. Основные характеристики золы определяются по формулам

$$K_{\text{осн}} = \frac{(\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O})}{(0,93\text{SiO}_2 - y\text{R}_n\text{O}_m)} \cdot \frac{(0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + x\text{B}_n\text{O}_m)}{(0,93\text{SiO}_2 - y\text{R}_n\text{O}_m)}$$

$$M_{\text{осн}} = \frac{\%(\text{CaO} + \text{MgO})}{\%(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)};$$

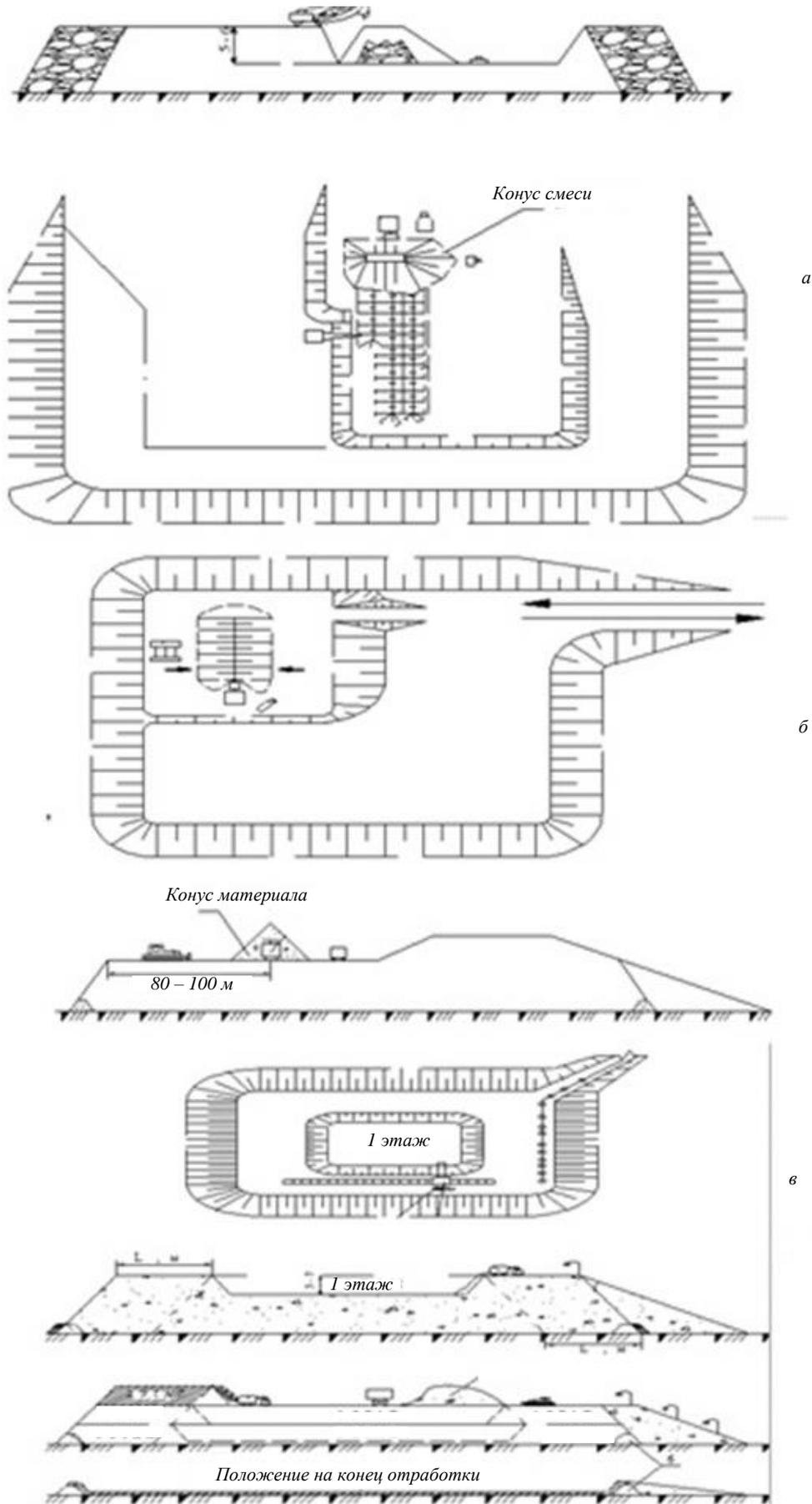


Рис. 2. Способы разработки отвала:  
а – драглайн; б – бульдозер; в – многоковшовый экскаватор

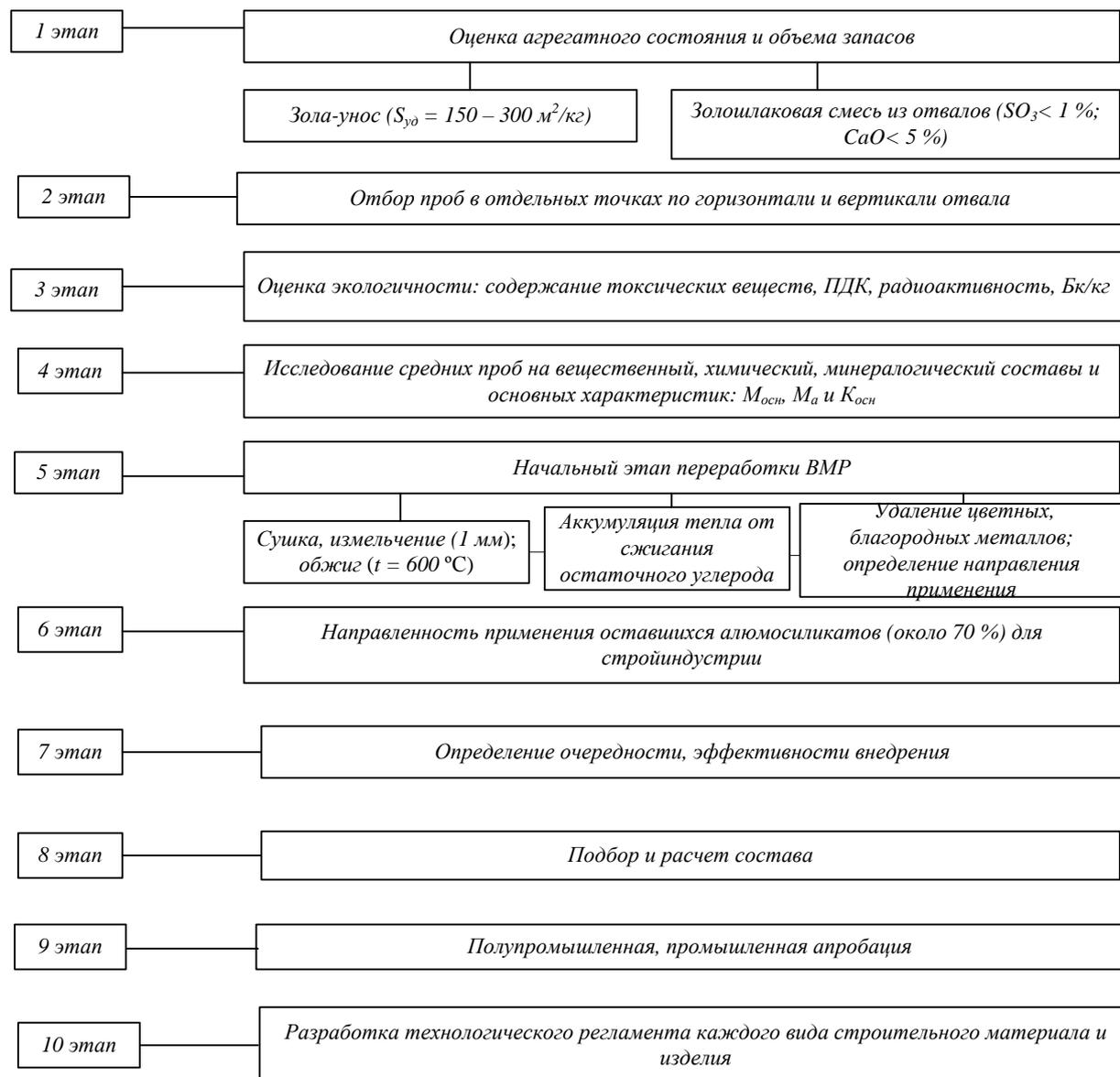


Рис. 3. Модель переработки и использования отходов энергетики как вторичных минеральных ресурсов

$$M_a = \frac{\%(\text{Al}_2\text{O}_3)}{\%(\text{SiO}_2)};$$

здесь  $K_{\text{осн}}$  и  $M_{\text{осн}}$  – коэффициент и модуль основности;  $M_a$  – модуль активности.

Установлено, что отходы относят по коэффициенту основности, модулю основности к группе ультрокислых:  $K_{\text{осн}}^{\text{ЗШС}} = -0,24$ ;  $K_{\text{осн}}^{3-у} = -0,07$ ;  $M_{\text{осн}}^{\text{ЗШС}} = 0,07$ ;  $M_{\text{осн}}^{3-у} = 0,12$ . По модулю активности имеем  $M_a^{\text{ЗШС}} = 0,5$ ;  $M_a^{3-у} = 0,3$ . Зола обладает малой активностью, т.е. для получения цемента на ее основе необходимо введение активизаторов: щелочного и сульфатного [5].

По показателю  $K_{\text{осн}}$  возможно определить направление применения отхода в промыш-

ленности строительных материалов [1, Стр. 30]. Для исследования отходов как заполнителя или наполнителя необходимо проверить их на стойкость к распадам: силикатному, железистому, известковому. Все виды распада связаны с содержанием в материале оксида CaO. Для золы содержание оксидов кальция находится в пределах 3,91 – 4,81 %, т.е. в небольшом количестве (см. табл. 1).

Силикатный распад происходит потому, что находящийся в отходе минерал – двухкальциевый силикат – из неустойчивой формы ( $\gamma 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) переходит в устойчивую ( $\beta 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), что сопровождается увеличением его объема на 10 %. Этот эффект можно оценить расчетами по формулам

$$\text{SiO}_{\min} = \frac{100 - \sum \text{RO}}{2,5}; \quad \text{CaO}_{\max} = \frac{100 - \sum \text{RO}}{1,8}.$$

Т а б л и ц а 1

**Химический состав золы Беловской ГРЭС**

Наименование	Содержание, %										
	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	R <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
Известь	88,76	-	1,025	-	-	9,62	-	-	-	-	0,59
ЗШС	3,91	27,38	55,99	6,64	0,58	1,62	1,73	0,49	0,74	-	0,92
З-У	4,81	21,81	61,65	5,39	-	1,88	4,46	-	-	-	-

Отход считается распадающимся, если содержание фактических оксидов SiO<sub>2</sub> меньше, а CaO больше, чем их количество, определенное расчетом. Получено SiO<sub>2min</sub> = 23,96 %; CaO<sub>max</sub> = 33,3 %; SiO<sub>факт</sub> = 55,99 %; CaO<sub>факт</sub> = 3,91 %. Установлено, что Кузбасские золы стойки к распадам, т. е. они могут рекомендоваться как заполнители в бетоны и растворы.

