

Научный журнал

# ВЕСТНИК

Сибирского  
государственного  
индустриального  
университета

№ 2 (8), 2014

Основан в 2012 году  
Выходит 4 раза в год

## Учредитель:

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

## Редакционная коллегия

М.В. Темлянецв  
(главный редактор)

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

- Шморгун В.Г., Трыков Ю.П., Богданов А.И., Таубе А.О., Евстропов Д.А. Кинетика взаимодействия алюминия и никеля при жидкофазном формировании диффузионной зоны.....3  
Цымбал В.П., Мочалов С.П., Оленников А.А., Огнев А.М. Мини-металлургия полного цикла на основе процесса СЭР – от руды до стали .....6  
Хамитов Р.М., Дробышев А.Н., Дегтярь В.А. Влияние вибрации на кристаллизующийся расплав серого чугуна .....14

### ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

- Шеховцова В.О., Шеховцов В.С., Залеская О.В. Способ формирования предохранительной подушки при разработке слепых сближенных рудных залежей.....17  
Шипилова А.М., Беланов И.П. Особенности структуры почв техногенных ландшафтов, расположенных в лесостепной зоне Кузбасса .....20

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Башкова М.Н., Казимиров С.А., Темлянецв М.В., Багрянцев В.И., Рыбушкин А.А., Слажнева К.С. Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках .....24  
Чапаев Д.Б. Оценка экономии топлива в результате снижения теплопотребления за счет теплопоступлений от солнечной радиации при использовании автоматизированной системы отопления жилого здания .....32

### ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Ширяева Л.С., Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Руднева В.В. Поведение нанодисперсного карбонитрида хрома при хранении и нагревании на воздухе.....36  
Горюшкин В.Ф., Бендре Ю.В., Зенцова С.А., Гагарин А.Д. Механизм и кинетические параметры газовой коррозии титанового сплава ВТ6 в тетрахлориде углерода.....40

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Грачев В.В., Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Киселев С.Ф., Львова Е.И., Линков А.А. Испытание и наладка средств и систем автоматизации.....44  
Рыбенко И.А. Термодинамическое моделирование процесса горения топлива .....48

### ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Водолеев А.С., Черданцева Е.С., Куренский И.А. Обезвреживание промышленных отходов с использованием почвенных микроорганизмов и высших растений.....51

## ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Козлов В.П.** Методологический подход к управлению аудиторским риском.....54

## ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИКА

**Биунцев В.Н., Рыбенко И.А.** Имитационная модель для решения широкого класса задач.....58

**Рефераты**.....60  
**К сведению авторов**.....67

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. 433М  
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. 336Г  
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, Издательский центр СибГИУ  
тел. 8-3843-46-44-02

### Подписной индекс:

Объединенный каталог «Пресса России» – 41270

Подписано в печать

26.06.2014 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл.печ.л. 3,8.

Уч.-изд.л. 4,2.

Тираж 300 экз.

Заказ № 497.

Цена свободная.

*В.Г. Шморзун, Ю.П. Трыков, А.И. Богданов, А.О. Таубе, Д.А. Евстропов*

Волгоградский государственный технический университет

## КИНЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЮМИНИЯ И НИКЕЛЯ ПРИ ЖИДКОФАЗНОМ ФОРМИРОВАНИИ ДИФфуЗИОННОЙ ЗОНЫ\*

Технология получения нового класса конструкционных материалов – слоистых интерметаллидных композитов – предусматривает сварку взрывом многослойных пакетов и их последующую прокатку до толщины, обеспечивающей после завершающей высокотемпературной термической обработки заданное объемное соотношение основных и образующихся в результате диффузии интерметаллидных слоев [1]. По данным ранее выполненных исследований [2 – 4] добиться значительного увеличения интенсивности диффузионных процессов на межслойных границах можно за счет проведения термической обработки при температурах выше температуры эвтектического превращения (то есть при так называемом контактном плавлении [2, 3]), а также в присутствии жидкой фазы [4].

Целью настоящей работы являлось исследование фазового состава диффузионной зоны и структуры, полученной при нагревах слоистых композитов системы Al – Ni выше температуры эвтектического превращения.

Исследования проводили на сваренных взрывом биметаллических образцах состава алюминий АД1 + никель НП1 (толщина слоев составляла 4 и 4 мм). Металлографические исследования выполняли на оптическом микроскопе «Olympus BX61». Параметры структуры биметалла измеряли при обработке цифровых изображений с помощью пакета программ «Analysis» (Soft Imaging System GmbH). Микротвердость структурных составляющих определяли на приборе ПМТ-3М под нагрузкой 0,2 – 1,0 Н. Для исключения растекания и окисления алюминиевого слоя термическую обработку образцов проводили в обмазке (жидкое стекло и тальк). Для определения фазового состава диффузионной зоны проводили электронно-оптические исследования на растровом двухлучевом электронном микроскопе системы Versa 3D.

Металлографический анализ зоны соединения биметалла Ni – Al после его термической обработки в условиях контактного плавления (640 °С) и в присутствии жидкой фазы (660 и 700 °С) показал, что на межслойной границе, примыкающей к никелевому слою, образовалась сплошная диффузионная зона, состоящая из двух разделенных четкой границей прослоек (рис. 1). Со стороны алюминия кристаллизовалась прослойка в виде вытянутых вдоль границы ячеистых образований, а также в виде образований игольчатой и округлой формы твердостью около 7,5 ГПа. Твердость сплошной прослойки со стороны никеля составляет 9,7 ГПа.

Исследование фазового состава диффузионной зоны показали (рис. 2, б), что со стороны никеля образуется интерметаллид Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> (содержание алюминия составляет примерно 56,3 % (по массе)), а со стороны алюминия – NiAl<sub>3</sub> (содержание алюминия 39,8 % (по массе)). В алюминиевой матрице присутствуют только включения интерметаллида NiAl<sub>3</sub> (рис. 2, а; таблица).

Формирование двухфазного слоя продуктов реакции из алюминиды никеля NiAl<sub>3</sub> и закристаллизовавшегося алюминия можно объяснить разрушением сплошного слоя алюминиды никеля под действием напряжений, возникающих вследствие различий в объемах прореагировавшего никеля и интерметаллида [5].

Слой алюминиды никеля NiAl<sub>3</sub> диффузионной зоны находится в условиях сложного напряженного состояния с напряжениями, увеличивающимися по мере утолщения слоя алюминиды никеля или ускорения его роста. Из-за низкой пластичности алюминиды никеля NiAl<sub>3</sub> после достижения соответствующей прослойкой некоторой критической толщины и, следовательно, критических напряжений в ней, она может подвергнуться трещинообразованию и разрушению. Отделившиеся от нее фрагменты оголяют новую поверхность, по которой химическая реакция возобновляется. Выделенная на реакционной поверхности теплота экзотермической реакции формирования

\* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (13-08-00066 а и 13-08-97025 р\_поволжье\_а).

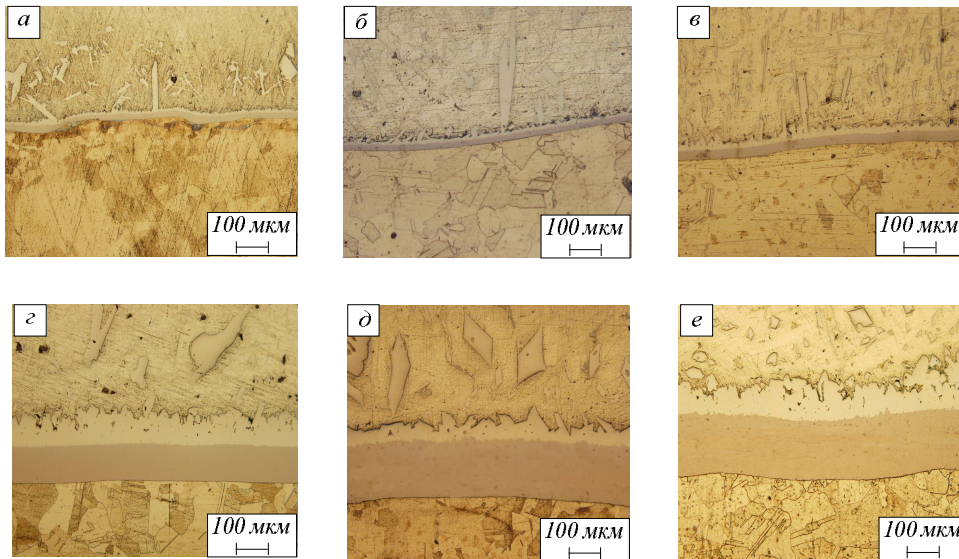


Рис. 1. Микроструктура зоны соединения биметалла Al – Ni после термической обработки при 640 °C (а, з), 660 °C (б, д) и 700 °C (е, е) с выдержкой в течение 1 ч (а – в) и 10 ч (д – е)

алюминиды никеля  $NiAl_3$  увеличивает температуры продуктов реакции и контактирующего с ними расплава алюминия, что приводит к возникновению градиента температур и конвективных потоков расплава. Циркулирующие потоки жидкого алюминия в восходящем направлении транспортируют отделившиеся фрагменты алюминиды никеля  $NiAl_3$  от зоны реакции. Наличие трещин в отделившихся фрагментах позволяет им во время транспор-

тирования тепловыми токами дополнительно дробиться на более мелкие части.

Объемная доля (рис. 3) и вариативность размеров (рис. 4) данных фрагментов меняются с увеличением времени выдержки при термической обработке. Так, после нагрева при 700 °C и выдержке в течение 15 мин концентрация таких фрагментов в общем объеме слоя алюминия составляет около 8 – 10 %, при выдержке в течение 1, 10 и 50 ч – 15 – 17, 23 – 25 и 62 – 65 % соответственно (рис. 5).

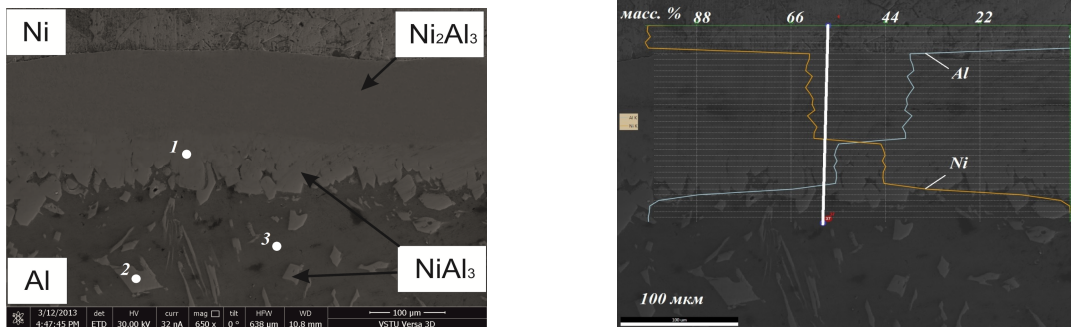


Рис. 2. Изображение СЭМ (а) и распределение концентрации элементов в диффузионной зоне (б) после термической обработки при 660 °C в течение 10 ч

### Химический состав по зонам алюминиевого слоя

| Зона | Алюминий      |                     | Никель        |                     | Фаза     |
|------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|----------|
|      | Содержание, % | Возможная ошибка, % | Содержание, % | Возможная ошибка, % |          |
| 1    | 58,11/75,12   | 5,11                | 41,89/24,88   | 2,86                | $NiAl_3$ |
| 2    | 58,97/75,77   | 5,06                | 41,03/24,23   | 2,86                | $NiAl_3$ |
| 3    | 100,00/100,00 | 0,69                | –/–           | –                   | Al       |

Примечание. Через косую приведены значения содержания элемента по массе и атом.



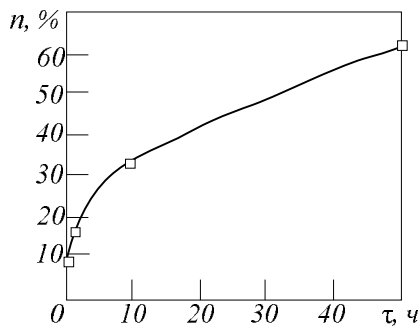


Рис. 3. Изменение объемной доли алюмината никеля  $\text{NiAl}_3$  в слое алюминия в зависимости от времени выдержки при 700 °С

Суммарная толщина сплошной диффузионной зоны увеличивается с ростом температуры и времени выдержки при термической обработке. Так, например, после отжига в течение 10 ч при 640 °С она составила 140 мкм, при 660 °С – 220 мкм, при 700 °С – 245 мкм (рис. 5). Сравнение полученных результатов и данных по кинетике роста диффузионной прослойки при температурах ниже температуры фазового перехода [6] позволило сделать вывод о том, что термическая обработка в условиях контактного плавления и в присутствии жидкой фазы приводит к некоторой интенсификации диффузионных процессов на межслойной границе в никель-алюминиевом композите.