Для определения состава зольного цемента и количества составляющих компонентов решается следующее уравнение:

$$[(\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O}) - (n \cdot 0,93\text{SiO}_2 + 0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3)] X /$$

$$/[(n \cdot 0,93\text{SiO}_2 + 0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3) - (\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O})] = 1,$$

где *n* – заданное для шихты значение *K<sub>осн</sub>* (на практике *n* = 1,2 - 1,6); *X* – количество массовых частей «основного» сырья (*K<sub>осн</sub>* > 1) на одну весовую часть «кислого» сырья (*K<sub>осн</sub>* < 1). В качестве «кислого» компонента принята зола, а в качестве щелочного активизатора использована известь (табл. 1). По результатам расчета состава цемента при принятом коэффициенте *K<sub>осн</sub>* = 1,5 получено, что соотношение содержаний извести к золе близко 1 : 1.

Т а б л и ц а 2

**Требования к золом тепловых электростанций**

Показатель	Вид сжигаемого угля	Значение показателя в зависимости от вида золы			
		I	II	III	IV
Содержание CaO, % : для кислой золы, не более для основной золы	Любой	10	10	10	10
	Бурый	10	10	10	10
в том числе: свободного оксида кальция (CaO <sub>св</sub> ), не более: для кислой золы для основной золы	Любой	Не нормируется			
	Бурый	5	5	Не нормируется	2
Содержание MgO, %, не более:	Любой	5	5	Не нормируется	5
Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO <sub>3</sub> , %, не более: для кислой золы для основной золы	Любой	3	5	3	3
	Бурый	5	5	6	3
Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na <sub>2</sub> O, %, не более: для кислой золы для основной золы	Любой	3	3	3	3
	Бурый	1,5	1,5	3,5	1,5
ППП, %, не более: для кислой золы для основной золы	Антрацит	20	25	10	10
	Каменный	10	15	7	5
	Бурый	3	5	5	2
	Бурый	3	5	3	3
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг, не менее: для кислой золы для основной золы	Любой	250	150	250	300
	Бурый	250	200	150	300
Остаток на сите № 008, %, не более: для кислой золы для основной золы	Любой	20	30	20	15
	Бурый	20	20	30	15

В качестве сульфатного активизатора в цемент вводится, как правило, гипсовый камень [5]. Расход гипсового камня зависит от содержания алюминатной составляющей ( $C_3A$  или  $Al_2O_3$ ) в шихте. Именно эти две составляющие при химическом взаимодействии приводят к образованию энtringита (гидросульфата алюмината кальция). Расход количества гипса при содержании 80 %  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  в гипсовом камне составляет от 4,6 до 7 %. Состав известково-золяного вяжущего (ИЗВ) следующий: 50 % золы; 50 % извести; от 4,6 до 7 % (сверх 100 %) сульфатной добавки в виде ГК. Активность такого цемента находится в пределах 200 – 250 кгс/см<sup>2</sup>. Тонкость измельчения ИЗВ – до  $S_{уд} > 300$  м<sup>2</sup>/кг, изделия из него необходимо подвергать тепловой обработке в парочных камерах или автоклавах.

На основе этого вяжущего получен силикатный кирпич марки М 150, в состав шихты которого входят ИЗВ и ЗШС в соотношении 1 : 3. На способ получения золяного стенового кирпича получен патент № 229 67 26 «Силикатная масса для приготовления отделочного кирпича».

**Выводы.** В настоящее время на территории Кузбасса в отвалах накоплено около 40 млн. т отходов энергетики, которые делятся на золу-унос и золошлаковую смесь. Золо являются «кислыми», так как содержат до 10 % оксида кальция. Для усреднения гранулометрического состава отвалов определены технологические схемы по их разработке с помощью многоковшового эксковатора, драглайна и бульдозера. Для удаления примесей угля предложен метод флотации с реагентами: собиратель – керосин, вспениватель – кубовый остаток ректификации диметилдиоксана (отход химической промышленности). Разработана модель исследования и переработки отходов энергетики как сырья для строительной индустрии. На примере золы Беловской ГРЭС установлена стойкость ее

против распада, что доказывает возможность применения техногенных продуктов в качестве заполнителя и наполнителя. Разработан состав известково-золяного вяжущего, в котором соотношение компонентов – извести и золы – определено как 1:1 с добавкой гипса от 4,6 до 7 %. Разработан состав компонентов для получения силикатного кирпича: ИЗВ : ЗШС = 1 : 3, получен кирпич марки М 150 (Патент № 229 67 26. «Силикатная масса для приготовления отделочного кирпича»). Экономические показатели производства кирпича с применением золы следующие: уровень рентабельности – около 40 %, срок окупаемости – около 2,5 лет.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П а н о в а В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – 289 с.
2. Б о ж е н о в П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология: Учебное пособие. – М.: изд. АСБ, 1994. – 264 с.
3. Д о л г а р е в А.В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов: физико-химический анализ: Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1990. – 456 с.
4. П а н о в а В.Ф. Строительные материалы на основе отходов промышленных предприятий Кузбасса: Учебное пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2005. – 182 с.
5. В о л ж е н с к и й А.В. Минеральные вяжущие вещества: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

© 2015 г. В.Ф. Панова, С.А. Панов  
Поступила 20 марта 2015 г.

*Г.М. Кабанова, Ю.Ю. Ложкина*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ

На основании Закона Российской Федерации «Об образовании» [1], Распоряжения Правительства РФ «Об утверждении Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года» [2] следует отметить, что важнейшим приоритетом образовательной политики государства является достижение высокого качества подготовки квалифицированных специалистов, способных обладать организаторскими способностями, творческим мышлением и навыками лидера.

В связи с этим современные требования в области подготовки будущих специалистов требуют активизации познавательного процесса, основная задача которого воспитать личность, способную быть востребованной в условиях окружающей действительности. Кроме того, достаточно актуальным вопросом в настоящее время является поиск решений по преодолению глобального экологического кризиса. Поэтому значительное внимание следует уделять экологическому образованию, так как для решения глобальных проблем окружающей среды необходимо сформировать у студентов экологическую ответственность, экологическую культуру.

Роль экологического образования в формировании «гражданина XXI века» подчеркивается также в проекте «Национальной стратегии экологического образования в Российской Федерации» [3], в котором говорится, что одним из главных компонентов содержания образования в новом столетии должна стать экология как система научных и учебных дисциплин об окружающем мире и устойчивом развитии человеческой цивилизации.

Изучение дисциплины «Экология» студентами вуза направлено на формирование экологической культуры, экологического воспитания, что будет способствовать квалифицированному подходу к решению задач по рациональному природопользованию, грамотному планированию мероприятий по охране окружающей среды.

Поставленные задачи, в первую очередь, определяют роль преподавателя в процессе обучения. Развитие творческой активности студента возможно при сознательном партнерстве преподавателя с обучающимися. Внедрение нового ФГОС также требует готовности кадров. Речь идет о понимании преподавателями новой идеологии стандартизации образования, целей образовательного процесса, новых требований к результатам образования, способов их достижения, а также критериев оценки.

От преподавателей требуется понимание особенности экологического образования в техническом вузе в условиях глобализации экологических проблем, его современной концепции, целей, места в системе общего образования, подходов к отбору содержания и методическому сопровождению.

По заключению ЮНЕСКО необходима система Глобального экологического воспитания, начиная с начального и заканчивая высшим образованием. Система экологического образования РФ требует модернизации и внедрения инновационных решений во все сферы деятельности. Достигнуть значительных результатов в области экологического образования возможно при использовании опыта и методик, разработанных квалифицированными преподавателями.

Покажем, каким образом осуществляется изучение дисциплины «Экология» в СибГИУ. Рабочие программы, подготовленные для этой дисциплины, включают лекционные, лабораторные и практические занятия, значительное количество часов отводится на самостоятельную работу студентов. Для повышения эффективного усвоения материала предполагается использование интерактивных методов обучения, к которым относятся «Мозговой штурм» (атака), мини-лекция, работа в группах, тест, дискуссия, ролевая и деловая игры, метод проектов, решение ситуационных задач, проигрывание ситуаций, обсуждение сюжетных рисунков, кейс-метод и др.

Применение интерактивных методов обучения в целях формирования экологической культуры строго отвечает задачам экологического образования. Они призваны активизировать восприятие законов экологии, пробудить чувство любви к природе и осознание необходимости бережного и ответственного отношения к ней. Эти методы позволяют охватить процессы, занимающие в естественной природе многие десятилетия, а иногда и столетия, и «сжать» их в масштабе игрового времени [4].

Реализация цели экологического образования с использованием интерактивных методов обучения включает в себя три технологических этапа. На первом преподаватель, опираясь на имеющиеся у студентов знания, озвучивает примерную экологическую проблему и вводит в нее обучающихся. Этим достигается начальная познавательная активность студентов и первичная актуализация их внутренних целей.

На втором этапе делается акцент на поддержании требуемого уровня активности обучаемых. Им предоставляется возможность самостоятельной деятельности. Объединенные в творческие группы по несколько человек, студенты вторично, но самостоятельно, в процессе общения актуализируют свою внутреннюю цель, осмысливают поставленную задачу, определяют предмет поиска, вырабатывают свои позиции, приходят к решению экологической проблемы.

На третьем этапе проводится итоговое обсуждение, в процессе которого каждая группа активно отстаивает свой путь решения экологической проблемы, свою позицию, возникает дискуссия. Обнаружив, что процесс познания приостанавливается из-за недостатка у обучаемых знаний, преподаватель предоставляет необходимую информацию в форме лекции, беседы [5].

Систематическое использование в учебном процессе интерактивных методов обучения с использованием экологических ситуационных задач, практических занятий по мониторингу загрязнения атмосферы, водоемов, почвы и других повышает эффективность образования в целом, что согласуется с требованиями ФГОС ВО. Особое значение интерактивные методы обучения имеют для экологического образования, где они стали неотъемлемой частью, необходимой для формирования активной жизненной позиции студентов.

В СибГИУ на кафедре горнопромышленной экологии и БЖД профессорско-преподавательский состав активно использует интерактивные технологии в учебном процес-

се. В рамках исследования был проведен мониторинг знаний по дисциплине «Экология», в котором принимали участие студенты 1 курса. Из них 40 % изучали предмет без использования интерактивных технологий (группа с традиционным обучением), 60 % студентов изучали предмет с использованием интерактивных технологий (экспериментальная группа).

Примеры практических занятий из комплекса с использованием интерактивных методов обучения, которые составили основу работы со студентами, следующие.

*Практическое занятие № 1* – это типовая игра, разработанная для обобщения изученного материала студентами по теме «Отношения между животными различных видов». Методы обучения, применяемые при этом виде занятия, – игровые, словесные (беседа), наглядные (демонстрация рисунков и фотографий), практические (самостоятельная работа).

*Практическое занятие № 2* – занятие с использованием метода проектов в интерактивном режиме, научно-познавательная игра для студентов. Цель занятия, например, формирование целостного представления об одной из интересных и злободневных проблем современного мира – парниковом эффекте, его проявлении, возможных экологических, экономических и социальных последствиях, а также о попытках мирового сообщества предотвратить изменение климата.

*Практическое занятие № 3* – творческое задание, которое решается в процессе коллективной творческой деятельности [6].

Анализ диагностики в студенческой группе показал, что изучение предмета с использованием интерактивных технологий в образовательном процессе обеспечивает высокий уровень усвоения учебного материала. Реализация в учебном процессе интерактивных методов обучения с использованием экологических ситуационных задач повышает эффективность усвоения учебного материала и образования в целом, что согласуется с современными требованиями образовательной политики государства и обуславливает формирование экологической культуры, сознания и ответственности при подготовке квалифицированных специалистов.

**Выводы.** Повышение уровня экологической культуры и воспитания является гражданской ответственностью профессорско-преподавательского состава образовательных учреждений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 21.07.2014) «Об образовании в Российской Федерации»: КонсультантПлюс. – М.: consultant.ru, 1997-2014. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
2. Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2011 № 2227-р «Об утверждении Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года»: КонсультантПлюс. – М.: consultant.ru, 1997 – 2014. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
3. Моисеев Н., Степанов С., Снакин В. и др. Национальная стратегия экологического образования в Российской Федерации (проект) // Вестник экологического образования. 2000. № 1 (15). С. 1 – 20.
4. Каурцев М.Н. Применение интерактивных технологий в научно-методической работе как ресурс личностно-профессионального роста педагогов: автореф. дис. канд. пед. наук: электронная библиотека диссертаций. – М.: dissercat.com, 2011. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com>.
5. Даниленкова В.А. Формирование экологической компетенции у студентов технического вуза: автореф. дис. канд. пед. наук: электронная библиотека диссертаций. – М.: dissercat.com, 2005. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com>.
6. Ложкина Ю.Ю., Кабанова Г.М., Семина И.С. Использование интерактивных методов обучения в процессе изучения естественно-научных дисциплин (на примере дисциплины «Экология» в техническом ВУЗе) // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 424 с.

© 2015 г. Г.М. Кабанова, Ю.Ю. Ложкина  
Поступила 12 мая 2015 г.

УДК 378.14:69

*В.Ф. Панова, С.А. Панов, И.В. Камбалина, А.А. Карпачева*

Сибирский государственный индустриальный университет

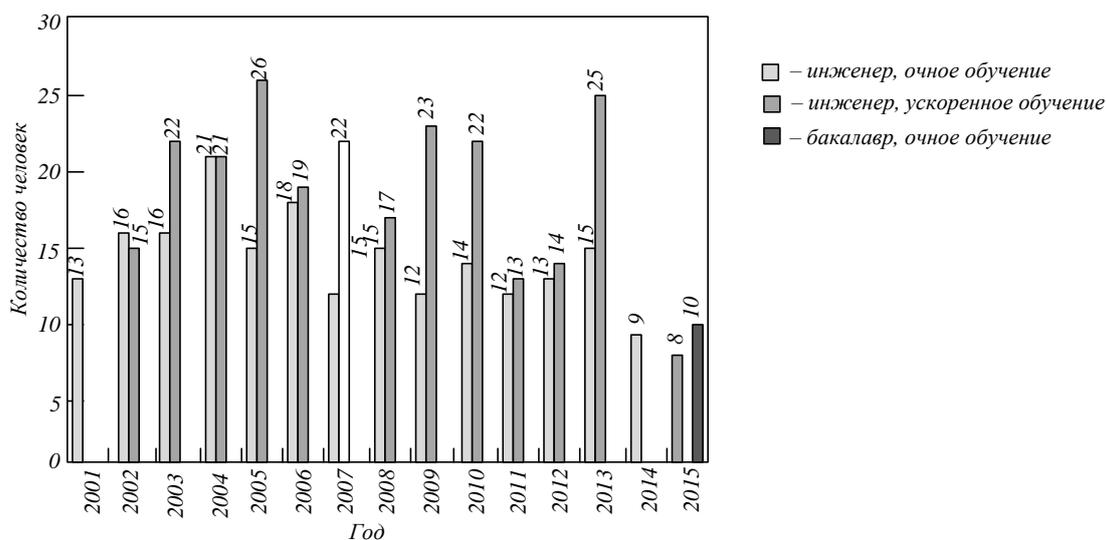
## СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ» – 20 ЛЕТ

Строительный факультет был организован в сентябре 1960 г. в Сибирском металлургическом институте. С 1 марта 2011 г. факультет преобразован в архитектурно-строительный институт, который находится в составе Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ). Подготовкой инженерных кадров в институте занимаются более 70 человек профессорско-преподавательского состава, из них 12 докторов наук и профессоров, 40 кандидатов наук и доцентов. В учебном процессе широко используются технические средства обучения, научные конференции, конкурсы студенческих работ, деловые игры. На выпускающих кафедрах института

функционируют компьютерные классы, имеются учебно-научно-исследовательские лаборатории.

Первый выпуск инженеров по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» состоялся в 2001 г. Таких специалистов ранее готовили только близлежащие к Кузбассу города: Новосибирск, Барнаул, Омск. На сегодняшний день подготовлено 452 специалиста (см. рисунок).

Деятельность инженера-строителя-технолога заключается в обеспечении строительной области материалами для возведения конструкций зданий и инженерных сооружений; разработке способов получения прочных, долговеч-



Выпуск инженеров по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»

ных и эффективных материалов различного назначения, новых типов строительных изделий и конструкций, создающих условия для перехода на более совершенные методы строительства; работе над освоением технологий производства современных строительных материалов, изделий и конструкций.

Специальность относится к перспективной 21 века, так как ни одно сооружение нельзя правильно спроектировать, построить и эксплуатировать без наличия соответствующих строительных материалов и всестороннего знания их свойств.

Ранее инженеров-строителей-технологов выпускала кафедра архитектуры и строительных материалов, в феврале 2014 г. секция «Строительные материалы» вошла в состав кафедры строительного производства и управления недвижимостью, которая была переименована в кафедру строительных технологий и материалов.

Учитывая спрос на инженеров по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», в 1999 г. было организовано ускоренное обучение специалистов – 3,5 года на базе средне-технического образования по очной форме обучения. Выпускники техникумов получили возможность днем работать, а вечером повышать свои знания в университете, 95 % обучающихся в группах по ускоренной программе работали по специальности и сами оплачивали свое образование. Несмотря на занятость в вузе студенты-вечерники быстро проходили адаптацию на производстве и эффективно вписывались в среднее звено инженерно-технических работников. В 2013 г. был последний выпуск студентов-ускоренников.

Подготовка специалистов осуществляется под руководством высококвалифицированных преподавателей на базе учебной, научно-исследовательской лаборатории «Строительные материалы». Среди них необходимо отметить профессора Федьнина Н.И. (недавно ушел из жизни), который имел около 150 авторских свидетельств и патентов на новые виды материалов и способы их получения. Педагогический опыт доцента Меркуловой С.И. составил более 40 лет. К подготовке студентов привлечены специалисты производственники: доценты Злобин В.И., Уточкина Л.К. Их опыт проектной и практической работы позволяет студентам ощущать реальные процессы производства при выполнении курсовых и дипломных проектов. Научные, теоретические и методические знания передают студентам к.т.н., доценты Столбоушкин А.Ю., Башкова М.Н., Тараборина Е.Н., которые ведут дисциплины и курсовые проекты по специальности.

В учебном плане предусмотрен большой объем часов учебно-исследовательской работы, во время которой студенты проводят исследования, по этим результатам ежегодно готовятся статьи и доклады (от 6 до 14 шт.) для участия в конференциях различного уровня. За последние пять лет совместно со студентами получены патенты: силикатная масса для приготовления отделочного кирпича (патент № 2296726), цемент с использованием отходов промышленного производства (патент № 2521684), сырьевая смесь для изготовления стеновых изделий (патент № 2232735), сырьевая смесь для изготовления облицовочной керамической плитки (патент № 2258684), сырьевая смесь для изготовления стеновых керамических изделий (патент № 2487844).

Учитывая производственно-промышленную специфику Кузбасса, на территории которого сосредоточены большие объемы техногенных продуктов, в учебный план включена дисциплина «Использование промышленных отходов для производства строительных материалов и изделий», разработанная профессором В.Ф. Пановой.

Вопросы архитектуры и конструктивные решения заводов студентам помогают осваивать доценты Матехина О.В., Алешина Е.А. Овладевать компьютерными знаниями студенты начинают на кафедре инженерных конструкций и строительной механики и далее решают задачи по расчету состава шихты, планированию эксперимента и обработки результатов экспериментальных данных в компьютерном классе под руководством Мельниковой И.Г. и Карпачевой А.А., которые недавно получили ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия».

Кроме вышеперечисленных, провели и защитили свои диссертационные исследования в лаборатории «Строительные материалы» преподаватели Рыжков Ф.Н., Камбалина И.В., Панов С.А., получившие в дальнейшем ученую степень кандидата технических наук. Все они работают со студентами и являются выпускниками СибГИУ.

На сегодняшний день сдана в Совет по защите докторских диссертаций Томского государственного архитектурно-строительного университета работа доцента А.Ю. Столбоушкина. Готовится к защите кандидатской диссертации Иванов А.И.; продолжает исследования, начатые на третьем курсе в лаборатории «Строительные материалы», аспирант Сырмясов В.А.

Кафедра «Строительные технологии и материалы» имеет большую базу методической литературы. За последние десять лет подготовлены два учебных пособия: «Строительные материалы на основе отходов промышленных предприятий Кузбасса» (автор к.т.н., профессор Панова В.Ф.), «Разработка технологических регламентов на производство строительных материалов из вторичных минеральных ресурсов (ВМР)» (авторы к.т.н., профессор Панова В.Ф. и к.т.н., доцент Панов С.А.) и шесть монографий: «Гранулированные безобжиговые заполнители для бетона» (авторы д.т.н., профессор Завадский В.Ф. и к.т.н., доцент Рыжков Ф.Н.), «Композиционное бесцементное вяжущее из промышленных отходов и закладочная смесь на его основе» (авторы д.т.н., профессор Павленко С.И. и к.т.н., до-

цент Корнеева Е.В.), «Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии» (автор к.т.н., профессор Панова В.Ф.), «Газобетон на основе доменных шлаков» (автор к.т.н., доцент Камбалина И.В.), «Декоративные строительные материалы из отбеленного и активированного шлака» (авторы к.т.н., профессор Панова В.Ф. и к.т.н., доцент Панов С.А.), «Стеновые керамические изделия на основе отходов углеобогащения и железосодержащих добавок» (авторы к.т.н., доцент Столбоушкин А.Ю., к.т.н., доцент Карпачева А.А., Иванов А.И.).

Студенческие дипломные проекты и работы ежегодно занимают ведущие места во Всероссийском конкурсе выпускных квалификационных работ.

Студенты участвуют и занимают призовые места во Всероссийской олимпиаде по специальности, которая проводится в городах Новосибирск, Воронеж, Иваново.

В формировании и становлении специальности оказывают большую помощь крупные предприятия города Новокузнецка: домостроительный комбинат, кузнецкий цементный завод, абашевский кирпичный завод, завод «Изолит» по производству минеральной ваты, заводы по производству железобетонных конструкций и переработке шлаков, а также предприятия городов Прокопьевска, Ленинск-Кузнецка, Кемерово и малые компании, занимающиеся производством изделий, строительными и отделочными работами. Они предоставляют места для практик и рабочие места после окончания вуза.

На современном этапе образования изменились требования к выпускникам по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». На предприятиях стройиндустрии открываются отделы маркетинга, им необходимы специалисты со знанием возможного спроса и предложения на выпускаемую продукцию, знанием отечественного и зарубежного рынка. Среди множества фирм существует конкуренция за потребителя, им необходимы специалисты-маркетологи со знанием свойств строительных изделий с учетом технологий производства и областей их сбыта. Рынок строительных материалов достаточно насыщен, нужны специалисты-консультанты по выбору эффективных строительных материалов и изделий. Появляется хорошая возможность для выпускников реализовать полученные в вузе знания для практической жизни.

Многие выпускники добились высоких достижений в своей профессиональной деятельности: Солоненко В.В. – заместитель главы г.