**Выводы.** Проведенные исследования позволили выявить кинетику трансформации структуры алюминиевого слоя при нагревах композита Ni – Al, приводящих к образованию жидкой фазы, а также установить фазовый состав сформировавшихся структурных составляющих. Со стороны никеля образуется прослойка интерметаллида  $\text{Ni}_2\text{Al}_3$  (микротвердость 9,7 ГПа), а со стороны алюминия –  $\text{NiAl}_3$  (микротвердость 7,5 ГПа). Слой алюминия трансформируется в твердый раствор с включениями

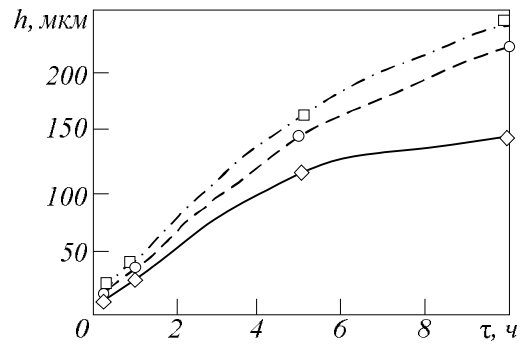


Рис. 5. Зависимость толщины сплошной диффузионной зоны от времени выдержки при термической обработке биметалла Al – Ni при температуре выдержки 640 °С (—), 660 °С (---) и 700 °С (- · -)

ми интерметаллида  $\text{NiAl}_3$ , объемная доля которых растет с увеличением времени выдержки при термической обработке.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трыков Ю.П. Комплексные технологические процессы производства композиционных материалов и изделий // Наука производству. 2000. № 1. С. 20 – 23.
2. Шморгунов В.Г., Трыков Ю.П., Слаутин О.В., Абраменко С.А., Писарев С.П. Влияние высокотемпературной термообработки на структуру и свойства медно-алюминиевого слоистого интерметаллидного композита // Конструкции из композиционных материалов. 2007. № 2. С. 37 – 42.
3. Крашенинников С.В., Кузьмин С.В., Лысак В.И., Чистякова Н.И. Исследование кинетики процесса контактного эвтектического плавления в сваренных взрывом титано-медно-стальных композитах // Перспективные материалы. 2005. № 3. С. 75 – 80.

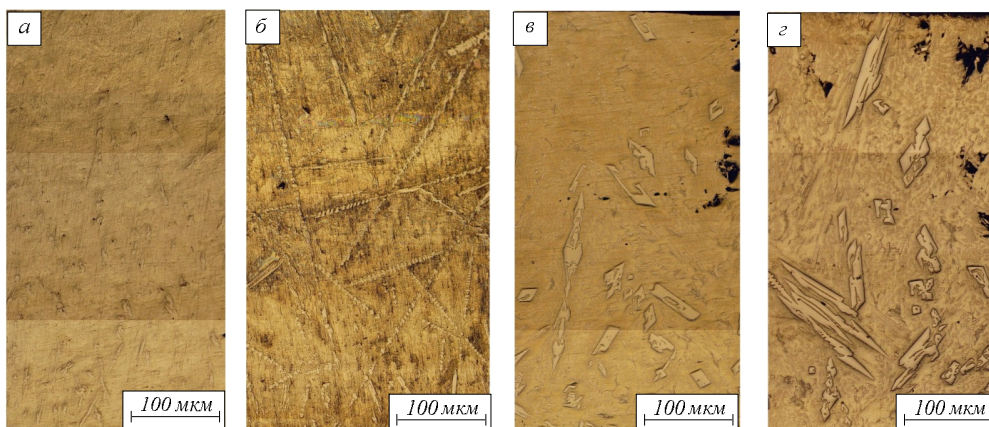


Рис. 4. Микроструктуры алюминиевого слоя после термической обработки при 700 °С в течение 15 мин (а), 1 ч (б), 10 ч (в) и 50 ч (г)

4. Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Жоров А.Н., Гурулев Д.Н., Локтюшин В.А. Структурообразование в титано-алюминиевых композитах в присутствии жидкой фазы // Журнал функциональных материалов. 2008. Т. 2. № 4. С. 153 – 157.
5. Slama G., Vignes A. Coating of niobium and niobium alloys with aluminium. Part II. Hot-dipped coatings // Journal of the Less-common Metals. 1971. № 24. P. 1 – 21.
6. Шморгун В.Г., Трыков Ю.П., Слаутин О.В., Метелкин В.В., Богданов А.И. Кинетика диффузионных процессов в никель-алюминиевой композиции // Изв. вуз. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2008. № 4. С. 24 – 28.

© 2014 г. В.Г. Шморгун, Ю.П. Трыков, А.И. Богданов, А.О. Таубе, Д.А. Евстропов  
Поступила 17 декабря 2013 г.

УДК 669.046:536.421

**В.П. Цымбал<sup>1</sup>, С.П. Мочалов<sup>1</sup>, А.А. Оленников<sup>1</sup>, А.М. Огнев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>2</sup>ОАО «Сибэлектротерм» (г. Новосибирск)

## **МИНИ-МЕТАЛЛУРГИЯ ПОЛНОГО ЦИКЛА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА СЭР – ОТ РУДЫ ДО СТАЛИ**

Металлургия является одной из ключевых отраслей тяжелой индустрии (машиностроения, энергетики, строительства и т.д.) и может стать локомотивом для развития восточных регионов России и других мало обжитых районов. Однако ожидать крупномасштабных инвестиций для строительства традиционных металлургических заводов полного цикла вряд ли возможно, потому что мировая металлургия находится в достаточно сложном положении из-за гигантизма, многозвенности, больших энергетических и материальных затрат.

Например, в Америке в сколько-нибудь удовлетворительном экономическом состоянии находятся металлургические комбинаты, выпускающие широкополосный прокат и имеющие картельные соглашения с машиностроительными фирмами. Сортовой же прокат выпускается преимущественно на мини-заводах, которые являются более экономичными.

Российская металлургия в связи с укрупнениями и поглощениями заводов, произошедшими перед началом кризиса, нацелена главным образом на альянс с приобретенными зарубежными предприятиями. Главной целью крупных собственников металлургических предприятий является повышение капитализации, при этом некоторые российские заводы оказались по существу подсобными предпри-

ятиями зарубежных заводов. Это приводит к монополизму и диктату цен, что снижает эффективность работы отраслей, потребляющих металл. По некоторым позициям выпускаемый металл уступает зарубежному.

Некоторые российские металлургические заводы, в том числе Новокузнецке, находятся в сложном положении. Реконструкция их (так же как и строительство новых заводов полного цикла) требует очень больших капитальных вложений – порядка 700 – 800 долларов на тонну годовой производительности. В настоящий момент таких вложений не ожидается.

В то же время в Китае значительная часть металлургии является региональной. Она не связана с крупными мировыми металлургическими монстрами и решает главным образом задачи регионов. При этом эффективность этой металлургии значительно выше в связи с меньшими перевозками как сырья, так и готовой продукции.

Реальным направлением развития восточных районов страны является создание региональной металлургии и в России. К этой мысли постепенно приходят потребители металла. В частности, этот вопрос поднимался на совещании переработчиков металла, состоявшемся в г. Новосибирске в августе 2010 года, где было подчеркнуто, что машиностроительные заводы находятся в зависимости от крупных ме-

таллургических монополий, диктующих цены на металлопродукцию. Переработчики металла хотят уйти от этой зависимости через создание собственного металлургического производства. В связи с этим в России стали возникать мини-заводы, ориентированные на местные потребности, однако этот процесс скоро, по видимому, должен затормозиться из-за истощения ресурсов лома и роста его цены.

Определенной альтернативой традиционной металлургии являются процессы прямого твердофазного восстановления (Мидрекс, НуL-3 и др.), позволяющие получать металлизированные окатыши или брикеты, но по этим процессам перерабатываются только достаточно богатые руды. Комбинированный (твердо- и жидкофазный) процесс Корекс является довольно громоздким, его капиталоемкость соизмерима с доменным.

В последнее время большое внимание уделено роторному процессу ПткЗ, но, скорее всего, его можно рассматривать как нагляднейший пример экстенсивного подхода, поскольку удельный объем этого агрегата больше, чем у домы и печи для процесса Корекса. Даже по данным авторов [1], капитальные затраты на него в два раза больше, чем на малую или мини-доменную печь, в качестве альтернативы которым этот процесс представляется. Что же касается энергетики, то даже не проводя каких-либо количественных сопоставлений, лишь на уровне теоретического анализа известных схем теплопередачи можно утверждать, что схема нагрева твердого материала в слое источником тепла сверху является далеко не самой эффективной, а процесс твердофазного восстановления в окомкованных частицах идет, по крайней мере, на порядок медленнее, чем жидкофазный. Это и выражается в необходимости большего времени пребывания частиц, а в конечном счете – в большем удельном объеме агрегата. Невысокая энергетическая эффективность этого процесса по сравнению с доменным подчеркивается также в работе [2].

Исключение стадии окомкования и перевод процесса в область газозвеси, а затем и эмульсии позволяет использовать большую реакционную поверхность исходных пылевидных материалов. Реализация этих условий открывает возможность создания агрегатов, имеющих очень малый удельный объем. Важным преимуществом процессов такого типа является возможность прямой переработки пылевидных материалов с малыми энергетическими затратами.

Этим условиям отвечает струйно-эмульсионный металлургический процесс (СЭР), отличающийся высокой скоростью протекания физико-химических процессов, малым удельным объемом агрегатов (в 10 – 15 раз меньшим, чем известные), меньшими (в 1,5 раза) энергозатратами, невысокими капитальными затратами (в 2 – 3 раза меньше). Этот процесс [3] полностью замкнут от атмосферы и имеет внутренний побудитель движения рабочей смеси в виде реактора-осциллятора с газодинамическим запирающим. При реализации, например, технологий прямого восстановления металлов отходящий газ может превращаться в энергетический или синтез-газ; таким образом, процесс может быть выполнен полностью бездымным.

С учетом отмеченных преимуществ процесс является наиболее приемлемым для переработки пылевидных металлосодержащих отходов, поскольку позволяет восстанавливать металл прямым путем, без промежуточных стадий, экологически чистым способом, с низкими энергетическими и материальными затратами.

Если учесть, что агрегат одновременно является и водогрейным котлом, так как работает на гарнисажном охлаждении (рис. 1), а газ может быть утилизирован в паровых или в газовых турбинах, то такие агрегаты могут быть выполнены энергонезависимыми и даже мобильными, что открывает возможность для освоения новых малообжитых районов.

Новый непрерывный металлургический процесс и агрегат разрабатывались по классическому принципу современных наукоемких технологий: концептуально-теоретическая постановка задачи; создание физико-химических и математических моделей, методик и систем инженерных расчетов технологических и конструктивных параметров; физическое моделирование; испытание отдельных элементов процесса и агрегата в производственных условиях; проектирование и строительство опытной крупно-масштабной установки с автоматизированным экспериментом для отработки различных вариантов технологий.

При разработке процесса и агрегата были использованы основные идеи теории самоорганизации [4, 5], результаты исследования кинетических, гидродинамических и термодинамических закономерностей сталеплавильных реакций и процессов [3, 6], теории газовых струй и свойства двухфазных течений [7], результаты математического моделирования и оптимизации сталеплавильных процессов, дополненные рядом оригинальных конструктив-

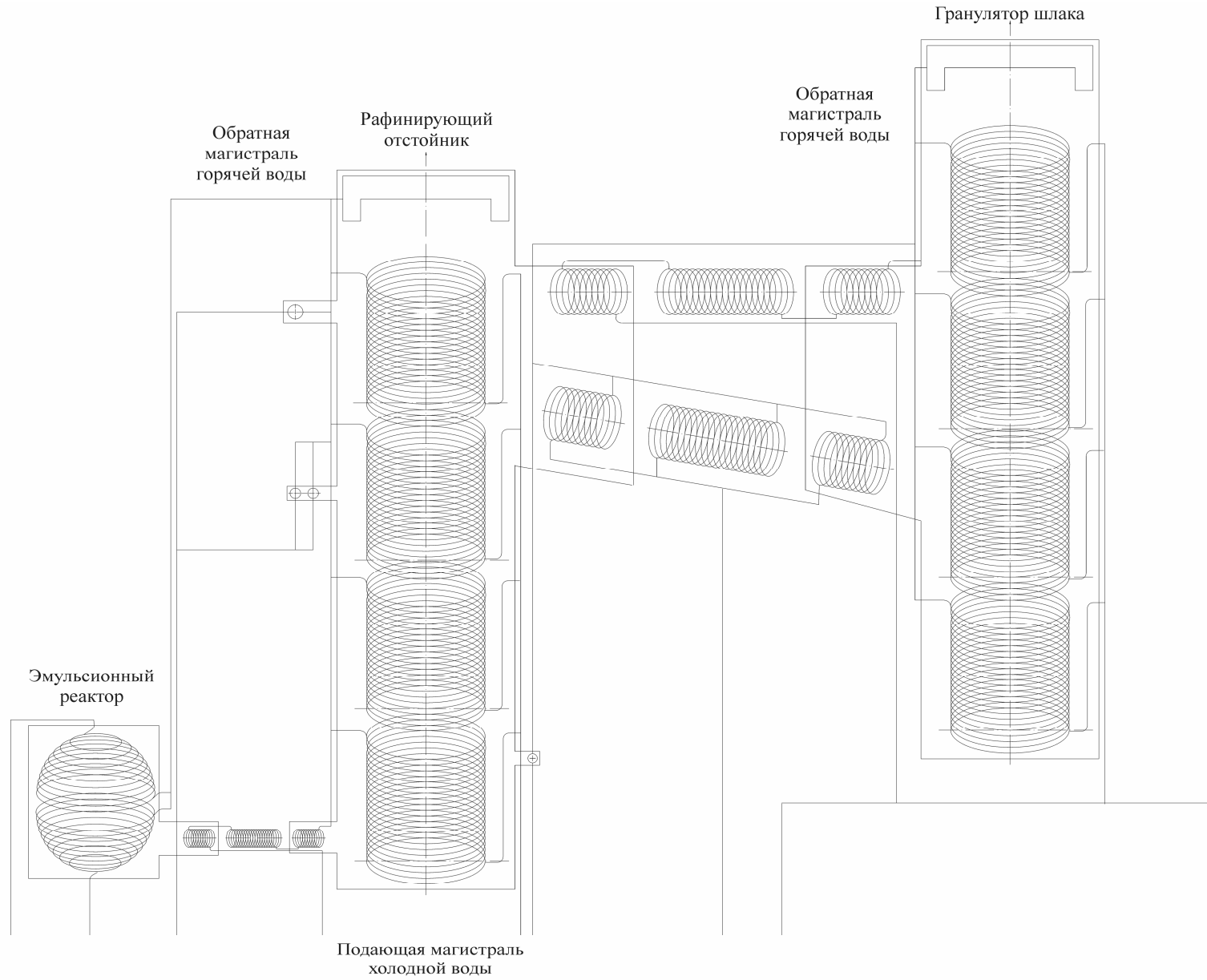


Рис. 1. Система гарнисажного охлаждения агрегата СЭР

ных и технологических решений [8]. Большую роль в развитии этих идей сыграла Брюссельская школа под руководством И. Пригожина. Процесс отладки технологии и элементов конструкции агрегата осуществлялся в 1992 – 2001 годах на крупномасштабной опытной установке, которая была смонтирована на свободных площадях конвертерного цеха ОАО «ЗСМК».

Перспективные направления по применению процессов и агрегатов типа СЭР обоснованы исходя из указанных выше преимуществ. В качестве основных, направленных на решение задач структурных изменений в металлургии, выделим следующие.

*Создание мини-заводов новой структуры* в виде независимых друг от друга и параллельно работающих типовых технологических модулей вместо последовательности крупных агрегатов многозвенного металлургического передела. Технологическая схема модуля приведена на рис. 2, а варианты планирования таких технологических модулей в сопоставлении со структурой традиционного металлургического завода представлены на рис. 3.

Реализация принципа непрерывности включает необходимость в тяжелом сменном оборудовании (сталеразливочных ковшах, мостовых кранах большой грузоподъемности, тяжелых фундаментах и т.д.). Агрегаты могут быть размещены в относительно легких зданиях, что позволяет быстро окупить вложенные средства. Модули могут работать независимо друг от друга и останавливаться в течение нескольких минут. Можно предложить три вида модулей.

1. **Технологический мини-комплекс** (см. модуль 1 на рис. 3) производительностью 250 – 300 тыс. т жидкого металла в год, включающий агрегат типа СЭР в составе двух последовательных реакторов, шлакоприемник с гранулятором шлака, агрегат доводки, агрегат совмещенной разливки с прокаткой или непрерывной вытяжки готовых профилей. В качестве последнего, например, предполагается использовать разработки и изобретения группы ученых Института теоретической и прикладной механики СО РАН г. Новосибирска, в которых используется принцип вертикальной непрерывной разливки (вытяжки) с применением жидкометаллических теплоносителей, позволяющих в 15 – 20 раз повысить скорость кристаллизации. Проблема здесь заключается в выборе и точном поддержании скорости вытяжки металла с учетом скорости затвердевания и обеспечении циркуляции жидкометаллического теплоносителя.

2. **В качестве второго варианта** (модуль 2 на рис. 3) может быть рассмотрена подобная технологическая схема прямого получения жидкого металла, но с выходом на суспензионную разливку и объемную кристаллизацию с получением, например, мелкофасонного точного литья. Реализация этого направления может изменить отношение к литым изделиям. Введение ультрадисперсных тугоплавких модификаторов в оптимальных количествах позволяет управлять числом зародышей и размером кристаллов в рамках объемной кристаллизации, что дает возможность получить прочностные свойства для литых изделий, не уступающие аналогичным свойствам изделий из прокатного металла [9].

Следует попутно заметить, что полученный нами методом прямого восстановления на опытной установке (пока в небольших количествах) металл обладает интересными (пока мало изученными) свойствами. В частности, он очень трудно поддается механической обработке, очень трудно режется как механическими, так и газовыми резаками. Это, по видимому, можно объяснить тем, что он не прошел через окислительные стадии обработки, самораскислен и даже модифицирован сверхравновесным содержанием углерода. Эти предположения требуют обстоятельного изучения. В случае подтверждения этих свойств и гипотез открываются интересные перспективы для получения изделий с новыми свойствами, особенно в сочетании с возможностью прямого легирования.

3. **Для машиностроительных заводов** возможным и целесообразным вариантом технологических схем является получение в агрегатах типа СЭР жидкого полупродукта или твердой шихтовой заготовки (модуль 3 на рис. 3) с последующей доработкой его в существующих на этих заводах дуговых или индукционных печах. Металлургическое производство на многих российских (и в странах СНГ) машиностроительных заводах находится в устаревшем виде. Предлагаемые разработки открывают возможность создания собственной мини-металлургии «полного цикла», т.е. без использования лома. При этом одновременно решаются задачи получения первородного металла без неокисляемых примесей (меди и никеля), а также использования пылевидных металлосодержащих отходов (окалины, шламов, мелкой стружки и др.).

4. **Комплексная, практически безотходная переработка титаномагнетитовых руд**, огромные запасы которых имеются на Урале, в Западной и Восточной Сибири, в то время как

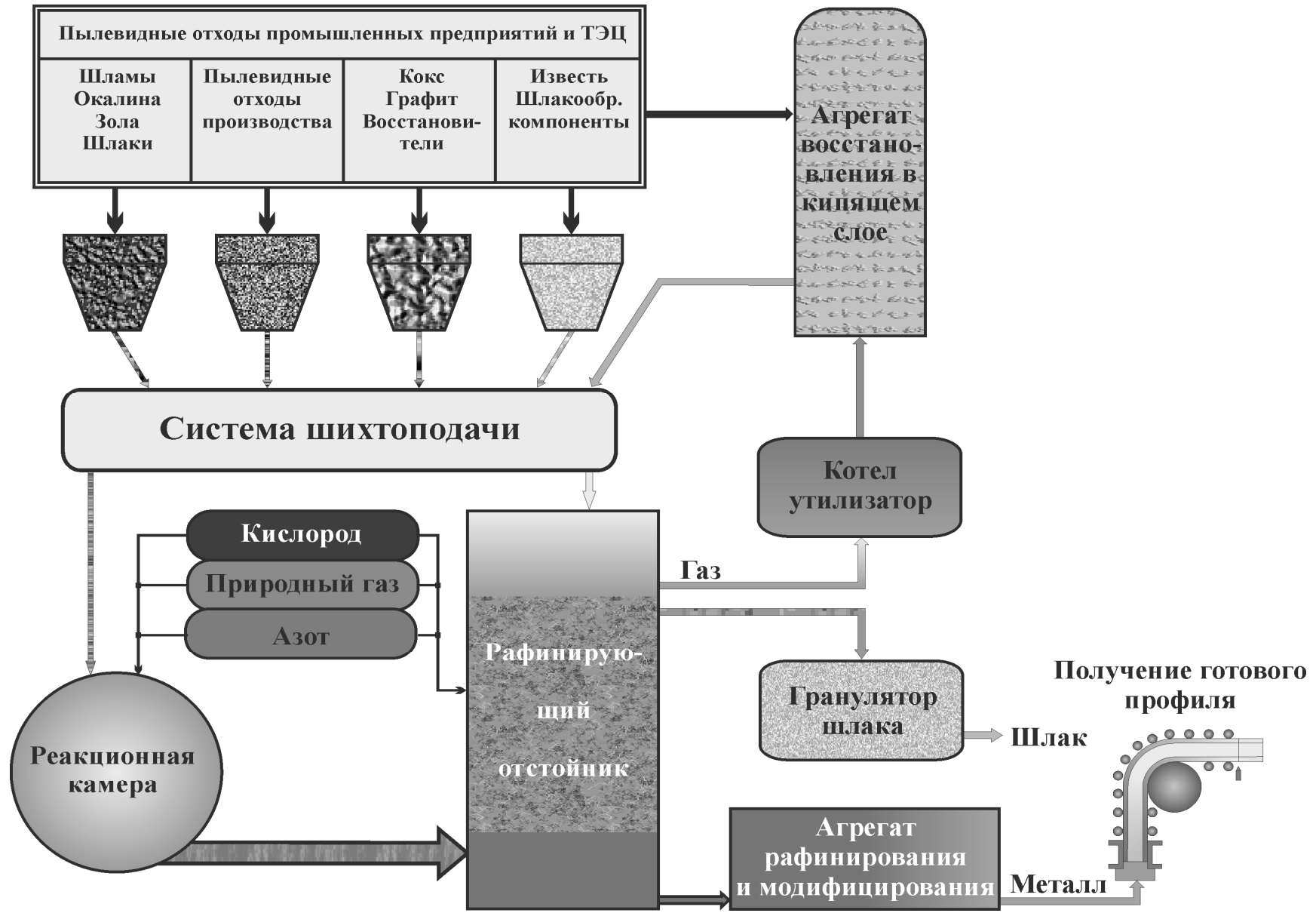


Рис 2. Технологическая схема модуля



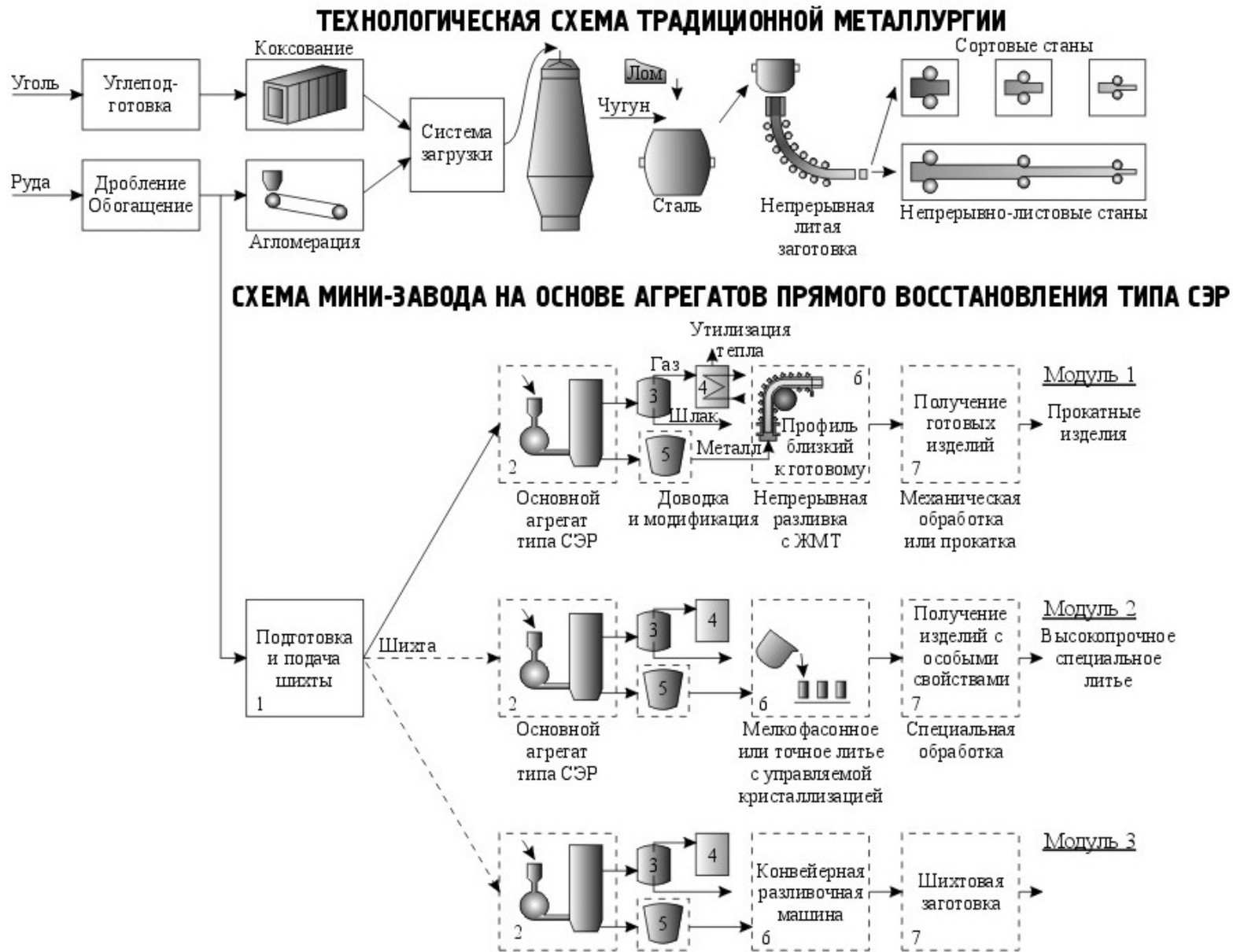


Рис 3. Сравнение технологий

половина сырья для титановой промышленности ввозится на Урал с Украины. В доменных печах пока осуществляется лишь подшихтовка такими рудами в ограниченных масштабах из-за опасности получения вязких гетерогенных шлаков.

На опытной установке в 2001 г. была показана принципиальная возможность реализации технологии переработки титаномагнетитового концентрата в агрегате типа СЭР с разделением железосодержащей и титаносодержащей составляющих [10]. Это достигается благодаря тому, что процесс в агрегате типа СЭР находится в газофазной области, а шлак взвешен в верхней части рафинирующего отстойника и может выпускаться с любого уровня по высоте агрегата с обеспечением оптимального (с точки зрения текучести шлака) содержания оксидов железа и титана. Эта весьма важная как для черной, так и для цветной металлургии задача заслуживает отдельного рассмотрения [11].