Новокузнецка по строительству, Ковалев П.Л. – заместитель главы по ЖКХ, дорожному хозяйству, строительству, транспорту и связи Прокопьевского муниципального района, Кошечкина Е.М. – директор по качеству цементного завода в Казахстане, Гинс Т.Э. – начальник капитального строительства Администрации г. Новокузнецка, Камбалина И.В. и Карпачева А.А. – к.т.н., доценты кафедры «Строительные технологии и материалы» СибГИУ, Михайленко С.А. – технический директор ООО «Ремстройпроект», Смирнов М.Ю. – главный инженер проектов ЗАО «СибНИИСтромпроект», Потапова Д.В. – главный технолог ЗАО «Изолит», Городештян А.А. – главный технолог Абагурского завода по производству железобетонных изделий и конструкций, Морозов М.М. – к.т.н., начальник управления дорожно-коммунального хозяйства и благоустройства Администрации г. Новокузнецка, Арнольд Ю.А. – директор по производству ЗАО «Сиб-

НИИСтромпроект», Казутина Т.В. – начальник ПТО ОАО «ПК «Кузнецкий цементный завод», Баркина Е.И. – ведущий специалист ПТО Администрации г. Новокузнецка.

Три года назад произошла реорганизация высшей школы – переход на трехступенчатое образование. В 2015 г. будут выпущены первые бакалавры по направлению 270800 «Строительство» по профилю «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». На кафедре разработаны и утверждены учебные планы по магистратуре по указанному направлению, работает аспирантура, т.е. у выпускников имеется возможность повысить свои знания или начать собственную реализацию с рабочей профессии.

© 2014 г. В.Ф. Панова, С.А. Панов,  
И.В. Камбалина, А.А. Карпачева  
Поступила 2 декабря 2014 г.

*Д.А. Гафарова*

Сибирский государственный индустриальный университет

## СОЦИАЛЬНОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ

В условиях инновационной социально-ориентированной стратегии экономического развития Российской Федерации большое значение имеют создание благоприятных условий для развития способностей каждого человека, улучшение условий жизни российских граждан, качества социальной среды, а также повышение конкурентоспособности социальных секторов экономики, обеспечивающих развитие человеческого капитала.

При этом реализуемое существенное изменение ресурсного обеспечения социальной сферы заставляет государство искать инновационные формы развития, в том числе и такие, которые направлены на привлечение к решению важнейших социально-значимых проблем представителей предпринимательского сообщества.

На федеральном, региональном и местном уровнях предусматривается выстраивание эффективных механизмов взаимодействия общества, бизнеса и государства, направленных на координацию усилий всех сторон, обеспечение учета интересов различных социальных групп общества и бизнеса. Государство при этом берет на себя обязательства по поддержке инициатив бизнеса и некоммерческих организаций по участию в развитии социальной сферы и человеческого капитала, в том числе и инициатив создания и развития социально-предпринимательских структур.

Социальное предпринимательство, появившееся за рубежом в 60-е гг. XX века, можно считать явлением, соответствующим идеологии информационного общества, что и обуславливает его активное развитие как в мире, так и в стране в последние десятилетия [1].

Г. Дис, которого относят к числу основателей концепции социального предпринимательства, отмечает [2], что «социальное предпринимательство» подразумевает «энтузиазм социальной миссии и деловую дисциплину, инновационные подходы и решительность», он также указывает, что характерной чертой любого социального предприятия является выполнение роли посредника в осуществлении

радикальных изменений в сфере социальных услуг.

В России термин «социальное предпринимательство» не имеет законодательного определения и используется в разных контекстах. В рамках работы над новой редакцией Федерального закона РФ № 442-ФЗ «Об основах социального обслуживания граждан в Российской Федерации» Комитет Совета Федерации по социальной политике подготовил поправки ко второму чтению законопроекта, вводящие в федеральное законодательство термины «социальный предприниматель» и «социальное предпринимательство». Социальное предпринимательство было определено как «новаторская деятельность, нацеленная на решение или смягчение социальных проблем общества и осуществляемая на принципах самокупаемости и устойчивости», а в более общем варианте как «деятельность хозяйствующих субъектов, направленная на решение социальных проблем и достижение социально полезных целей». Однако в итоговой редакции закона эти термины не были использованы [3].

Наиболее значимые определения термина «социальное предпринимательство», приведенные в работах российских и зарубежных исследователей данного феномена, можно объединить в три основные группы:

1) определения, указывающие на то, что социальное предпринимательство связано, прежде всего, с созданием предпринимательских бизнес-структур с социальной целью;

2) определения, в которых подчеркивается значимость инновационной составляющей деятельности социальных предпринимателей, ориентированных на достижение значимого социального эффекта;

3) определения, в которых социальное предпринимательство рассматривается в качестве катализатора долгосрочных общественных трансформаций.

Обобщив различные подходы и определения, под социальным предпринимательством будем понимать юридически закрепленную предпринимательскую деятельность по произ-

водству благ и/или услуг, направленную на решение или смягчение социальных проблем, с помощью устойчивых организационных и финансово-результативных новшеств, обеспечивающих дальнейшее распространение опыта социального воздействия.

Одной из ключевых характеристик деятельности социального предприятия, отличающей его от других форм предпринимательства, является социальная ценность. Социальная ценность формируется социальной миссией и генерирует социальные изменения, создавая новые модели для институтов, ставших неэффективными. Социальные предприниматели в отличие от обычных действуют как агенты изменений в обществе, «улучшая системы, изобретая новые подходы и создавая решения для изменения общества к лучшему. Социальный предприниматель приходит с новыми решениями социальных проблем и затем внедряет их в широких масштабах» [4].

Можно дать следующее определение социального предпринимателя: это субъект, осознающий некоторую социальную проблему и использующий принципы предпринимательства для организации предприятия и управления им с целью решения этой проблемы / производства социального изменения.

В 2008 г. исследовательской группой «ЦИРКОН» впервые осуществлен опрос общественного мнения по проблематике социального предпринимательства. В 2011 г. был реализован повторный всероссийский опрос населения (выборка составила 1600 человек). Предполагалось, что за три года феномен социального предпринимательства будет распространяться, и одновременно будет реализовываться продвижение идей социального предпринимательства в обществе. Результаты исследования показали, что в 2008 г. 62 % респондентов узнали о социальном предпринимательстве только в ходе опроса; в 2011 г. таких респондентов стало больше (68 %). Низкий уровень информированности о практике социального предпринимательства закономерно показал отсутствие сформированного представления о том, какую деятельность оно подразумевает. Респонденты, имеющие представление о деятельности социальных предпринимателей, представляют их, прежде всего, как бизнесменов, занимающихся решением социальных проблем / вкладывающих деньги в социальную сферу, оказывающих помощь населению (6 %); как тех, кто помогает бедным, обездоленным, инвалидам, детям, тех, кто занимается социальной сферой, волонтеров (6 %); бизнесменов, предпринимателей (без

уточнения) (5 %); бизнесменов, работающих в социальной сфере, предоставляющих социальные услуги на коммерческой основе (5 %).

Развитие социального предпринимательства в значительной степени связано с идеей передачи функций по преодолению провалов рынка от государства некоммерческим организациям социально ответственному бизнесу. Однако в 2011, как и в 2008 году большинство россиян (61 %) возлагают всю ответственность за решение проблем в социальной сфере на государство. С одной стороны, это является следствием устойчивости традиционных для России представлений о доминирующей роли государства в социальном обеспечении населения, но, с другой стороны, наблюдается низкая активность в области информирования граждан, проведения разъяснительной и воспитательной работы, направленной на повышение уровня общественного самосознания, понимания россиянами сути и смысла деятельности социальных предприятий, их роли в решении социальных проблем.

К числу основных препятствий, сдерживающих развитие социального предпринимательства, следует также отнести отсутствие необходимых знаний и навыков предпринимательской деятельности у потенциальных социальных предпринимателей. Поэтому одной из задач развития технологий социального предпринимательства должно стать обучение как студентов, так и начинающих предпринимателей, сотрудников и руководителей некоммерческих организаций основам предпринимательства и применению бизнес-подходов к решению социальных задач, развитие их предпринимательских и управленческих компетенций.

Согласно Гражданскому кодексу РФ предпринимательская деятельность (или предпринимательство) – это самостоятельная, осуществляемая на свой риск деятельность, направленная на систематическое получение прибыли от использования имущества, продажи товаров, выполнения работ или оказания услуг, лицами, зарегистрированными в этом качестве в установленном законом порядке. Предпринимателем может быть представитель любой профессии: инженер, имеющий собственные высокотехнологичные инновационные разработки, специалист в области информационных технологий, организатор туристической, культурной или досуговой деятельности, фермер или другой работник сельского хозяйства, спортсмен и др. Быть предпринимчивым – значит уметь генерировать и оценивать идеи, ставить цели, видеть проблемы и находить пути их решения.

К настоящему времени в разных регионах Российской Федерации функционируют бизнес-инкубаторы, другие элементы инновационной инфраструктуры, в функции которых входит поддержка молодых предпринимателей. Однако наблюдается недостаточная подготовка выпускников вузов к реальной практической предпринимательской деятельности, присутствует дисбаланс между теоретическими знаниями и практическими навыками, готовностью выпускника к активной социальной роли.

Социологическое исследование, проведенное в 2014 г. среди студентов СибГИУ и ЦПО НФИ КемГУ, показало, что 83 % опрошенных студентов старших курсов в целом заинтересованы в открытии собственных предприятий и развитии предпринимательской компетенции, при этом 4 % опрошенных уже являются индивидуальными предпринимателями. Большинство респондентов занялись бы бизнесом при наличии единомышленников и партнеров, при наличии денежных средств, а также при условии наличия опыта участия в подобной деятельности. Несмотря на то, что только 31 % студентов представляют, что такое социальное предпринимательство, 41 % респондентов считают, что предпринимательская деятельность, в которой соединяется социальное назначение организации с достижением устойчивой самоокупаемости, является перспективным видом предпринимательства в г. Новокузнецке. К мотивам, побуждающим заняться социальным бизнесом, 21 % респондентов относят самореализацию, 18 % – решение социальной проблемы, которая лично касается предпринимателя или его родных и близких, 17 % – желание работать на себя, по 15 % респондентов мотивами участия в социальном бизнесе считают высокий заработок и возможность быть независимым, желание помогать людям называют мотивом 14 % респондентов.

Способами повышения активности участия в социальном бизнесе 31 % респондентов относят финансовое обеспечение проекта в виде гранта или субсидии, 26 % – бесплатные дополнительные курсы по социальному проектированию и организации социального бизнеса, 25 % – стажировку на предприятии, занимающимся социальным бизнесом, и 18 % относят проведение тренингов и мастер-классов с предпринимателями и бизнес-консультантами в вузах.

80 % респондентов выразили заинтересованность в получении в процессе обучения в вузе дополнительных специальных знаний и навыков, применение которых необходимо в социальном бизнесе. Таким образом, речь идет

о необходимости формирования специальной предпринимательской компетенции.

Предпринимательская компетенция студента вуза, готового к созданию собственного социального бизнеса, – это личностно-профессиональное качество, базирующееся на системном подходе, которое носит надпредметный характер, формируется на базе просоциальных ценностей предпринимательства, отражающих не только личный, но и общественный интерес, представлено комплексом знаний отечественного и зарубежного опыта социального предпринимательства, умения ставить цель, готовности к риску, умений проектирования, способностей использовать инновационные идеи и решения; опыта работы с информационными ресурсами; способности организовывать решение коллективных задач в области социально-экономического проектирования; стремлением к самодостаточному распоряжению своей жизнью, социальной ответственностью перед коллективом, получателем социальных услуг и результатам, оно обусловлено включенностью в предпринимательскую деятельность реального или учебно-профессионального характера.