В связи с тем, что рассматриваемый агрегат обладает определенной степенью универсальности, в нем возможна реализация также ряда других технологий. В частности, по заданию руководства Руставского металлургического завода (Грузия) в 1996 г. нами была просчитана термодинамическая и энергетическая возможности автогенной переработки в этом агрегате медных сульфидных концентратов на штейн или даже на черновую медь. В связи с полной изоляцией процесса от атмосферы при этом получается высококонцентрированный сернистый газ с содержанием диоксида серы порядка 50 – 60 %. Это открывает возможности для эффективной переработки отходящих газов на серную кислоту, элементарную серу, другие продукты и обеспечения полной замкнутости процесса. Учитывая тот факт, что содержание оксидов железа в шлаке при производстве штейна и особенно черновой меди составляет порядка 40 – 45 %, этот шлак может также перерабатываться в агрегате типа СЭР и таким образом получается практически безотходное производство. По-видимому, в подобном агрегате также возможно конвертирование штейна на черновую медь. Естественно, для проверки возможности реализации этих технологий необходимо создание опытной установки.

Для ускорения реализации предлагаемой разработки необходимо:

1. Создание совместно с заводом «Сибэлектротерм» пилотного мини-модуля и отработка на нем новых технологий, а затем изготовление типового мини-модуля производительностью 30 тыс. т в год для литейных цехов машиностроительных заводов и типового модуля

производительностью 250 – 300 тыс. т. На основе этих модулей планируется создание металлургических мини-заводов опережающего научно-технического уровня с полным циклом производства – от руды (или пылевидных отходов) до готового металла, без использования дорогостоящего и дефицитного металлолома, с содержанием вредных примесей, ограничивающих возможность получения ряда марок стали.

2. Создание, например, в г. Новокузнецке проектно-инженерного центра и производственной базы для строительства и комплектации металлургических мини-заводов «под ключ» (в Новокузнецке имеются группы проектировщиков бывшего Сибгипромеца и других проектных институтов). Реализация этой программы может осуществляться поэтапно, не требует больших единичных инвестиций и отличается достаточно быстрой окупаемостью. Благодаря высокой наукоемкости агрегаты имеют небольшие размеры, что позволяет создавать даже мобильные энергометаллургические установки, не требующие подвода электрической энергии, что очень важно при освоении малообжитых районов. Возможен также вариант использования этих агрегатов как газификаторов угля путем его сжигания в шлаковом слое с получением энергетического или синтез-газа с одновременным получением металла (обогащенного легирующими и редкоземельными элементами) из золы.

Следует отметить, что изменение структуры металлургии может идти и по пути производства металлизированных окатышей или брикетов методом прямого восстановления с получением металла в электросталеплавильных печах. Такие технологические схемы в последние годы уже получили достаточное развитие. Однако строительство таких установок требует больших капитальных затрат и, кроме того, здесь реализуется традиционная для металлургии схема: дробление сырья – обогащение – окомкование – плавка, которая находится в противоречии с принципами глобальной экологии – минимизации энтропии. Следует также заметить, что процесс Корекс, в качестве важного преимущества которого на ранних этапах его развития выдвигалась возможность переработки относительно бедных и пылевидных руд, все больше утрачивает эти преимущества в связи с тенденцией увеличения объема агрегатов. Более эффективный путь – непосредственное получение металла из пылевидных материалов без окомкования, что резко уменьшает размеры агрегатов, капитальные и энергетические затраты.

**Выводы.** Описан струйно-эмульсионный металлургический процесс, отличающийся от процессов прямого твердофазного восстановления (Мидрекс, НуL-3), твердо- и жидкофазного процесса Корекс высокой скоростью протекания физико-химических процессов, малым удельным объемом агрегатов, небольшими энерго- и капиталозатратами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б л и з н ю к о в А.С. Изменения развития черной металлургии при использовании процессов Fastmelt и ITmk3 с применением угля // Новости черной металлургии за рубежом. 2009. № 5. С. 23 – 26.
2. Б л и з н ю к о в А.С. Прямое восстановление железной руды углем // Новости черной металлургии за рубежом. 2010. № 6. С. 20 – 25.
3. Ц ы м б а л В.П., М о ч а л о в С.П., К а л а ш н и к о в С.Н. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х частях. Ч. III. Примеры реализации идей и принципов синергетики: Уч. пособие / Под ред. В.П. Цымбала. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2005. – 264 с.
4. Н и к о л и с Г., П р и г о ж и н И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
5. Х а к е н Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 406 с.
6. Ц ы м б а л В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: Учебник для вузов. – М. – Кемерово: Издательское объединение «Российские университеты», 2006. – 430 с.
7. Н а к о р я к о в В.Е., П о к у с а е в Б.Г., Ш р е й б е р И.Р. Волновая динамика газо- и парожидкостных сред. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.
8. Ц ы м б а л В.П., М о ч а л о в С.П. Создание новых металлургических процессов и принципов управления на основе синергетического подхода // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 2 – 5.
9. Модифицирование сталей и сплавов дисперсными иннокуляторами / В.П. Сабуров, Е.Н. Еремин, А.Н. Черепанов, Г.Н. Миннеханов. – Омск: изд. ОмГТУ, 2002. – 212 с.
10. Патент 2272849 РФ. Способ получения металлов из рудных материалов и агрегат для его осуществления / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов. Заявлено 19.07.2004; опубл. 27.03.2006. // Бюллетень РСТ. № 9.
11. Ц ы м б а л В. П., М о ч а л о в С. П. В разделенных потоках. О новом способе и агрегате переработки природно-легированных руд и получения металлов // Металлы Евразии. 2006. № 6. С. 78 – 80.

© 2014 г. В.П. Цымбал, С.П. Мочалов,  
А.А. Оленников, А.М. Огнев  
Поступила 17 июня 2014 г.

*Р.М. Хамитов<sup>1</sup>, А.Н. Дробышев<sup>2</sup>, В.А. Дегтярь<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>2</sup>ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

## ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙСЯ РАСПЛАВ СЕРОГО ЧУГУНА

Известно, что принудительные колебания и перемешивание расплава (механические и ультразвуковые колебания, продувка газами, наложение электромагнитных колебаний) во время затвердевания эффективно измельчают структуру литейного сплава, но механизм измельчения зерна изучен недостаточно. Среди исследователей по этому вопросу нет единой точки зрения.

Многие исследователи, такие как Д.К. Чернов, В.Д. Добаткин, В.О. Гаген-Терн, Н.И. Хворинов, А. Оно [1] придерживаются гипотезы, в соответствии с которой любой вид перемешивания под воздействием физических полей приводит к разрушению столбчатых дендритов фронта кристаллизации, к увеличению переохлаждения. Обломки дендритов затем становятся активными центрами образования равноосных измельченных дендритов.

Для исследования и выявления причин модифицирующего действия вибрации на литейные сплавы выбрали серый чугун следующего состава: 3,36 % С; 1,93 % Si; 0,61 % Mn; 0,03 % Cr; 0,16 % Ni; 0,106 % P; 0,067 % S.

В сером чугуне графит не образует дендритов на фронте кристаллизации. По этой причине для исследования и был выбран модельный сплав в виде серого чугуна.

Плавку чугуна проводили в индукционной печи ИСТ-0,16. В качестве основного компонента шихты был взят литейный чугун. Для доводки металла по составу использовали стальной лом и ферросплавы. Перегрев металла в печи для всех плавков поддерживали постоянным – 1450 °С. Выдержка чугуна после достижения расплавом температуры перегрева составляла 8 – 10 мин. Заливку металла в формы производили при температуре 1320 – 1350 °С с ковшем емкостью 25 кг.

Контроль температуры в тигле индукционной печи и в ковше перед заливкой осуществляли вольфрам-рениевой термопарой кратковременного погружения в комплекте с измерительным комплексом.

Для создания вибрации применяли установку, обеспечивающую частоту вибрации 10

– 100 Гц с амплитудой 0,1 – 1,25 мм [2]. Импульс колебаний передавался в вертикальном осевом направлении через металлическую платформу.

Расплав заливали в песчано-глинистую форму, в которой формировался цилиндрический образец диам. 30 и длиной 220 мм. Металлом одной плавки заливались сразу два образца: контрольный и экспериментальный, подвергаемый воздействию вибрации в литейной форме.

На вырезанных из образцов темплетях проводили металлографические исследования с помощью инвертированного металлографического микроскопа OLIMPUS GX-51 при различных (50, 100 и 200) увеличениях в светлом поле. Размеры включений графита определяли с помощью программного обеспечения микроскопа и пакета прикладных программ для металлографических исследований Siams Photolab 700. Оценку микроструктуры производили по ГОСТ 3443 – 87.

Для определения плотности металла использовали метод гидростатического взвешивания темплетов. На основании измерений плотности на каждом уровне рассчитывали среднее значение по пробе.

Исходная структура чугуна без вибрационной обработки имеет сетчатое расположение графита, а в чугуне, подвергнутом вибрации, образуется розеточный и точечный графит.

При режимах вибрации с ускорениями до 5 м/с<sup>2</sup> заметного изменения размера графита не наблюдалось (рис. 1). Установлено, что наложение на форму вибрации с ускорениями порядка 5 – 15 м/с<sup>2</sup> приводит к измельчению размеров включений графита. Дальнейшее повышение ускорения вибрации оказывает незначительное влияние на размер и форму графита. Наиболее благоприятное влияние на измельчение графита оказывает вибрация с небольшой амплитудой 0,1 – 0,12 мм и частотой 10 – 12 Гц.

Плотность образцов, подвергнутых различным режимам вибрации, в зависимости от ускорения вибрации меняется нелинейно (рис. 2).

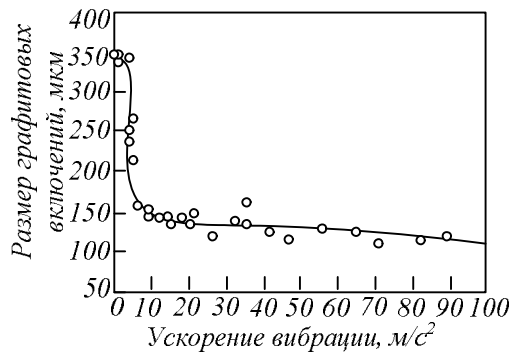


Рис. 1. Влияние параметров вибрации на длину графитовых включений в сером чугуна при литье в песчано-глинистую форму

Максимальное увеличение плотности чугуна в средней части образца на 0,78 – 0,83 % получено при вибрации с ускорением 15,1 м/с<sup>2</sup>.

Экспериментально установлено, что плотность чугунов в верхней части пробы без вибрации на 3,1 – 3,6 % ниже, чем в ее нижней части. Вибрация снижает эту разницу, причем минимальные значения (примерно 1,9 %) получены при ускорениях вибрации 15 – 22 м/с<sup>2</sup> (амплитуда 0,9 – 1,0 мм, частота 19 – 23 Гц).

Снижение газосодержания и увеличение плотности чугуна объясняются улучшением условий для всплытия газовых пузырей под действием вибрации. Газовые и неметаллические включения, образующиеся в жидком металле или попадающие извне, могут при благоприятных условиях всплыть в прибыли, в выпоры или в поверхностный слой чугуна.

Дальнейшее увеличение ускорения вибрации (увеличение частоты и амплитуды колебаний), хотя и сопровождается уменьшением длины графитных включений, но при этом повышается и газовая пористость в образце. Таким образом, неправильно выбранный режим вибрации может приводить к образованию мелкозернистой структуры, но с повышенной межкристаллической пористостью и пониженными показателями механических свойств.

Полученные экспериментальные данные позволяют заключить, что вибрация как и другие методы физического воздействия на кристаллизующиеся расплавы приводят к интенсивному их перемешиванию. За счет интенсивного движения расплава на контактной поверхности зародыша удаляются адсорбированные пленки, состоящие из газов O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и других поверхностно активных веществ типа соединений серы SO<sub>2</sub>. Зародыш превращается в активно действующий центр кристаллизации. Удаление газов из расплава приводит к уменьшению газоусадочной пористости, а сле-

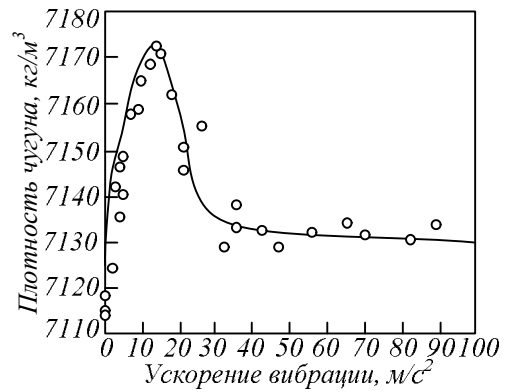


Рис. 2. Влияние параметров вибрации на плотность серого чугуна при литье в песчано-глинистую форму (центр образца)

довательно, и к росту плотности чугуна (рис. 2). Следствием активизации зародышей является резкое уменьшение размера (рис. 1) и числа графитовых включений в конечном продукте. Количество графитовых включений в базовых образцах по оценочной шкале [3] относилось к типу Г4 (3 – 5 % площади шлифа), после виброобработки – к типу Г10 (8 – 10 % площади шлифа).

Предлагаемая концепция процесса измельчения структуры соответствует экспериментальным данным, полученным другими методами физического воздействия на металлические расплавы в процессе кристаллизации. Перемешивание, вибрация, ультразвук, газопульсовая обработка, электрогидравлический удар, постоянный электрический ток, магнитные поля, вакуумирование, продувка инертными газами приводят одновременно к интенсивному перемешиванию расплава, дегазации, переохлаждению, активизации зародышей и, как следствие, к измельчению конечной структуры сплава [4, 5].

**Выводы.** Приведены результаты исследования влияния различных режимов вибрации на размер графитовых включений и плотность серого чугуна при его кристаллизации. Экспериментально установлены оптимальные значения амплитуды и частоты вибрации, обеспечивающие измельчение размеров включений графита и увеличение плотности чугуна в образцах. Показано, что вибрация как и другие методы физического воздействия на кристаллизующиеся расплавы приводят к интенсивному его перемешиванию и измельчению структурных составляющих в литом изделии.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Теория литейных процессов / Под ред. Хосена Ри. – Хабаровск.: Изд-во «РиоТиП», 2008. – 580 с.
2. Куценко А.И., Селянин И.Ф., Хамитов Р.М., Морин С.В. / Влияние вибрации формы на тепловые процессы охлаждения отливки // Ползуновский вестник. 2005. № 2 – 2. С. 167 – 169.
3. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г. Гиршовича. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
4. Специальные способы литья. Справочник / Под ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
5. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.

© 2014 г. Р.М. Хамитов, А.Н. Дробышев,  
В.А. Дегтярь

Поступила 20 июня 2014 г.



*В.О. Шеховцова, В.С. Шеховцов, О.В. Залесская*

Сибирский государственный индустриальный университет

## СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ПОДУШКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛЕПЫХ СБЛИЖЕННЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

В практике разработки рудных месторождений имеются многочисленные примеры отработки слепых рудных залежей на рудниках Урала, Алтая, Дальнего Востока, Горной Шории, Хакасии (Россия), Кривого Рога (Украина), Лениногорского полиметаллического комбината (Казахстан) [1]. В настоящее время основная часть разведанных запасов нижележащих горизонтов месторождений Горной Шории и Хакасии (Шерегешевское, Казское, Таштагольское, Абаканское, Тейское) представлены слепыми рудными залежами. Как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения экономики создание технологии безопасной отработки слепых залежей на железорудных месторождениях Сибири весьма актуальная проблема.

Прогнозная оценка устойчивости обнажений вмещающих пород для выбора безопасного способа отработки слепых залежей на железорудных месторождениях Горной Шории и Хакасии осуществляется по методике, изложенной в инструкции [2].

В случаях предельно устойчивого и неустойчивого состояний обнажений рекомендуется создание предохранительной подушки, которая может быть образована оставлением части отбитой руды или принудительным обрушением вмещающих пород (определяется проектом).

Известный способ образования предохранительной породной подушки [3] имеет следующие недостатки:

- обрушение породы внутри свода естественного равновесия из крупноблочных структур не обеспечивает создания предохранительной подушки;
- наличие мелкокусковой фракции в самообрушающихся породах приводит к преждевременному проникновению их в отбитую руду и повышает разубоживание.

Для повышения безопасности и эффективности разработки слепых сближенных рудных залежей и улучшения показателей извлечения при выпуске под самообрушающимися мелко-

кусковыми породами предлагается способ формирования предохранительной подушки [4].

Формирование предохранительной подушки для предельно устойчивых обнажений осуществляют принудительным обрушением налегающей породы на высоту, определяемую из эмпирического выражения

$$h_{\text{обр}} = \frac{0,4H_{\text{в.п.}}}{K_p},$$

где  $h_{\text{обр}}$  – высота обрушения налегающей породы над залежью, м;  $H_{\text{в.п.}}$  – высота выработанного пространства, м;  $K_p$  – коэффициент разрыхления обрушенных пород.

Принудительное обрушение налегающей толщи осуществляют пучками глубоких скважин, причем пучки скважин распределяют по площади обрушаемого блока неравномерно с уменьшением их количества к центру площади блока. При этом осуществляют недозаряд скважин, расположенных над компенсационной камерой.

Рассчитываемая высота обрушения налегающей толщи ( $h_{\text{обр}}$ ) обеспечивает создание необходимой толщины предохранительной породной подушки, достаточного аэродинамического сопротивления при внезапном самообрушении налегающих пород, учитывает соотношение между параметрами обрушения и высотой выработанного пространства  $H_{\text{в.п.}}$ . Коэффициент разрыхления обрушенных налегающих пород позволяет определить параметры обрушаемых налегающих пород на разных уровнях разработки.

Неравномерное распределение пучков скважин по площади обрушаемого блока с уменьшением их количества к центру площади блока обеспечивает создание предохранительной породной подушки с разными размерами кусков: более мелкими кусками на периферии блока и более крупными в центре блока для

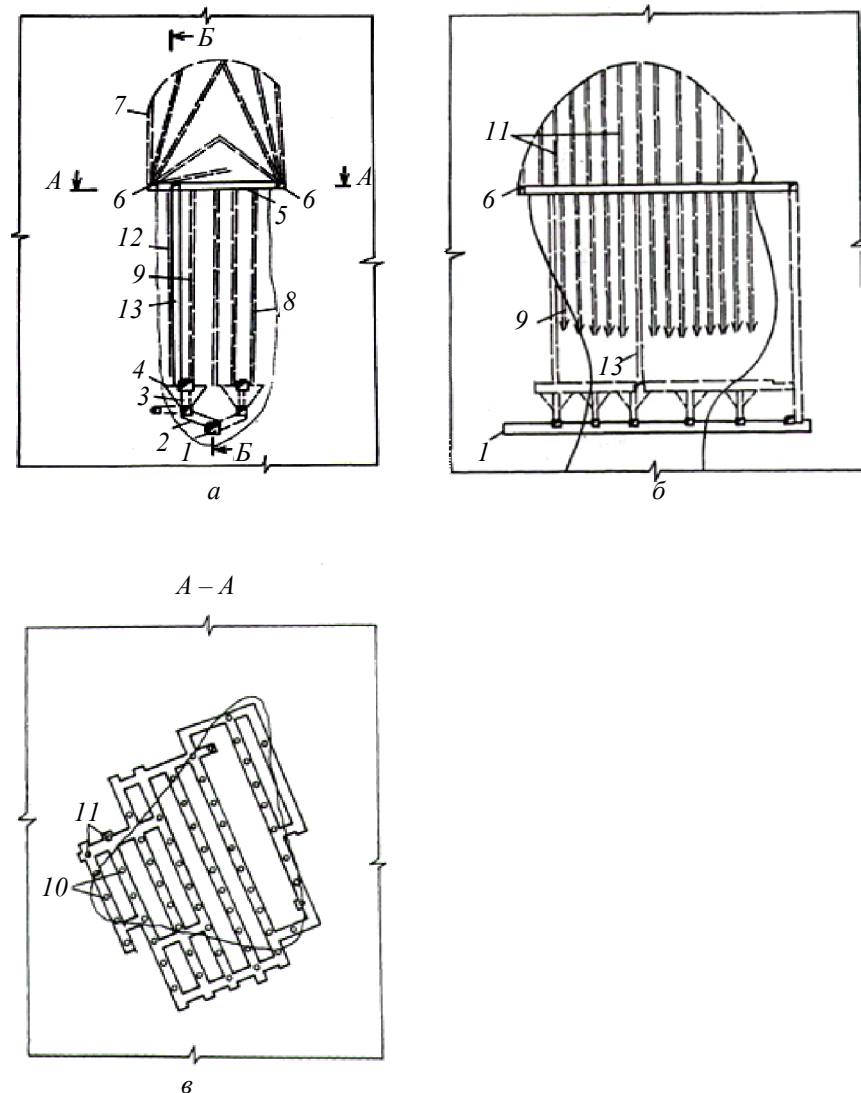
предотвращения разубоживания руды при выпуске.

С целью предотвращения разубоживания руды при отбойке массива на компенсационную камеру осуществляют недозаряд скважин, расположенных над компенсационной камерой.

Предлагаемое техническое решение представлено на рисунке.

Технология отработки рудного тела по предлагаемому способу осуществляется следующим образом. Шахтное поле в пределах этажа разбивают на блоки. В нижней части каждого блока проводят комплекс подготовительно-нарезных выработок, включающий откаточный орт *1*, камеры под доставочное оборудование *2*, дучки *3*, выработки подсечки *4*. В верхней части блока расположены комплекс буровых выработок *5* для обуривания массива блока и буровых выработок *6* для обуривания

расчетной обрушаемой налегающей толщи. В связи с тем, что обрушение налегающей толщи в пределах свода обрушения *7* с целью обеспечения необходимого разрыхления обрушаемой массы горной породы предполагается после частичного выпуска обрушенного массива блока полезного ископаемого, буровые выработки для этого проходят за пределами обрушаемого блока. После проведения комплекса подготовительно-нарезных и буровых выработок осуществляют обуривание блока и обрушаемой породы пучками глубоких скважин *8 – 11*. При этом глубину скважин *10* и *11* для обуривания обрушаемой породы принимают из расчета параметров высоты обрушаемого свода и места расположения этих скважин по периметру свода обрушения. Величина обрушения налегающих пород определяется по приведенному выше выражению.



Технология разработки слепых рудных залежей:  
*а* – вкрест простирания; *б* – по простиранию; *в* – план

Для большей эффективности обрушения и самообрушения налегающих пород скважины над обрушаемым блоком (соответственно и взрывчатое вещество) распределяют неравномерно с уменьшением их количества к центру площади блока. Далее осуществляют образование компенсационной камеры 12 путем секционного вырывания пучков скважин 9 на отрезной восстающей 13. После выпуска обрушенной горной массы из компенсационной камеры 12 до уровня выпускных воронок осуществляют обрушение массива блока путем взрывания пучков скважин 8.

После частичного выпуска обрушенной горной массы в блоке, обеспечивающем достаточный объем для заполнения предполагаемого к обрушению свода горных пород, осуществляют зарядку и взрывание скважин 10. При этом осуществляют недозаряд скважин 11, расположенных над компенсационной камерой 12. Делают это, чтобы исключить передрабливание обрушаемых пород, которое может привести к проникновению их в обрушенную породу и повысить разубоживание горной массы.

Для условий Шерегешевского железорудного месторождения при проектировании отработки слепых залежей на участке «Новый Шерегеш» (блоки № 170, 180, 190) проведены расчеты формирования породной предохранительной подушки для предельно устойчивых обнажений при выемке первого из трех блоков, то есть без взаимного влияния зон сдвига соседних блоков и при взаимном влиянии отработываемых блоков [2] (см. таблицу).

Коэффициент разрыхления обрушаемых пород для создания предохранительной подушки рекомендуется принимать равным 1,35 [2, 5]. При условии возможного внезапного самообрушения налегающих пород над отработываемым блоком высоту самообрушаемых пород для заполнения выработанного пространства рекомендуется определять из эмпирического выражения [5]

$$K_p = 1 + \frac{0,7H_{в.п.}}{H_{н.п.}}$$

где  $H_{н.п.}$  – мощность налегающих пород над блоком, м.

Диаметр среднего куска принудительно обрушаемых пород для создания предохранительной подушки (либо необходимый удельный расход взрывчатого вещества при заданном среднем размере куска породы) рекомендуется определять по эмпирической зависимости [6]

$$d_{ср} = 5,2f/q + 68,$$

где  $d_{ср}$  – диаметр среднего куска, мм;  $f$  – коэффициент крепости пород по М.М. Протодьяконову;  $q$  – удельный расход взрывчатого вещества на отбойку, кг/т.

Для неустойчивых по расчету обнажений безопасная толщина предохранительной подушки проверяется по методике инструкции [2].

Предложенное техническое решение позволяет безопасно и эффективно отрабатывать слепые рудные залежи и обеспечивает снижение разубоживания от самообрушающихся налегающих пород.

**Выводы.** Для безопасной и эффективной отработки слепых сближенных рудных залежей при предельно устойчивом состоянии обнажений при выемке первого из отработываемых блоков рекомендуется создание предохранительной подушки из руды или обрушаемых налегающих пород в пределах свода обрушения, определяемым расчетным путем. Предлагаемый способ формирования предохранительной подушки отличается тем, что принудительное обрушение налегающей толщи осуществляют пучками глубоких скважин на расчетную величину, причем пучки скважин распределяют по площади обрушаемого блока неравномерно с уменьшением их количества к центру площади блока, при этом осуществляют недозаряд скважин, расположенных над компенсационной камерой. Формирование предохранительной подушки предлагаемым способом позволит снизить затраты и разубоживание от обрушаемых пород при разработке слепых сближенных рудных залежей.