Предпринимательская компетенция выражается в следующих характеристиках личности:

- готовность к эффективной коммуникации
- владение основными коммуникативными способностями и навыками представления своей точки зрения в диалоге, публичном выступлении; использование ресурсов коммуникации для решения поставленных задач;
- готовность к использованию информационных ресурсов – способности структурировать имеющуюся информацию и использовать ее при планировании и реализации своей деятельности;
- готовность и способность применения методов социально-экономического проектирования в практической жизни – умение самостоятельно выявлять проблему, находить пути и средства ее решения, формулировать цели, задачи и способность публично представлять результаты и оценивать характер достигнутого продвижения;
- готовность к самоорганизации своей деятельности – способность оценивать необходимость той или иной информации для планирования и осуществления своей деятельности, самостоятельно осваивать способы решения поставленной задачи;
- жизнестойкость – способность осуществлять контроль над собой в неординарной, экс-

тремальной ситуации и эффективно управлять этой ситуацией;

- значимость социальных ценностей – способность видеть в основе социального предпринимательства ценности просоциального характера; в качестве приоритетных – отражающие не только личный, но и общественный интерес, реализующиеся в контексте концепции социального капитала;

- социальная ответственность в отношениях к команде, результатам деятельности и клиентам в социально-экономическом проектировании.

Процесс формирования предпринимательской компетенции студентов, подготовленных к созданию собственного социального бизнеса, предполагает включение студентов в решение учебно-профессиональных задач проектного, состязательного и научного характера. Результатом такой деятельности должно стать развитие предпринимательской компетенции студентов до уровня готовности создания собственной предпринимательской структуры, готовой взять на себя функции производства социального изменения.

Ключевым способом стимулирования студентов к участию в социальном предпринимательстве может стать сопровождение студенческих бизнес-проектов на первых этапах деятельности по их разработке и реализации. К конкретным мерам сопровождения студенческих проектов социального бизнеса можно отнести:

- консалтинг при разработке подробных механизмов деятельности, бизнес-планов, стартапов социального бизнеса с описанием прибыли;

- консультации по правовым вопросам;

- передача знаний по работе в сфере социального предпринимательства;

- административная поддержка со стороны муниципальных органов власти, руководства вуза.

Также способами стимулирования студентов к участию в социальном предпринимательстве могут стать успешный опыт социального предпринимательства других студентов, поощрение со стороны руководства вуза, включение занятий по социальному предпринимательству в учебный процесс, прохождение практики на такого рода предприятиях, дипломная работа, связанная с социальным предпринимательством, волонтерская и общественная деятельность, публикация статей и международное сотрудничество.

Для формирования предпринимательских компетенций необходимо проведение семина-

ров, открытых лекций, конференций, форумов, посвященных социальному предпринимательству, в рамках которых возможно знакомство с организацией работающих практик социального предпринимательства в Европе и Америке (в том числе молодежного); встречи с успешными представителями социального бизнеса, экскурсии на предприятия, рассмотрение вопросов управления проектами, финансовых и налоговых вопросов предпринимательства.

Примером подобного мероприятия можно считать форум «Молодежное предпринимательство в сфере культуры и искусства», проведенный в Кемеровском государственном университете культуры и искусств в 2012 г. Руководство вуза рассматривает студентов университета культуры и искусств как потенциальных социальных предпринимателей и в связи с этим решает вопросы создания условий для успешного развития социального бизнеса через интеграцию предпринимательской, учебной и творческой деятельности студентов [5].

В октябре 2014 г. при поддержке Министерства науки и образования РФ в Российском государственном социальном университете состоялась общероссийская научная конференция – конкурс молодых ученых, студентов и аспирантов (с международным участием) «Студенческое социальное предпринимательство: опыт, проблемы перспективы». Целью проведения конференции было развитие молодежных и студенческих исследований социального предпринимательства, стимулирование эффективной и самокупаемой социально-ориентированной деятельности молодежи и студентов. Конференция стала площадкой для распространения опыта создания социальных предприятий и диффузии инновационных подходов к предпринимательской деятельности в социальной сфере.

Развитие института социального предпринимательства необходимо, поскольку оно может стать инструментом изменения концепции и видения социальной политики и роли государства, способствовать социальной интеграции, увеличению занятости и уменьшению бедности, активизации населения, инновационному развитию общества, решению демографических проблем, повышению качества жизни, а также улучшению имиджа страны и восстановлению утраченных ею позиций.

Эксперты считают, что пришло время использовать предпринимательские подходы в целях решения социальных проблем. Эти подходы, по их мнению, позволят создать новые модели поведения, и для создания таких моделей нужны социальные предприниматели [1].

**Выводы.** Социальное предпринимательство, являясь инновационной формой деятельности социально-ориентированных бизнес-структур, выступает катализатором долгосрочных общественных трансформаций и способствует повышению конкурентоспособности социальных секторов отечественной экономики. Однако развитие социального предпринимательства во многом сдерживается слабой осведомленностью населения о его возможностях и отсутствием необходимых знаний и навыков предпринимательской деятельности у потенциальных социальных предпринимателей. Поэтому для развития социального предпринимательства необходимо как широкое информирование, проведение разъяснительной и воспитательной работы, направленной на повышение уровня общественного самосознания, понимания россиянами сути и смысла деятельности социальных предприятий, их роли в решении социальных проблем, так и обучение начинающих предпринимателей, сотрудников и руководителей некоммерческих организаций, студентов основам предпринимательства, применению бизнес-подходов к решению социальных задач, развитие их предпринимательских компетенций. Студенты готовы развивать собственный социальный бизнес при условии сопровождения студенческих проектов социального предпринимательства, финансового его обеспечения в виде грантов или субсидий. Дополнительные курсы по социальному проектированию и организации социального бизнеса, стажировка на предприятиях, занимающихся социальным бизнесом, проведение тренингов и мастер-классов предпринимателями и бизнес-консультантами также будут способствовать развитию предпринимательской компетенции студентов до

уровня готовности создать собственную предпринимательскую структуру, способную взять на себя функции производства социального изменения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Татаркин А.И., Маслов А.В. Социальное предпринимательство как инновационное направление общественного развития // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2012. № 3. С. 22 - 29.
2. Dees G. The Meaning of Social Entrepreneurship, reformatted and revised: May 30, 2001 // Режим доступа: [http://www.fuqua.duke.edu/centers/case/documents/dees\\_sedef.pdf](http://www.fuqua.duke.edu/centers/case/documents/dees_sedef.pdf) (Дата обращения 10.09.15 г.)
3. Гафарова Д.А. Возможности развития социального предпринимательства в системе оказания социальных услуг населению // Социальное развитие современного российского общества: достижения, проблемы, перспективы. 2014. № 6. С. 98 - 111.
4. What is a Social Entrepreneur? [Электронный ресурс] Ashoka. Innovators for the public // Режим доступа: [http://www.ashoka.org/social\\_entrepreneur](http://www.ashoka.org/social_entrepreneur) (Дата обращения 10.09.15 г.)
5. Лопатина Р.Ф. Социальное предпринимательство и проблемы формирования мотивации студентов на открытие социального бизнеса // Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств. 2012. № 2. С. 95 - 98.

© 2015 г. Д.А. Гафарова  
Поступила 20 сентября 2015 г.

### К 85-ЛЕТИЮ ПАНИНА ВИКТОРА ЕВГЕНЬЕВИЧА

10 ноября 2015 года исполняется 85 лет со дня рождения академика В.Е. Панина – выдающегося ученого современности в области физики и механики деформируемого твердого тела, физического материаловедения. В 1952 г. он с отличием окончил физический факультет Томского государственного университета (ТГУ), а в 1955 г. – аспирантуру, защитив кандидатскую диссертацию. В 1955 - 1979 гг. работал в Сибирском физико-техническом институте (СФТИ) при ТГУ старшим научным сотрудником, затем заведующим отделом физики металлов. В 1967 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, в 1971 г. ему присвоено ученое звание профессора.

В 1979 г. В.Е. Панин с группой сотрудников СФТИ перешел в Институт оптики атмосферы СО АН СССР, где создал и возглавил отдел физики твердого тела и материаловедения. Через пять лет на базе этого отдела он организовал Институт физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО АН СССР, директором которого являлся со дня основания до 2002 г. В 2002 г. В.Е. Панин постановлением Президиума РАН назначен научным руководителем Института, а в настоящее время является заведующим лабораторией и советником РАН.

В 1981 г. избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1987 г. – действительным членом АН СССР. По инициативе и при активном участии В.Е. Панина в 1985 г. при ИФПМ СО АН СССР создан Республиканский инженерно-технический центр по восстановлению и упрочнению деталей машин и механизмов (РИТЦ), а в 1991 г. на базе Института и материаловедческих кафедр вузов г. Томска организован Российский материаловедческий центр. Научно-технический комплекс ИФПМ СО РАН и РИТЦ при ИФПМ в 1994 - 1997 гг. имел статус Государственного научного центра РФ.

Под руководством академика В.Е. Панина создано и развивается новое научное направление – физическая мезомеханика материалов, которое органически объединяет механику сплошной среды (макроуровень), физику пластической деформации (микроуровень) и физическое материаловедение. Им сформулированы, теоретически и экспериментально обоснованы основополагающие принципы физичес-



кой мезомеханики. Твердое тело в полях внешних воздействий описывается как многоуровневая иерархически организованная система, в которой все процессы самосогласованно развиваются на нано-, микро-, мезо- и макромасштабном уровнях. Поверхностные слои и внутренние границы раздела рассматриваются как важные функциональные подсистемы. Показана базовая роль наномасштабного структурного уровня, который определяет природу структурных превращений при образовании всех типов деформационных дефектов. Иерархическое самосогласование всех масштабов деформационных дефектов, включая трещины, описывается на основе зависимости термодинамического потенциала Гиббса от молярного объема материала с учетом локальных зон гидростатического растяжения, где зарождаются деформационные дефекты. С приближением термодинамического потенциала Гиббса к нулю в неравновесном материале возникают двухфазные предпереходные наноструктурные состояния, которые лежат в основе нанотехнологии. Предложена принципиально новая модель разрушения, согласно которой трещина зарождается как термодинамический распад кристалла в локальной зоне, где термодинамический потенциал Гиббса становится больше нуля. Распространение трещины

может происходить только через зоны сильно неравновесных наноструктурных состояний. Зарождение усталостного разрушения связано с развитием в поверхностном слое замкнутых вихрей локализованной пластической деформации. При упруго нагруженной подложке в замкнутых вихрях пластической деформации зарождаются усталостные трещины. Усталостная долговечность снижается при возрастании масштаба замкнутых вихрей локализованной пластической деформации в поверхностном слое материала. Показано, что трибосопряжения являются аналогом камеры Бриджмена, где возникают наноструктурные состояния и синтезируются наноструктурные фазы. Управление данным процессом позволяет существенно повышать износостойкость материалов.

На основе развитых представлений В.Е. Паниным с сотрудниками разработаны принципиально новые методы создания материалов различного назначения и методы их упрочнения, вскрыты новые закономерности поведения материалов в различных условиях нагружения, позволяющие диагностировать стадию предразрушения конструкций. Новая междисциплинарная область науки возникла в Томске и продолжила славные традиции томской школы физики твердого тела академика В.Д. Кузнецова.