#### Исходные данные и результаты расчетов

| Блок | $H_{в.п.}$ , м | $H_{н.п.}$ , м | Предельно устойчивое состояние налегающей толщи пород |               | Возможно самообрушение налегающих пород над блоком |
|------|----------------|----------------|---|---------------|--|
|      |                |                | $K_p$ , ед.   | $h_{обр}$ , м | $H_{расч}$ , м                                     |
| 170  | 78             | 370            | 1,35  | 23            | 156  |
| 180  | 82             | 282            | 1,35  | 24            | 164  |
| 190  | 84             | 370            | 1,35  | 25            | 168  |

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И м е н и т о в В.Р., А б р а м о в В.Ф., П о п о в В.В. Локализация пустот при подземной добыче руды. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
2. Инструкция по условиям безопасной отработки слепых рудных залежей на железорудных месторождениях Горной Шории и Хакасии. – Новокузнецк: ВостНИГРИ, 2006. – 58 с.
3. А.с. 1532705 СССР. Способ разработки месторождений полезных ископаемых / М.В. Курленя, А.М. Фрейдин, В.А. Усков, Н.Н. Хрусталева, Ю.Д. Науменко, В.П. Листратенко, В.Х. Беркович. Заявл. 02.03.1988. Опубл. 30.12.1989.
4. Пат. 2415267 РФ. Способ разработки слепых рудных залежей / В.С. Шеховцов, В.О. Шеховцова, Т.В. Лобанова, Л.М. Цинкер, О.В. Залесская, Г.Г. Монингер. Заявл. 19.11.2009. Опубл. 27.03.2011.
5. К у л и к о в В.В. Выпуск руды. – М.: Недра, 1980. – 303 с.
6. Ш е х о в ц о в В.С. Подземная разработка сложноструктурных рудных залежей под мощными рыхлыми отложениями. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 1999. – 241 с.

© 2014 г. В.О. Шеховцова, В.С. Шеховцов,  
В.О. Залесская

Поступила 23 апреля 2014 г.

УДК 622.271.3:581.5

*А.М. Шипилова<sup>1</sup>, И.П. Беланов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск)

### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОЧВ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ КУЗБАССА

Кузбасс является одним из наиболее развитых промышленных регионов России. Деятельность угольных предприятий, расположенных на территории Кемеровской области, привела к тому, что на месте когда-то плодородных земель сформировались техногенные ландшафты. Основные площади техногенных ландшафтов представлены отвалами и карьерными выемками, образованными в результате разработки угольных месторождений.

Площадь отвалов постоянно увеличивается. При этом естественные территории претерпевают порой необратимые антропогенные изменения почвенного покрова. В результате развития растительности и других биоценозов, а также сингенитически с ними связанных почвообразовательных процессов на поверхности отвалов формируются молодые почвы, которые, согласно классификации, относят к классу эмбриоземов [1]. В большинстве случаев на поверхности техногенных ландшафтов Кузбасса формируется четыре основных типа эмбриозе-

мов: инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные.

В морфологическом отношении эти основные типы эмбриоземов имеют черты сходства и отличия. Все они обладают очень малой мощностью почвенного профиля, не превышающей (до горизонта почвообразующей породы) 30 – 50 см, характеризуются слабой степенью морфологической дифференциации минеральной части почвенного профиля на генетические горизонты. Различаются перечисленные типы эмбриоземов, главным образом, по морфологии и генезису биогенных горизонтов, которые в эмбриоземах являются типодиагностическими.

В инициальных эмбриоземах какие-либо органогенные горизонты отсутствуют, то есть эти почвы характеризуют исходное состояние субстрата; в органо-аккумулятивных обязательно присутствует горизонт подстилки древесного или травянистого происхождения; в дерновых подстилка может отсутствовать, но обязательно присутствует дерновой горизонт

Ад; в гумусово-аккумулятивных всегда имеется гумусово-аккумулятивный горизонт  $A_1$ . Таким образом, специфика формирования профиля эмбриоземов определяется особенностями развития растительности и всех других биогенных компонентов экосистемы [2].

Объектом исследования настоящей работы выбран Сагарлыкский отвал, расположенный на территории Бачатского угольного разреза. Он сложен хаотичной смесью отложений разного породного состава и разной плотности (песчаники, аргиллиты, алевролиты, лессовидные суглинки и глины). Основу почвенного покрова составляют эмбриоземы четырех типов: инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные. Незначительную часть территории занимают гумусогенные техноземы (селективная отсыпка). Все эти почвы автоморфного способа почвообразования. Преобладание этих почв обусловлено тем, что в рельефе в основном наблюдаются склоновые поверхности, отсутствует постоянный горизонт почвенно-грунтовых вод, а сильная каменистость почвообразующих пород обеспечивает высокую фильтрационную способность.

#### *Морфологическое описание профилей основных типов эмбриоземов*

*Эмбриозем инициальный.* Расположен на северо-восточном склоне, в средней его части. Мезорельеф не выражен. Микрорельеф мелкобугристый. Растительность бобово-злаково-разнотравная. Проективное покрытие около 15 % (см. таблицу).

*Эмбриозем органо-аккумулятивный.* Расположен на южном склоне. Мезорельеф не выражен. Микрорельеф среднебугристый. Лесная рекультивация: посадки сосны, возраст около 20 лет (см. таблицу).

*Эмбриозем дерновой.* Расположен на северо-восточном склоне протяженностью 1500 м, в средней части макросклона. Мезорельеф – мезозападина, диаметром 50 м. Микрорельеф среднебугристый (бугры до 1 м). Растительность бобово-разнотравно-злаковая. Проективное покрытие 90 % (см. таблицу).

*Эмбриозем гумусо-аккумулятивный.* Расположен на северо-восточном склоне протяженностью 1500 м, в средней части макросклона. Мезорельеф – пониженная часть мезозападины. Микрорельеф мелкобугристый (бугры до 0,1 м). Растительность бобово-разнотравно-злаковая. Проективное покрытие – 100 % (см. таблицу).

*Технозем гумусогенный.* Мезорельеф – возвышенная часть спланированной поверхности. Микрорельеф западинно-бугристый (см. таблицу).

Описанные почвы представляют основные типы эмбриоземов, которые формируются на отвалах лесостепи Кузбасса. По морфологическому строению профили эмбриоземов достаточно хорошо различаются по набору и степени проявления органогенных горизонтов или отсутствию любых генетических горизонтов, как это характерно для эмбриоземов инициальных. Строение профиля эмбриоземов отражает, во-первых, ведущую роль биологических процессов в их формировании, во-вторых – генетическую подчиненность всех других профилеобразующих процессов биологическим [3].

Приведенные описания морфологического строения профилей эмбриоземов показывают, что по сравнению с естественными почвами характер биологических процессов в эмбриоземах достаточно специфичен. Если в нормальных почвах процессы синтеза, аккумуляции, минерализации и гумификации органического вещества сбалансированы, то в молодых почвах процессы синтеза и аккумуляции органического вещества явно преобладают над процессами минерализации и гумификации. По этой причине подстилка в эмбриоземах сохраняется значительно дольше, чем в обычных почвах, а мелкозем в дерновом и гумусово-аккумулятивном горизонтах покрашен слабо.

Высокое содержание в почвообразующих породах крупнозема и неравномерное распределение в толще пород мелкозема маскируют морфологическую картину дифференциации профиля эмбриоземов на генетические горизонты, хотя нетрудно заметить, что крупнозем, расположенный в почвенном профиле (в толще породы до горизонта С в гумусо-аккумулятивных эмбриоземах или до горизонта D в других типах эмбриоземов) значительно более выветрелый, чем в почвообразующей породе. Можно отметить, что морфологически диагностируется только физическое выветривание обломков плотных пород: оно проявляется в интенсивном растрескивании, шелушении и, в конечном случае, в распаде обломков. Особенно ярко выражены эти явления на дневной поверхности эмбриоземов.

Значительно отличается по морфологическому строению профиль техноземов; если профиль эмбриоземов формируется в результате эволюции биогеоценозов и почвообразовательных процессов естественным путем, то профиль техноземов создается искусственным способом в результате целенаправленного формирования почвоподобных образований с корнеобитаемым слоем и растительным покровом.

**Морфологическое описание профилей основных типов эмбриоземов**

| Горизонт                                      | Описание   |
|---|--|
| <i><b>Эмбриозем инициальный</b></i>           |  |
| С (0 – 13 см)                                 | Светло-серого цвета, сухой, структура мелкокомковатопылеватая, супесь, рыхлый, мало средних и мелких корней, включений угля и обломков вскрышных пород, переход по плотности и каменности                        |
| D (13 – 40 см)                                | Темно-серого цвета, сухой, плотный, супесь с большим количеством каменных отдельных до 40 см в диаметре, каменность 40 %, бесструктурный, единично встречаются мелкие и средние корни, включения углистых частиц |
| <i><b>Эмбриозем органо-аккумулятивный</b></i> |  |
| A <sub>0</sub> (0 – 1 см)                     | Слаборазложившаяся прошлогодняя лесная подстилка   |
| Ад (1 – 7 см)                                 | Темно-серого цвета, комковато-ореховатая структура, рыхлая, сухая, супесь, включение угля, переход по цвету  |
| С (7 – 48 см)                                 | Темно-серого цвета, сухой, плотный, большое количество каменных отдельных (более 90 %) диаметром больше 10 см, бесструктурный, включения углистых частиц   |
| <i><b>Эмбриозем дерновой</b></i>              |  |
| A <sub>0</sub> (0 – 1 см)                     | Войлочная подстилка, опад двух-трехлетней давности, слаборазложившийся, темно-бурого цвета   |
| Ад (1 – 4 см)                                 | Темно-бурого цвета, пылевато-комковатая структура, рыхлый, средний суглинок, переход в следующий горизонт замечен по обилию корней   |
| АдС (4 – 19 см)                               | Светло-бурого цвета, комковатая структура, уплотнен, средний суглинок, включения обломочных вскрышных пород (диаметр до 3 см), среднее количество мелких и средних корней, переход по плотности                  |
| С (19 – 70 см)                                | Бурого цвета, структура комковатая, плотный, средний суглинок, свежий, включения угля и обломков вскрышных пород, единичные корни  |
| D (70 – 90 см)                                | Элювий смеси вскрышных и вмещающих пород темно-серого цвета, очень плотный, плитчато-комковатая структура, очень мало единичных корней   |
| <i><b>Эмбриозем гумусо-аккумулятивный</b></i> |  |
| A <sub>0</sub> (0 – 1 см)                     | Войлочная подстилка, опад двухлетней давности слаборазложившийся, темно-бурого цвета   |
| Ад (1 – 5 см)                                 | Темно-бурого цвета, пылевато-мелкозернистой структуры, рыхлый, средний суглинок, переход в следующий горизонт замечен по обилию корней   |
| A <sub>1</sub> (5 – 6 см)                     | Серого цвета, комковатой структуры, рыхлый, средний суглинок, немного включений обломков вскрышных пород (диаметр до 1 см), среднее количество мелких и средних корней, переход по плотности                     |
| АС (6 – 21 см)                                | Бурого цвета, структура слабовыраженная комковатая, уплотнен, средний суглинок, свежий, включения угля и обломков вскрышных пород до 40 %, единичные корни. Переход по плотности                                 |
| С (21 – 35 см)                                | Элювий смеси вскрышных и вмещающих пород темно-серого цвета, плотный, плитчато-комковатая структура, единичные корни   |
| <i><b>Технозем гумусогенный</b></i>           |  |
| A <sub>0</sub> (0 – 0,5 см)                   | Слаборазложившаяся прошлогодняя подстилка  |
| Ад (0,5 – 5 см)                               | Темно-серого цвета, зернисто-комковатая структура, рыхлый, сухой, тяжелый суглинок, много мелких корней, переход в следующий горизонт замечен по обилию корней   |
| A <sub>1</sub> (5 – 23 см)                    | Темно-серого цвета, комковато-ореховатая структура, сухой, уплотненный, тяжелый суглинок, переход резкий по всем морфологическим признакам   |
| D <sub>1</sub> (23 – 48 см)                   | Бурого цвета, комковато-глыбистая структура, сухой, плотный, карбонаты кальция в виде белоглазки, единичные мелкие корни, переход по плотности и цвету   |
| D <sub>2</sub> (48 – 80 см)                   | Темно-бурого цвета, сухой, сильно уплотнен, включения карбонатов и обломков вскрышных пород, корней нет  |

В рассматриваемом случае технозем создан путем отсыпки на ранее отсыпанный карбонатный слой лессовидных суглинков (потенциально плодородных пород) предварительно снятого слоя зональных почв (плодородного слоя почвы). В результате такого технологиче-

ского приема сформировался технозем гумусогенный, состоящий из двух генетически различных основных горизонтов. Приведенное морфологическое описание профиля технозема показывает, что за время его существования не



фиксируется заметного «сращивания» этих двух горизонтов.

Таким образом, вышеприведенные описания почв, сформировавшихся на поверхности отвалов Бачатского угольного разреза, наглядно иллюстрируют разнообразие и специфику почвенного покрова, а также различные почвенно-экологические последствия рекультивации техногенных ландшафтов лесостепной зоны Кузбасса.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255 – 261.

шафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255 – 261.

2. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 205 с.
3. 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.

© 2014 г. А.М. Шипилова, И.П. Беланов  
Поступила 9 июня 2014 г.

*М.Н. Башкова, С.А. Казимиров, М.В. Темлянец, В.И. Багрянцев, А.А. Рыбушкин,  
К.С. Слажнева*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ\*

В последнее время в мире наблюдается тенденция к росту потребления твердого топлива в котельных агрегатах и установках. Ухудшение качества топлива и имеющиеся ограничения применения топок традиционных конструкций, их низкая эффективность работы при сжигании низкосортных углей стимулируют поиски путей совершенствования способов сжигания, которые в свою очередь фактически полностью определяют конструкцию котла и соответственно его технологические, экономические и экологические показатели работы. В настоящее время можно выделить четыре основных способа сжигания твердого топлива:

- 1) слоевой – в плотном фильтрующем слое;
- 2) в кипящем или псевдооживленном слое;
- 3) факельный;
- 4) циклонный (вихревой).