Много внимания В.Е. Панин уделяет педагогической деятельности и подготовке научных кадров, являясь заведующим кафедрой «Материаловедение в машиностроении» Томского политехнического университета, профессором-консультантом Томского государственного университета, председателем диссертационного Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций в ИФПМ СО РАН. В.Е. Панин – глава ведущей научной школы, поддерживаемой грантами Президента РФ. В числе его учеников 15 докторов и более 130 кандидатов наук.

В.Е. Панин ведет большую научно-организационную работу: является членом бюро ОЭМПУ РАН, Объединенного ученого совета по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления СО РАН, Президиума Томского научного центра СО РАН, трех научных Советов РАН, редколлегий шести научных журналов, главным редактором международного журнала «Физическая мезомеханика».

Результаты исследований В.Е. Панина с сотрудниками получили широкое международное признание. На базе ИФПМ СО РАН создан международный центр исследований «Физиче-

ская мезомеханика материалов», международный журнал «Физическая мезомеханика» издается на русском и английском (в издательстве Elsevier) языках. В.Е. Панин является сопредседателем и членом организационных комитетов международных конференций по мезомеханике, которые ежегодно проводятся в различных странах. В 1999 г. он избран иностранным членом НАН Беларуси, в 2009 г. – иностранным членом НАН Украины, в 2002 г. ему в составе коллектива авторов совместным постановлением НАН Беларуси и СО РАН присуждена Премия имени академика В.А. Коптюга. Заслуги В.Е. Панина отмечены государственными наградами: медалью «За доблестный труд» (1970 г.), двумя орденами Трудового Красного Знамени (1981, 1986 гг.), орденом «За заслуги перед отечеством» IV степени (1998 г.), орденом «За заслуги перед отечеством» I степени (2007 г.). Он награжден Почетным серебряным орденом «Общественное признание», знаком отличия «За заслуги перед Томской областью». Ему присвоены звания «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», «Почетный гражданин города Томска», присуждена премия Фонда имени М.А. Лаврентьева 2009 г. в номинации «За выдающийся вклад в развитие исследований в области математики, механики и прикладной физики».

С нашим университетом ИФПМ СО РАН и академика В.Е. Панина связывают тесные научные контакты еще со времен моего обучения в докторантуре в конце 80-х годов. Я горд, что являюсь соавтором совместной публикации с Виктором Евгеньевичем - статьи «Каналы деформации в условиях электростимулированного волочения» (Громов В.Е., Панин В.Е., Козлов Э.В., Иванов Ю.Ф., Шаркеев Ю.П., Пушкарева Г.В. // Металлофизика. 1991. Т. 13. № 1. С. 27 - 34).

80-90-е годы прошлого столетия были ознаменованы повышенным вниманием исследователей к изучению электропластического эффекта. В своих работах мы показали, что в условиях интенсивной пластической деформации даже для низкоуглеродистых сталей возможно формирование областей с ультрадисперсной структурой, или, как сейчас говорят, наноструктурой. Это так называемые каналы локализации деформации. В этих областях субструктура фрагментирована, размеры фрагментов много меньше, чем в основном объеме материала, и составляют 10 - 20 нм. В условиях электростимулированного волочения образование каналов идет более интенсивно,

они появляются на более ранних стадиях, их объемная доля и линейные размеры больше. Локализация деформации в каналах является одной из причин увеличения пластичности при токовом воздействии. Изучение механизмов электропластической деформации – немагистральное научное направление ИФПМ СО РАН. Но Виктор Евгеньевич всегда в курсе новых направлений в физике твердого тела, охраняя их чистоту.

Между СибГИУ и ИФПМ СО РАН действует договор о научно-техническом сотрудничестве. На базе ИФПМ СО РАН функционирует кафедра физики имени профессора В.М. Финкеля нашего университета, только за последние пять лет совместно проведены три международных конференции «Влияние внешних воздействий на прочность и пластичность металлов и сплавов» в Томске, Шеньжэне и Барнауле, опубликованы несколько статей в издаваемом ИФПМ СО РАН журнале «Физическая мезомеханика», свыше десяти ученых нашего университета защищали свои кандидатские и докторские диссертации в ИФПМ СО РАН, четверо из них трудятся и сейчас в его стенах. И все это под руководством Виктора Евгеньевича.

В последние годы направление наших исследований было сконцентрировано на изучении механизмов и физической природы структурно-фазовых изменений и дефектной субструктуры металлов и сплавов при электро-взрывном легировании и последующей электронно-пучковой обработке. И здесь в лице Виктора Евгеньевича мы нашли поддержку и понимание. Его консультации и конструктивная критика для нас исключительно полезны. Особо важным событием для нас стало представление В.Е. Паниным нашей статьи «Механизм формирования высокой адгезии электро-

взрывных покрытий с основой металла» в ДАН – Доклады Академии наук – лучший физический журнал в России сегодня (Будовских Е.А., Громов В.Е., Романов Д.А. // Доклады Академии наук. 2013. Т. 449. № 1. С. 25 – 27). Он никогда не смотрел свысока на институтскую науку, а его поддержка в самые сложные для российской науки времена вдохновляла сотни молодых ученых, сомневавшихся в правильности выбранного ими пути.

В.Е. Панин прекрасно чувствует болевые точки и направления современной науки, знает, понимает и решает проблемы научных сотрудников. К своим ученикам, к коим я причисляю и себя, он всегда относился внимательно, отзывчиво. В нем сочетаются редкие и удивительные качества для человека с таким уровнем занятости. Он – настоящий ученый, горящий идеей, смотрящий вперед, анализирующий и скрупулезно систематизирующий факты. Он – новатор, чьи работы лежат в основе нанотехнологий. При этом он, выражаясь современным языком, обладает менеджерскими качествами: ему присущ гений организации, способность вдохновлять и мотивировать людей.

Уверен, что педагог В.Е. Панин, заведующий кафедрой «Материаловедение в машиностроении» Томского политехнического университета, профессор-консультант Томского государственного университета, прорубил тысячи окон в науку. Видимо, таково его призвание: открывать, вдохновлять, организовывать.

*От имени многочисленных коллег и учеников сердечно поздравляю Виктора Евгеньевича Панина со славным Юбилеем и желаю ему доброго здоровья, счастья и новых творческих успехов!*

В.Е. Громов

## РЕФЕРАТЫ

УДК 621.791.048:669.046.587

Использование ковшевого сталеплавильного шлака при изготовлении сварочного керамического флюса / Якушевич Н.Ф., Козырев Н.А., Проводова А.А., Крюков Р.Е., Липатова У.И. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 3.

Изучено поведение в процессе нагрева и охлаждения получаемых при производстве стали рельсовых марок саморассыпающихся высокоосновных ковшевых шлаков, изготовленных из них сварочных флюсов и образовавшихся в процессе сварки шлаковых корок. Показана принципиальная возможность использования ковшевого шлака сталеплавильного производства для изготовления флюса. Разработана технология изготовления керамического флюса. Подобран оптимальный режим наплавки для флюса.

**Ключевые слова:** ковшевой сталеплавильный шлак, керамический флюс, жидкое стекло

Usage of ladle steelmaking slag when producing welding ceramic flux / Yakushevich N.F., Kozyrev N.A., Prpvodova A.A., Kryukov R.E., Lipatova U.I. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 3.

The paper presents the research results of the behavior in the process of heating and cooling, resulting in the steel production of rail grades of self-slaking highly basic ladle slag, as well as welding fluxes and generated during welding slag crusts. The principal possibility of using ladle steelmaking slag for the production of flux has been shown. The technology for the manufacture of ceramic flux has been worked out. The optimal mode for welding flux has been chosen.

**Keywords:** ladle steelmaking slag, ceramic flux, liquid glass

УДК 62-419.5:620.172.224:519.876.5

Моделирование кинетики деформации и разрушения сваренных взрывом четырехслойных титано-стальных композитов / Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Соколова Е.В. Новиков Р.Е., Загребина А.А. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 6.

Проведено моделирование деформирования в условиях растяжения титано-стального композита с медно-ниобиевой прослойкой VT6+VN2+M1+12X18N10T при варьировании относительной толщины медного слоя при температурах 20 и 300 °С с помощью пакета SIMULIA/Abaqus. Методами конечно-элементного моделирования подтверждено, что уменьшение относительной толщины медной прослойки в четырехслойном композите VT6+VN2+M1+12X18N10T приводит к росту его прочности при нормальной температуре с постепенным перемещением локализации пластической деформации с меди M1 (при толщине  $\chi_{Cu}$  от 1,0 до 0,1) на сталь 12X18N10T (при  $\chi_{Cu} = 0,05$ ). Повышение температуры испытаний до 300 °С приводит к локализации деформации в медной и ниобиевой прослойках даже при  $\chi_{Cu} = 0,05$ . Рис. 3. Табл. 1. Библ. 9.

**Ключевые слова:** титан, сталь, мягкая прослойка, деформация, моделирование, метод конечных элементов.

Kinetics simulation of the of deformation and fracture of explosion welding four-layer titanium-steel composites / Gurevich L. M., Trykov Yu.P., Sokolova E. V., Novikov R.E., Zagrebina A.A. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 6.

Abstract: The paper presents the simulation of deformation of titanium-steel composite VT6-VN2-M1-12H18N10T with varying the relative thickness of the interlayer M1 and temperatures 20 and 300° C by the package SIMULIA / Abaqus. The finite element simulation has confirmed that the decrease in the relative thickness of the copper layer in the four-layer composite VT6-VN2-M1-12Cr18Ni10Ti leads to the increase of its strength with a gradual movement of localization of plastic deformation from copper M1 (at  $\chi_{Cu}$  from 1.0 to 0.1) to steel 12Cr18Ni10Ti (at  $\chi_{Cu} = 0.05$ ). Temperature rise tests up to 300 °C leads to the localization of deformation in niobium and copper interlayers even when  $\chi_{Cu} = 0.05$ . Fig 3. Table 1. Ref. 9.

**Keywords:** titanium, steel, soft interlayer, deformation, simulation, finite element method.

УДК 621.745.34:662.87

Экспериментальное и аналитическое определение скорости движения дисперсных частиц по каналам слоя топлива / Феоктистов А.В., Модзелевская О.Г., Селянин И.Ф., Куценко А.И., Куценко А.А. // Вестник СибГИУ. – 2015. №3 (13). – С. 9.

Использование пылеугольного топлива при ваграночной плавке как экономически более эффективно-го вида топлива по отношению к другим заменителям кокса заслуживает внимания исследователей технологического и теоретического направлений специализаций. Прогнозирование времени выгорания угольной частицы, а также скорости ее движения по каналам слоя кокса топливной насадки – необходимая задача для получения максимального теплового эффекта. Проведен численный расчет скорости твердых дисперсных частиц методом последовательных приближений, который позволил выявить зависимость скорости движения твердой частицы по каналам слоя кокса топливной насадки от среднего геометрического размера частицы. Ил. 2. Библ. 5.

**Ключевые слова:** пылеугольное топливо, скорость движения твердых дисперсных частиц, метод последовательных приближений.

Experimental and analytical determination of the velocity of the dispersed particles in the fuel channel layer / Feoktistov A.V., Modzelevskaya O.G., Selyanin I.F., Kuzenko A.I., Kuzenko A.A. // Bulletin of the SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 9.

The use of pulverized coal in the cupola melting as economically more efficient fuel relative to other substitutes of coke, deserves the attention of researchers and theoretical areas of technological specialization. Predicting the time of burning coal particles and the speed of its movement through the channels layer of coke fuel nozzle is a necessary task for maximum thermal effect. The numerical calculation of the speed of solid particle by successive approximations is carried out. It helps to reveal the dependence of the velocity of the solid particles of coke fuel channel layer nozzle by the geometric mean particle size. Fig. 2. Ref.5.