**Слоевой сжигание топлива** – самый древний способ сжигания твердого топлива. Как правило, применяется для сжигания кускового топлива в слое на колосниковой решетке, через которую подается необходимый для горения воздух (рис. 1). В рамках этого способа можно выделить три класса топок:

– с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижным слоем топлива на ней (ручные и полумеханизированные топки, топки с шурующей планкой);

– с неподвижной колосниковой решеткой и перемещающимся по ней слоем топлива (наклонные и переталкивающие колосники, шахтные топки);

– с движущейся колосниковой решеткой, перемещающей лежащий на ней слой топлива (механизированные топки прямого и обратного хода).

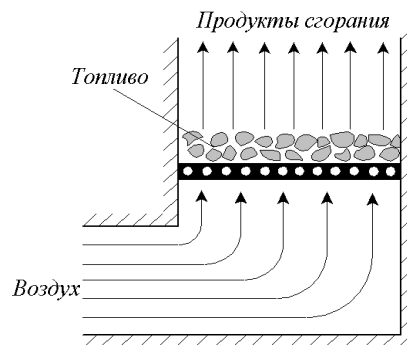


Рис. 1. Схема слоевого сжигания

Слоевой способ сжигания получил наибольшее распространение в России благодаря простоте использования и конструкции топки, которая к тому же может занимать небольшую площадь. Соответственно, теплоэнергетические установки, использующие такой способ, имеют относительно низкую стоимость. Кроме этого, преимуществами такого способа сжигания является минимальное время активации горения, а также весьма широкий диапазон регулирования мощности – от 10 до 100 % [1, 2].

К недостаткам способа можно отнести невозможность его использования при сжигании спекающихся углей и углей с легкоплавкой золой, кроме того, для него характерен значительный физический и химический недожег и, как следствие, повышенный расход топлива и высокая степень загрязнения окружающей среды. Большинство городских котельных, использующих слоевое сжигание, используют немеханизированные топки с неподвижной колосниковой решеткой и ручным забросом топлива. В основном они не имеют систем пылегазоочистки, оборудованы низкими дымовыми трубами, что усугубляет экологическую обстановку. В промышленно развитых странах в качестве наиболее дешевого способа снижения выбросов в атмосферу рассматривается применение высококачественных углей. В России же стандарты на топливо для слоевого сжигания не имеют больших ограничений [3].

\* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательской работы № 2555.

**Сжигание в кипящем слое.** В современной мировой теплоэнергетике существует тенденция более широкого внедрения технологий сжигания твердого топлива в кипящем слое (КС). Слой, в котором происходит сжигание, также может называться псевдоожиженным. С появлением котлов с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) при упоминании традиционного КС часто используется прилагательное «стационарный». В зависимости от получаемой температуры слоя в котле сжигание в КС подразделяется на низкотемпературное (НТКС) и высокотемпературное (ВКТС).

**Сжигание в стационарном кипящем слое.** Сжигание твердого топлива в кипящем слое (рис. 2) является высокотехнологичным способом. В нижней части топки располагаются воздухораспределительные решетки с форсунками, к которым подводится воздух под давлением. Над форсунками находится слой инертного материала (шлак, песок, доломит или известняк). Истекание воздуха из форсунок вызывает движение частиц инертного материала в виде «кипения», и слой становится «псевдоожиженным». Сжигание топлива происходит в ванне раскаленного инертного материала. В результате активного перемешивания частиц топлива с раскаленным инертным материалом и дутьевым воздухом процессы теплообмена и массообмена в кипящем слое протекают чрезвычайно интенсивно, происходит быстрая и эффективная подготовка частиц топлива (испарение влаги, выход летучих) и их сгорание.

Сжигание в кипящем слое имеет ряд преимуществ. Использование КС позволяет, помимо традиционного топлива, эффективно сжигать промышленные и бытовые отходы. При этом в одном котельном агрегате возможно сжигание различных марок топлива, имеющих различную зольность, влажность и теплоту сгорания [4]. Возможен быстрый пуск из «горячего» состояния. При температурах слоя,

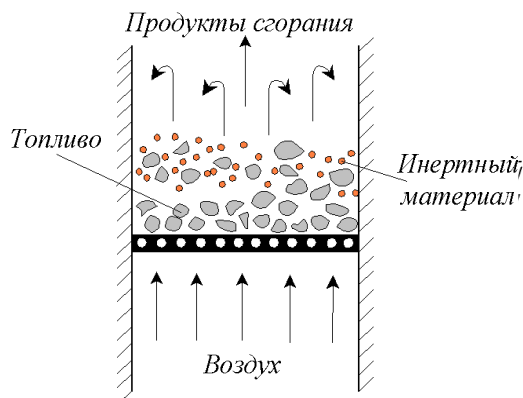


Рис. 2. Схема сжигания в кипящем слое

находящихся в пределах 800 – 900 °С, фактически исключается образование термических оксидов азота, создаются благоприятные условия для связывания оксидов серы, реализуемые за счет добавления сорбента (обычно известняка). Это делает технологию сжигания твердых топлив в кипящем слое одной из наиболее экологически чистых [5].

В то же время котлы с установкой КС имеют большое количество недостатков. Установки с КС имеют сложную конструкцию и технологию производства. С этим связаны высокие удельные капитальные затраты, вызванные необходимостью оснащения установки полноценными системами подготовки и подачи топлива, золошлакоудаления, автоматизации. Также следует отметить, что для котельных малой мощности характерен низкий уровень персонала, при этом эксплуатация котлов с кипящим слоем требует глубокого и правильного понимания происходящих сложных технологических процессов (даже при условии их полной автоматизации) [6].

Одним из главных недостатков установок с КС являются жесткие требования к фракционному составу топлива. Они включают в себя [7]:

- мелкодробленый уголь должен быть с гарантированным верхним пределом размера куска топлива, нарушение этого условия приводит к оседанию крупных кусков породы или топлива на газораспределительную решетку;
- для топок с КС количество мелких фракций должно быть сведено к минимуму, так как скорости газов для обеспечения устойчивого псевдоожижения в слое рассчитаны на средний размер частиц, при этом более мелкие фракции уносятся из топки, а их наличие обуславливает главный недостаток топок с КС – повышенные потери с неполнотой сгорания;
- в топливе не должно быть металлов и других включений, которые приводят к зашлакованию нижней части слоя и нарушению работы системы золоудаления.

**Сжигание в циркулирующем кипящем слое (ЦКС)** схоже со сжиганием в стационарном кипящем слое. Отличительной чертой котлов с ЦКС является наличие устройств для улавливания золы и систем возврата материала в топку (рис. 3). Эффективность работы именно этих устройств оказывает определяющее влияние на большинство показателей котла (стабилизация температуры в слое и надслоевом пространстве, уровень выбросов SO<sub>2</sub> и др.). С этим связана важность наличия определенного количества циркулирующих частиц, которые могут улавливаться из топки и воз-

вращаться в слой. Эффективность золоуловителя (в основном используются циклоны) обуславливает кратность циркуляции и размер частиц. При высоком КПД уловителей (около 99,5 %) его изменение всего на 0,1 % увеличивает циркуляцию в 1,2 раза [8].

Технология ЦКС может использоваться для сжигания высокозольных каменных и бурых углей. Возможно также использование растительных отходов, являющимися практически беззольными [9]. Однако сжигание сильно различающихся по характеристикам топлив приводит к трудностям. При этом теплота сгорания топлива является более важной характеристикой, чем отношение нормального объема дымовых газов к низшей теплоте сгорания топлива. Относительное различие между минимальным и максимальным объемами продуктов сгорания достигает 18 % [10].

В отличие от пылеугольных топок и КС высокая скорость псевдооживления в ЦКС позволяет значительно снизить количество точек ввода топлива благодаря хорошему перемешиванию твердой фазы, уменьшить площадь подины при сохранении производительности, а также расширить интервал изменения тепловых нагрузок [11]. Этим самым в топках с ЦКС можно добиться малых потерь с механическим недожогом.

Недостатки технологии сжигания в ЦКС являются такими же, что и в топках с КС. Во многом из-за высоких эксплуатационных требований и необходимости автоматизации котлов, а также повышенных (в 2 – 3 раза) расходов электроэнергии на собственные нужды котлы с КС и ЦКС не получили должного

применения в России и странах СНГ. Котлы с циркуляционным кипящим слоем, однако, нашли широкое распространение за рубежом, где уже функционируют свыше 1000 котлов с такой технологией [11, 12].

**Факельное сжигание** топлива также может считаться высокотехнологичным способом. Его реализуют в камере (рис. 4), в которую специальными пылевыми горелками подается смесь воздуха с предварительно измельченным в пыль топливом (в основном используется уголь).

Большое значение для работы пылеугольных топок имеет конструкция применяемых горелок. Горелки должны обеспечивать хорошее перемешивание топлива с воздухом, надежное зажигание аэросмеси, максимальное заполнение факелом топочной камеры и легко поддаваться регулированию по производительности в заданных пределах.

В последнее время развиваются технологии двухступенчатого факельного сжигания. Это делается для того, чтобы снизить выбросы оксидов азота. Сущность метода заключается в подаче части воздуха, необходимого для полного сгорания, в промежуточную зону факела, где кислород воздуха, поступивший вместе с топливом через горелки, в значительной степени уже израсходован. Благодаря этому процесс сгорания летучих проходит в обедненной кислородом атмосфере, и азотсодержащие компоненты летучих (цианиды и амины) переходят главным образом не в соединение  $\text{NO}_x$ , а в безвредный молекулярный азот  $\text{N}_2$  [13]. Британской фирмой MBEL был предложен метод усиленного двухступенчатого сжигания. От тра-

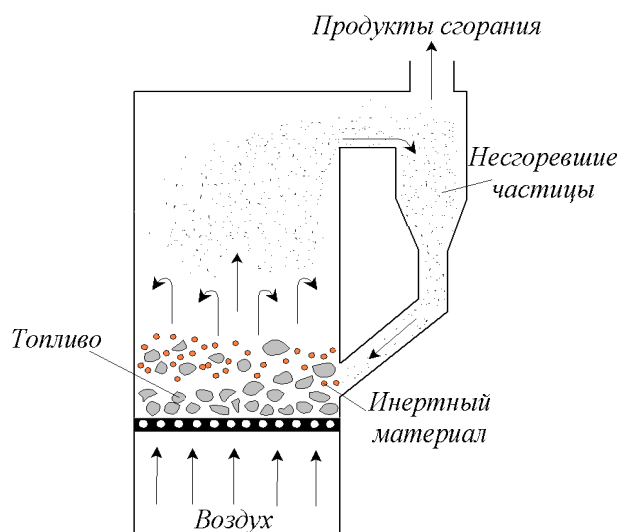


Рис. 3. Схема сжигания в циркулирующем кипящем слое

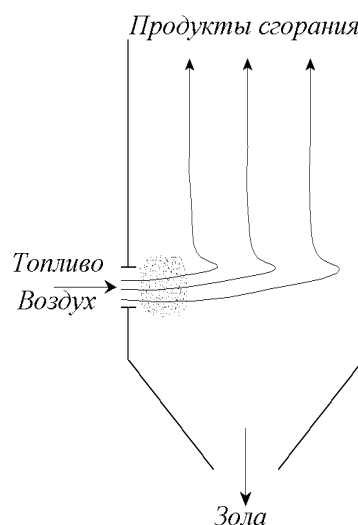


Рис. 4. Схема факельного сжигания

диционного этот метод отличается наличием дополнительного (бустерного) дутьевого вентилятора, который создает высоконапорные струи третичного воздуха. Интенсивное перемешивание этих струй с продуктами сгорания позволяет дожечь монооксид углерода и другие продукты неполного сгорания до выхода дымовых газов из топки [14].

Преимуществами и факельного, и ступенчатого сжигания является возможность экономичного и эффективного использования практически всех сортов угля, в том числе и низкокачественных, которые трудно сжигать в слое. Хорошее перемешивание топлива с воздухом позволяет работать с относительно небольшим избытком воздуха ( $\alpha = 1,2 - 1,25$ ). Также можно отметить относительную простоту регулирования режима работы и, следовательно, возможность полной автоматизации топочного процесса.

Главным недостатком факельного сжигания является необходимость в специальной подготовке топлива, что существенно удорожает технологический процесс. При этом стоит иметь в виду, что на надежность зажигания смеси существенное влияние оказывают влажность и зольность исходного топлива. Также увеличивается удельное энергопотребление.

На отечественных котлах с факельным сжиганием возможно увеличение избытка первичного воздуха, которое происходит из-за повышенных прососов холодного воздуха через уплотнительные узлы мельниц [15].

**Вихревое сжигание** является одним из самых технологичных способов, который был предложен в СССР еще в начале 30-х годов прошлого века. Как правило, этот способ применяется для сжигания мелкофракционного и пылевидного топлива. При его реализации большая часть топлива не находится на колосниковой решетке, а вращается в вихревом (спиральном) потоке дутьевого воздуха. Таким образом, можно говорить, что эта технология – способ сжигания топлива фактически во взвешенном состоянии (рис. 5).