**Keywords:** pulverized coal, the rate of particulate solids, the method of successive approximations.

УДК 621.745

Анализ технологии получения окатышей, включающей принудительное зародышеобразование, на основе расчета давления воздушношихтовой струи / Павловец В.М., Герасимук А.В. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 13.

В статье развиты принципы принудительного зародышеобразования в процессе получения железорудных окатышей. В их основу положен анализ технологии получения окатышей, базирующийся на принудительном зародышеобразовании, на основе расчета давления воздушношихтовой струи (ВШС) и построения номограмм для его определения, используя входные параметры струйного процесса. Номограммы позволяют выбрать необходимое давление ВШС по технологическим параметрам струйного процесса, размерам напыленного слоя шихты и характеристикам зародышевой массы. Результаты расчетов позволяют прогнозировать структурные свойства окатышей, полученные по технологии принудительного зародышеобразования. Рис. 3. Библ. 7.

**Ключевые слова:** принципы принудительного зародышеобразования, напыление влажной шихты на шихтовый гарнисаж, тарельчатый окомкователь, давление воздушношихтовой струи, напыленный слой шихты, зародыши, железорудные окатыши.

Development of principles of forced nucleation in process of reception of iron ore pellets / Pavlovets V.M., Gerasimuk A.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 13.

The article develops the principles of forced nucleation in process of production of iron ore pellets. It's based on calculating and analytical method of designing technology for pellets, taking into account the parameters of forced formation in the system of wet deposition charge on the skull pelletizer and design characteristics of the deposited layers of charge, nucleus and pellets. Retrieved design data allow choosing the coordinate of the deposition of the charge on the skull pelletizer and the number of jet devices required for thermal power deposition wet charge on the skull pelletizer. Fig.3. Ref. 7.

**Keywords:** principles forced nucleation, spraying of wet batch for charge skull, poppet pelletizer, air-charge jets, sprayed layer of charge, nucleus, iron ore pellets.

## УДК 551.79

Остракоды плиоцена центральных и юго-западных районов Степного Алтая / Тетерина И.И. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 18.

Рассмотрен собранный за последние годы палеонтологический материал по остракодам раннего плиоцена центральных и юго-западных районов Степного Алтая. Проведено сопоставление установленных комплексов с новостаничным комплексом остракод Омского Прииртышья. Проведен анализ видового состава остракод Центральной Кулунды и западных предгорий Алтая. Результаты исследований позволяют проводить корреляцию разновозрастных отложений этих районов. Табл. 1. Ил. 1. Библ. 12.

**Ключевые слова:** стратиграфия, неоген, остракоды, Степной Алтай.

Pliocene ostracods of the central and southwest areas of Steppe Altai. / Teterina I.I. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 18.

The article gives all the information collected during the last years of paleontological material on ostracods from the early Pliocene of central and southwest areas of Steppe Altai. A comparison of the established systems with newstanitsa complex of ostracods of Omsk Irtysh region is carried out. The analysis of the species composition of ostracods of the Central Kulunda and Western foothills of Altai is conducted. The results allow conducting the correlation of coeval sediments of these areas. Tabl. 1. Fig. 1. Ref. 12.

**Keywords:** stratigraphy of the Neogene, ostracods, Steppe Altai.

## УДК 622.6

Решение технических задач с использованием принципа Даламбера / Живаго Э.Я., Михайленко Н.И. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 22.

Принцип Даламбера используется для уравновешенности системы сил, действующих на систему материальных точек (звеньях механизма). Значение принципа Даламбера состоит в том, что при непосредственном его применении к задачам динамики уравнения движения системы составляются в форме хорошо известных уравнений равновесия, что делает единым подход к решению задач и часто упрощает соответствующие расчеты. Механическая система с реальной связью исследуется на примере маховика, насаженного посередине вала с небольшим перекосом к поперечной оси, вращающегося с постоянной угловой скоростью. Решается задача об определении добавочных динамических давлений вала на подшипники. Маятник центробежного регулятора вращается с постоянной скоростью. Вследствие изменения нагрузки машины регулятор приведен в действие, и шары раздвигаются. Решается задача об определении дополнительного давления на подшипники, вызываемого ускорением Кориолиса. Рассматривается также одноцилиндровый двигатель с двумя маховиками. Определяются массы грузов, которые нужно расположить на ободах маховиков, чтобы сбалансировать систему. Ил. 5. Библ. 3.

**Ключевые слова:** механическая система, усилие, грузоподъемный механизм, движение, двигатель.

Solution of technical tasks with the use of D'Alembert's principle / Zhivago E.Ya., Mikhaylenko N.I. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 22.

The D'Alembert's principle is used to balance the system of forces acting on the system of material points (the parts of the mechanism). The importance of the D'Alembert's principle is that its direct application to the problems of the dynamics of the equations of motion of the system are presented in the form of well-known equilibrium equations, which makes a unified approach to solving problems and often simplifies calculations. A mechanical system with a real relationship is investigated on the example of a flywheel, mounted in the middle of the shaft with a slight bias to the transverse axis, rotating with constant angular velocity. The problem of determining incremental dynamic pressure of the shaft on the bearings is solved in the paper. The centrifugal regulator pendulum rotates at a constant speed. Due to changes in the load of the machine the controller is powered, and the balls are moved apart to solve the problem of determining additional pressure on the bearings caused by the Coriolis acceleration. A single-cylinder engine with two flywheels is also considered. The mass of goods which must be placed on the rim of a flywheel to balance the system is determined. Fig. 5. Ref. 3.

**Keywords:** mechanical system, stress, load-lifting mechanism, motion, motor.

**УДК 662.749**

Получение углерод-углеродных композитов / Школлер М.Б. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 30.

Представлены результаты лабораторных исследований в области разработки способа агломерации мелкодисперсного полукокса, получаемого из бурых углей Канско-Ачинского бассейна путем смешивания его на выходе из реактора полукоксования с коксующимся углем с последующим прессованием и охлаждением. Высказано предположение, что подобный принцип может быть использован для получения композитов из смесей предварительно нагретых других разновидностей мелкодисперсных материалов с коксующимся углем. Ил. 4. Библ. 3.

**Ключевые слова:** буроугольный полукокс, коксующийся уголь, композит.

Preparation of carbon-carbon composites / Shkoller M.B. // Bulletin of SibSIU. – 2015.– № 3 (13). – P. 30.

The paper gives the results of the laboratory research in the development of the method of the agglomeration of fine coal char derived from brown coal of the Kansk-Achinsk basin by mixing it at the exit of the reactor with semi-coking coking coal with subsequent pressing and cooling. It has been suggested that a similar principle can be used to produce composites from preheated mixtures of other varieties of finely divided materials with coking coal. Fig.4. Ref. 3.

**Keywords:** lignite semi-coke, coking coal, composite.

**УДК 624.131.542**

Сопоставление результатов экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов с результатами расчетов, полученными при помощи программы «PLAXIS» / Платонова С.В. // Вестник СибГИУ. – 2015.– № 3 (13). – С. 33.

Рассмотрен ленточный щелевидный фундамент. Проведено сопоставление полученных экспериментальных данных с результатами расчетов, полученных по программе «Plaxis». Эксперименты по установлению характера распределения контактных давлений проводились в грунтовой лотке, в качестве грунтового основания использовалась супесь.

В качестве сопоставляемых моделей выбраны две наиболее популярные упругопластические модели: модель Кулона-Мора и модель упрочняющегося грунта. Исследована особенность распределения контактных давлений под подошвой стенок и плитой фундамента, что позволяет более правильно назначить расчетную схему при оценке прочности щелевидного фундамента и надежнее оценить его прочность.

**Ключевые слова:** напряжение, распределение напряжений, фундамент, грунт, моделирование.

Comparison of the results of experimental studies of stress-strain state of the ground foundation under the base of strip slit foundation with the calculation results obtained with the help of the program «PLAXIS» / Platоnova S.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015.– № 3 (13). – P. 33.

The article considers the strip slit foundation. A comparison of the experimental data with the calculated results obtained under the program «Plaxis» has been carried out. The experiments on the establishment of contact pressure distribution have been carried out in the ground tray; sandy loam has been used as soil foundation.

As the matched model two of the most popular elastoplastic models have been chosen: Mohr-Coulomb and hardening soil models. The peculiarities of the distribution of the contact pressure under the sole foundation and walls have been researched; that allows designating more accurate the calculation scheme in assessing the strength of the slot-like foundation, as well as estimating reliably its strength.

**Ключевые слова:** stress, stress distribution, foundation, ground, modeling.

**УДК 622.271**

Особенности технологии рекультивации в лесостепной зоне Кузбасса / Горбунова А.Р., Шипилова А.М., Семина И.С., Беланов И.П. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 37.

Рассматривается технология рекультивации нарушенных земель в лесостепной зоне Кузбасса. Ил. 1. Библ. 2.

**Ключевые слова:** техногенные ландшафты, рекультивация, ресурсы рекультивации.

Features of recultivation technology in the forest - steppe zone of Kuzbass / Gorbunova A.R., Shipilova A.M., Semina I.S., Belanov I.P. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 37.

The paper considers the technology of recultivation of disturbed lands located in the forest - steppe zone of Kuzbass. Fig. 1. Ref. 2

**Keywords:** technogenic landscapes, recultivation, resources of recultivation.

#### УДК 621.771

Исследования Магнитогорского центра качества металлопродукции (научный обзор) / Гун Г.С. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 40.

Приведены результаты научной деятельности Центра качества Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, в котором действует единственный в стране диссертационный совет по специальности 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством продукции» в металлургии, что создает благоприятную обстановку и стимулирует результаты исследований в сфере качества. В этом Совете защищены шесть докторских и свыше 30 кандидатских диссертаций. Труды магнитогорских ученых предложены и развиваются две новые науки – квалиметрия металлургии и протипология (наука стандартизации). Разработанные методы оценки и управления качеством внедрены на ряде металлургических и машиностроительных предприятий отрасли. Библ. 91.

**Ключевые слова:** металлопродукция, качество, квалиметрия, формальная логика, функционально-целевой анализ, протипология, системный подход.

Investigations of Magnitogorsk metal products quality center (scientific survey)/ Gun G.S. // Bulletin of SibSIU.– 2015. – № 3 (13). – P. 40.

The paper analyzes the results of scientific activity of Metal Products Quality center in Nosov Magnitogorsk state technical university, in which the only in the Russian Federation the dissertation council for the specialty 05.02.23 – Standardization and production quality management in metallurgy exists. It provides favorable conditions and stimulates new researches in quality management area. Six doctoral dissertations and more than 30 candidate thesis have been defended in this dissertation council. Two new sciences – metallurgy qualimetry and protipology (standardization science) – were carried out and have been developing by Magnitogorsk scientists. The devised methods for quality assessment and management have been integrated at various metallurgical and machinebuilding enterprises. Ref. 91.

**Keywords:** metal production, quality, qualimetry, formal logic, functional-oriented analysis, protipology, system approach.

#### УДК 666.9[658.567.1:621.3]

Исследование и разработка отвалов отходов энергетики для применения их в производстве строительных материалов / Панова В.Ф., Панов С.А. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 49.

Представлены результаты исследования отходов энергетики и требования к ним как к сырью для производства строительных материалов. Приведены вещественный, химический и минералогический составы отходов. Описаны устройство и методы разработки золоотвала с применением различных механизмов: драглайна, многоковшового экскаватора, бульдозера. Даны особенности флотационного метода обогащения золы для удаления примесей угля, который отрицательно влияет на качество строительных изделий из нее. На примере золы Беловской ГРЭС проведены исследования по применению ее как компонента вяжущего. Дана оценка отходов энергетики как заполнителя и сырья для производства силикатного кирпича. Показана модель исследования и переработки отходов энергетики как сырья для строительной индустрии. Ил. 3. Табл. 2. Библ. 5.

**Ключевые слова:** зола, отходы энергетики, заполнитель, наполнитель, разработка отвала, кирпич, модель исследования.

Research and development of the waste dumps of energy for use in the manufacture of building materials / Panova V.F., Panov S.A. // The Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 49.

The paper presents the results of investigation of waste and energy requirements to them as a raw material for the production of building materials. Substantial, chemical and mineralogical waste compositions are given. The arrangement and methods for the developing the ash dump with different mechanisms: dragline, excavator, bulldozer, are described. The features of the flotation method of ash enrichment to remove impurities, which adversely affect the quality of construction products in it, are given. On the example of ash from Belovskaya state district power station the authors present the researches on its application as a component of the binder. The estimation of waste energy, as filler and raw materials for production of silica brick is given, as well as shown a model of research and waste energy as a raw material for the construction industry. Fig. 3. Table 2. Ref. 5.

**Keywords:** ash, waste energy, filler, filler, dump development, brick, research model.

### УДК 378.147.033

Использование интерактивных методов обучения при формировании экологической культуры студентов вузов / Кабанова Г.М., Ложкина Ю.Ю. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 55.

В условиях экологического кризиса приоритетным является экологическое образование. Эффективность обучения зависит от квалификации преподавателя и использования современных методов обучения. Большая роль в образовательном процессе отводится организации самостоятельной работы студентов. Интерактивные методы как часть педагогических приемов, применяемые на современном этапе обучения, позволяют достичь значительных результатов в системе экологического образования. Библ. 6.

**Ключевые слова:** экология, процесс обучения, интерактивные методы обучения, экологическое воспитание, экологическое образование.

The use of modern teaching methods in the formation of ecological culture of university students / G.M. Kabanova, Y.Y. Lozhkina // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 55.

In the conditions of ecological crisis ecological education is considered to be priority. The effectiveness of training depends on the training of teachers, use of modern techniques and teaching methods. A major role in the educational process is given to the organization of independent work of students. Teaching techniques used at the present stage of training, allow achieving significant results in environmental education. Ref. 6.

**Keywords:** ecology, learning process, interactive teaching methods, environmental education, environmental upbringing.

### УДК 379.14:69

Специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» – 20 лет / Панова В.Ф., Панов С.А., Камбалина И.В., Карпачева А.А. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 57.

Описывается подготовка инженеров по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» на выпускающей кафедре «Строительные технологии и материалы» ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». Приведены сведения о преподавателях, занимающихся подготовкой специалистов и бакалавров, о научной и учебно-методической работе, достижениях студентов и выпускников. Ил. 1.

**Ключевые слова:** инженер, специальность, производство строительных материалов, изделий и конструкций, студенты, выпускники, учебный процесс.

Panova V.F., Panov S.A., Kambalina I.V., Karpacheva A.A. / Specialty «Production of building material, products and structures» – 20 years // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 57.

This article describes the training of engineers in the specialty “Production of building materials, products and structures” on the issuing department building technologies and materials of State Educational Institution of

Higher Professional Education “Siberian State Industrial University”. The article also provides the information about the teachers involved in the training of specialists and bachelors of scientific and educational work, the achievements of students and graduates. Fig. 1.

**Keywords:** engineer, specialty, construction materials, products and designs, students, graduates, educational process.

**УДК 378:351.858**

Социальное предпринимательство и проблема формирования предпринимательской компетенции студентов вузов / Гафарова Д.А. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 3 (13). – С. 61.

Рассмотрены ключевые характеристики деятельности социальных предпринимателей. Обобщены результаты зондажа в 2008 и 2011 гг. общественного мнения по проблематике социального предпринимательства, который выявил низкий уровень информированности населения о практике социального предпринимательства. Представлены результаты социологического исследования интереса студентов старших курсов вузов г. Новокузнецка к открытию собственного социального бизнеса и развитию предпринимательской компетенции, установлены мотивы участия студентов в социальном бизнесе. Отражены характеристики личности студента, способствующие формированию его предпринимательской компетенции. Представлены результаты анализа российского опыта проведения молодежных мероприятий, направленных на формирование предпринимательской компетенции студентов. Библ. 5.

**Ключевые слова:** социальное предпринимательство, социальный бизнес, предпринимательская компетенция.

Social enterprise and the problem of enterprise competence formation of Higher education institution students / Gaфарova D. A. // The Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 3 (13). – P. 61.

Key characteristics of activity of social businessmen are considered. Results of a sounding in 2008 and 2011 of public opinion on a perspective of social business are generalized. The results revealed the low level of knowledge of the population of practice of social business. Results of sociological research of interest of students of older years of higher education institutions of Novokuznetsk in opening of own social business and development of enterprise competence are presented, motives of participation of students in social business are established. The characteristics of the identity of the student promoting formation of its enterprise competence are reflected. Results of the analysis of the Russian experience of carrying out the youth actions directed on the formation of enterprise competence of students are presented. Ref. 5.

**Keywords:** social enterprise, social business, enterprise competence.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Сибирского государственного индустриального университета» публикуются оригинальные, ранее не публиковавшиеся статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера по следующим направлениям:

1. Металлургия и материаловедение.
2. Горное дело и геотехнологии.
3. Машиностроение и транспорт.
4. Энергетика и электротехнологии.
5. Химия и химические технологии.
6. Архитектура и строительство.
7. Автоматизация и информационные технологии.
8. Экология и рациональное природопользование.
9. Экономика и управление.
10. Образование и педагогика.
11. Гуманитарные науки.
12. Социальные науки.
13. Отклики, рецензии, биографии.

К рукописи следует приложить рекомендацию соответствующей кафедры высшего учебного заведения и экспертное заключение.

Кроме того, необходимо разрешение ректора или проректора высшего учебного заведения (для неучебного предприятия – руководителя или его заместителя) на опубликование результатов работ, выполненных в данном вузе (предприятии).

В редакцию следует направлять два экземпляра текста статьи на бумажном носителе, а также на электронном. Для ускорения процесса рецензирования статей электронный вариант статьи и скан-копии сопроводительных документов рекомендуется направлять по электронной почте ответственному секретарю журнала на e-mail: [konovserg@gmail.com](mailto:konovserg@gmail.com) с пометкой «статья в Вестник СибГИУ».

Таблицы, библиографический список и подрисуночный текст следует представлять на отдельных страницах. В рукописи необходимо сделать ссылки на таблицы, рисунки и литературные источники, приведенные в статье.

Иллюстрации нужно представлять отдельно от текста на носителе информации. Пояснительные надписи в иллюстрациях должны быть выполнены шрифтом Times New Roman Italic (греческие буквы – шрифтом Symbol Regular) размером 9. Тоновые изображения, размер которых не должен превышать 75x75 мм (фотографии и другие изображения, содержащие оттенки черного цвета), следует направлять в виде растровых графических файлов (форматов \*.bmp, \*.jpg, \*.gif, \*.tif) в цветовой шкале «оттенки серого» с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм). Штриховые рисунки (графики, блок-схемы и т.д.) следует представлять в «черно-белой» шкале с разрешением не менее 600 dpi. На графиках не нужно наносить линии сетки, а экспериментальные или расчетные точки (маркеры) без крайней необходимости не «заливать» черным. Штриховые рисунки, созданные при помощи рас-

пространственных программ MS Excel, MS Visio и др., следует представлять в формате исходного приложения (\*.xls, \*.vsd и др.). На обратной стороне рисунка должны стоять порядковый номер, соответствующий номеру рисунка в тексте, фамилии авторов, название статьи.

Формулы вписываются четко. Шрифтовое оформление физических величин следующее: латинские буквы в светлом курсивном начертании, русские и греческие – в светлом прямом. Числа и единицы измерения – в светлом прямом начертании. Особое внимание следует обратить на правильное изображение индексов и показателей степеней. Если формулы набираются с помощью редакторов формул Equatn или Math Type, следить, чтобы масштаб формул был 100 %. Масштаб устанавливается в диалоговом окне «Формат объекта». В редакторе формул для латинских и греческих букв использовать стиль «Математический» («Math»), для русских – стиль «Текст» («Text»). Размер задается стилем «Обычный» («Full»), для степеней и индексов – «Крупный индекс/ Мелкий индекс» («Subscript/Sub-Subscript»). Недопустимо использовать стиль «Другой» («Other»).

Необходимо избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статьи. Объем статьи не должен превышать 8 – 10 страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, и трех рисунков.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором (при наличии нескольких авторов, число которых не должно превышать пяти, – всеми авторами); в конце рукописи указывают полное название высшего учебного заведения (предприятия) и кафедры, дату отправки рукописи, а также полные сведения о каждом авторе (Ф.И.О., место работы, должность, ученая степень, звание, служебный и домашний адреса с почтовыми индексами, телефон и E-mail того, с кем вести переписку).

Цитируемую в статье литературу следует давать не в виде подстрочных сносок, а общим списком в порядке упоминания в статье с обозначением ссылки в тексте порядковой цифрой.

Перечень литературных источников рекомендуется не менее 10. Библиографический список оформляют в соответствии с ГОСТ 7.2 – 2003: 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, полное название журнала, название статьи, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборников – фамилии и инициалы авторов, название сборника, название статьи, место издания, издательство, год издания, кому принадлежит, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, в библиографическом списке фамилии авторов, полное

название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

К статье должны быть приложены аннотация в двух экземплярах объемом не менее 1/2 страницы текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, а также ключевые слова.

В конце статьи необходимо привести на английском языке: название статьи, ФИО авторов, место их работы, аннотацию и ключевые слова.

Краткие сообщения должны иметь самостоятельное научное значение и характеризоваться новизной и оригинальностью. Они предназначены для публикации в основном аспирантских работ. Объем кратких сообщений не должен превышать двух страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, включая таблицы и библиографический список. Под заголовком в скобках следует указать, что это краткое сообщение. Допускается

включение в краткое сообщение одного несложного рисунка, в этом случае текст должен быть уменьшен. Приводить в одном сообщении одновременно таблицу и рисунок не рекомендуется.

Количество авторов в кратком сообщении должно быть не более трех. Требования к оформлению рукописей и необходимой документации те же, что к оформлению статей.

Корректуры статей авторам, как правило, не посылают.

В случае возвращения статьи автору для исправления (или при сокращении) датой представления считается день получения окончательного текста.

Статьи, поступающие в редакцию, проходят гласную рецензию.

Статьи журнала индексируются в РИНЦ и представлены на сайте СибГИУ ([www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)) в разделе Наука и инновации (Периодические научные издания (Журнал «Вестник СибГИУ»)).

Над номером работали:

Протопопов Е.В., *главный редактор*

Темлянцев М.В., *зам. главного редактора*

Коновалов С.В., *ответственный секретарь*

Олендаренко Н.П., *ведущий редактор*

Бащенко Л.П., *ведущий редактор*

Неунывахина Д.Т., *компьютерный набор, иллюстрации*

Темлянцева Е.Н., *верстка*

Олендаренко Е.В., *менеджер по работе с клиентами*