Вихревой способ сжигания обеспечивает максимальное сгорание угольных частиц с использованием механизмов внутренней стабилизации горения, характерных для вихревых топок, высокую степень улавливания золы в пределах топочной камеры. Стабилизация горения в вихревых топках обеспечивается тем, что горячие продукты сгорания направляются в корень факела и этим обеспечивается его надежное воспламенение при сравнительно низкой температуре. Кроме того, за счет тангенциального ввода потоков дутья организовано

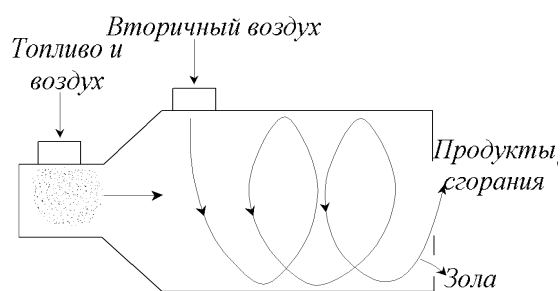


Рис. 5. Схема вихревого сжигания

вихревое течение и перемешивание горячих продуктов сгорания с вводимыми потоками, что обеспечивает наибольшую глубину выгорания топлива и стабильность горения [16].

Активная вихревая аэродинамика, создаваемая тангенциальной подачей угля, используется для глубокого сжигания летучих и продуктов сгорания и подавляет эмиссию вредных веществ благодаря активному перемешиванию. Также благодаря вихревой аэродинамике в несколько раз увеличивается время нахождения твердых частиц в зоне горения, что снижает вредные выбросы и повышает полноту сгорания топлива [17, 18].

Проведенные испытания [19] подтвердили преимущества вихревого сжигания: простота обслуживания и реализации, возможность внедрения с минимальными переделками на действующих топках с факельным сжиганием или сжиганием в кипящем слое, самоочистка конвективных поверхностей нагрева, высокая надежность и взрывобезопасность, низкие эксплуатационные затраты.

При сжигании углеродсодержащих отходов отмечается, что во всех случаях содержание СО в газовых выбросах снижается с ростом температуры вследствие уменьшения химического недожога.

Недостатком вихревого сжигания можно назвать трудность при работе на топливах с низкой температурой плавления золы. При плавлении золы параметры закручивающегося потока вихревой топки сильно меняются, снижается тепловая мощность установки [17]. Также стоит отметить, что изменение характеристик топлива приводит к нарушению нормального режима горения, что усложняет проведение режимной наладки [20]. В связи с этим в зависимости от вида, характеристик топлива и технологии сжигания предусматривают сухое, либо жидкое шлакоудаление.

В котельных агрегатах вихревой способ сжигания топлива реализуют в специальных (вихревых или циклонных) топках, которые фактически являются предтопками камерных

топок на тепловых электростанциях. Вихревые топки могут применяться в качестве технологических печей, например, для обжига медных руд. В вихревых топках частицы топлива поддерживаются во взвешенном состоянии за счет несущей силы мощного вихря, вследствие чего в ней не выпадают даже крупные (5 – 10 мм и более) частицы. В современных вихревых топках сжигаются куски твердого топлива размером 2 – 100 мм при скорости струи подаваемого воздуха 30 – 150 м/с. В результате интенсивного горения в топке развиваются температуры, близкие к адиабатным (до 2000 °С).

Вихревой способ сжигания может быть реализован при применении высокотемпературной и низкотемпературной технологий сжигания.

В котельных агрегатах применяют горизонтальные, слабонаклонные и вертикальные вихревые топки с жидким шлакоудалением. Принцип действия заключается в том, что в предтопке относительно небольшого диаметра и длине топки в 1,2 – 1,5 диаметра создается газо-воздушный вихрь (скорость подачи вторичного воздуха достигает 100 м/с), в котором частицы горящего топлива многократно обращаются до тех пор, пока они не сгорают почти полностью. Продукты сгорания из предтопок поступают в камеру дожига, из нее – в камеру охлаждения и далее в газоходы котельного агрегата. Шлак из предтопок удаляется в жидком виде через специальные летки. Для увеличения количества уловленного шлака между предтопком и камерой дожига устанавливают шлакоулавливающий пучок труб [21]. Принципиальная схема топок представлена на рис. 6. Развиваемая в циклонной камере высокая (1700 – 1800 °С) температура при-

водит к расплавлению золы и образованию на стенках шлаковой пленки. Отбрасываемые на стенки свежие частицы топлива прилипают к шлаковой пленке, где они интенсивно выгорают при обдувании их воздушным потоком. Улавливание золы в пределах камеры составляет 85 – 90 % и более.

В выходной части циклонной камеры имеется пережим (ловушка), через который продукты сгорания поступают в камеру дожига, где догорают выносимые из циклона мельчайшие частицы топлива.

Циклонные камеры работают с высокими объемными плотностями тепловыделения  $q_V = 1,5 - 3,0$  МВт/м<sup>3</sup> и плотностью теплового потока на сечение циклона  $q_F = 11 - 16$  МВт/м<sup>2</sup> при малом коэффициенте избытка воздуха в циклоне  $\alpha = 1,08 - 1,1$  [22]. Для сравнения, камерные топки с факельным сжиганием пылеугольных смесей и жидким шлакоудалением работают с показателями камеры сгорания  $q_V = 500 - 800$  кВт/м<sup>3</sup>,  $q_F = 5$  МВт/м<sup>2</sup>,  $\alpha = 1,15 - 1,25$ .

Область применения подобных циклонных топок – котельные агрегаты высокой паропроизводительности (200 – 250 т/ч).

К недостаткам высокотемпературных циклонных топок с жидким шлакоудалением относят: затруднения при сжигании высоковлажных углей и углей с малым выходом летучих; увеличенные (до 2 %) потери теплоты с физическим теплом шлака; повышенный расход энергии на дутье; повышенный выход оксидов азота из-за высокой температуры в циклонной камере.

Положительные особенности закрученных потоков используются в вихревых топках, называемых топками с пересекающимися струя-

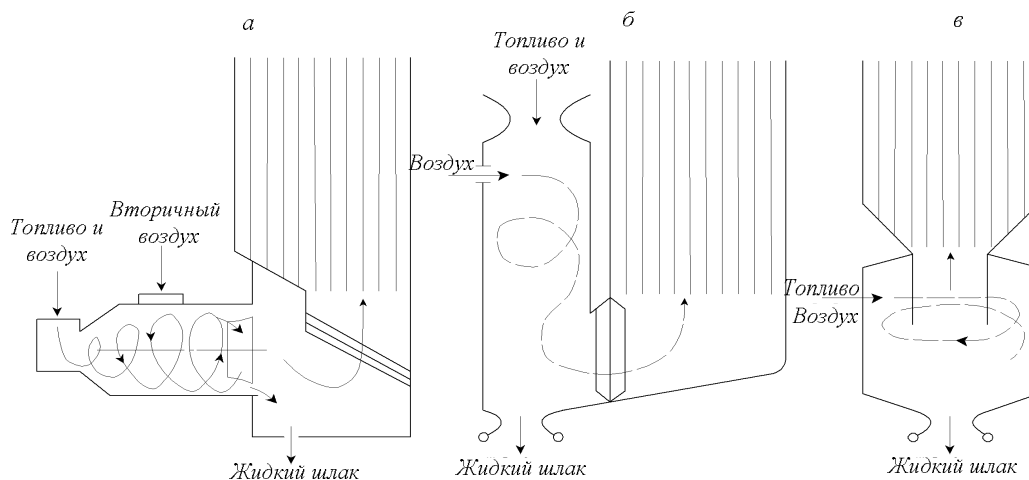


Рис. 6. Циклонные топки с жидким шлакоудалением:

а – горизонтальная; б – вертикальная с нижним выводом газов; в – вертикальная кольцевая с верхним выводом газов



ми. На рис. 7 показаны схемы полузакрытых топок ЦКТИ и МЭИ, где при подводе пылевоздушной смеси со скоростью 80 м/с создается вихревое движение с горизонтальной осью вращения. Горячие топочные газы пересекают пылевоздушный поток, обеспечивая его интенсивное воспламенение.

Эффективной технологией сжигания твердых органических топлив является низкотемпературная вихревая (НТВ) технология сжигания [23]. Способ НТВ сжигания и топочное устройство для его реализации разработаны выдающимся советским ученым-теплоэнергетиком В.В. Померанцевым. НТВ технология сжигания прошла широкую апробацию в энергетике с 70-х по 90-е годы прошлого века. В основу НТВ технологии заложен принцип организации низкотемпературного сжигания твердого топлива угрубленного помола в условиях многократной циркуляции частиц в камерной топке.

В НТВ топке организованы две зоны горения, которые разнесены по ее высоте: вихревая и прямоточная. Вихревая зона занимает объем нижней части топки от устья топочной воронки до горелок. Прямоточная зона горения располагается над вихревой зоной в верхней части топки.

Аэродинамика вихревой зоны создается за счет взаимодействия двух организованных потоков: первый поток сформирован из топливно-воздушной смеси, поступающей в топку через горелки; второй поток состоит из горячего воздуха, подаваемого в топку через систему нижнего дутья. Потоки направлены навстречу

друг другу и образуют пару сил, создающую вихревое движение в нижней части топки.

В отличие от традиционной технологии пылеугольного сжигания, где основная часть (до 92 – 96 %) топлива сгорает в так называемой «зоне активного горения», расположенной в районе горелок и занимающей относительно небольшой объем камерной топки, в вихревой топке с НТВ технологией сжигания в «зону активного горения» вовлечен значительно больший объем топочного пространства. Это дает возможность снизить максимальную температуру в вихревой топке (примерно на 100 – 300 °С) и за счет активной аэродинамики выровнять уровень температуры в объеме вихревой зоны.

Пониженный уровень температуры, ступенчатый ввод окислителя, многократная циркуляция горящих топливных частиц и угрубление гранулометрического состава золы в совокупности обеспечивают улучшенные показатели вихревых топок по вредным выбросам (оксидам азота и серы), а также повышают эффективность работы золоулавливающего оборудования котельной установки.

Применение НТВ сжигания позволяет практически полностью исключить шлакование поверхностей нагрева котла и повысить надежность его работы. Пониженный уровень температуры в зоне активного горения снижает количество расплавленных частиц золы, что в сочетании с активной аэродинамикой снижает вероятность возникновения отложений на поверхностях нагрева котла.

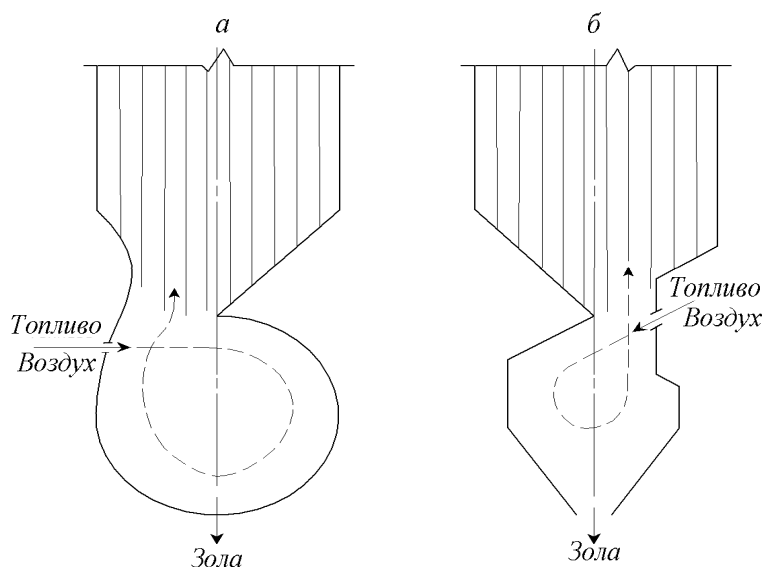


Рис. 7. Вихревые топки с пересекающимися струями:  
а – топка ЦКТИ; б – топка МЭИ

Кроме энергетических котлов, низкотемпературные вихревые топки внедряются в котельные агрегаты малой паропроизводительности для решения задач утилизации растительных отходов, лузги и пр. [24]. Так, НИЦ ПО «Бийскэнергомаш», ПО «Бийскэнергомаш» и ОАО «Бийский котельный завод» совместно провели широкий круг теоретических и экспериментальных исследований, ряд реконструкций и создание нового поколения котлов с низкотемпературными вихревыми топочными устройствами (ВТ) [25 – 27]. Расчеты показали, что низкотемпературный топочный процесс (температура ниже уровня размягчения золы) в вихревой топке можно поддерживать, во-первых, по двухступенчатой схеме, за счет недостаточной для полного сжигания лузги подачи дутья в зону удержания частиц и дожиганием продуктов неполного сгорания в экранированном объеме топки котла. Во-вторых, этот эффект можно обеспечить также за счет избыточной подачи дутья, рециркуляции дымовых газов и интенсивным охлаждением вихревой топки экранами.

Недостатком предложенной технологии является образование мощных натрубных отложений, обуславливаемых характером сжигаемых сельскохозяйственных отходов, но по данным работ этих авторов отказ от совместного сжигания лузги и природного газа, а также разработанные НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» режимные мероприятия и методы очистки топки и трубных пучков на сегодня обеспечили стабильную работу всех поставленных и реконструированных котлов.

По данным [28] выполнен значительный объем работ по разработке и внедрению в опытную эксплуатацию низкотемпературной вихревой технологии сжигания «Торнадо», которая реализует совместное слоевое и факельно-вихревое сжигание и применима практически для любого вида твердых топлив и отходов. Крупные фракции топлива сжигают в слое на механизированной колосниковой решетке, а мелкие уносимые частицы аэродинамически удерживаются в топке и заполняют вихрь излучающим потоком горящих частиц. Таким образом, в топке «Торнадо» сглаживаются неравномерности тепловыделения с подавлением температурного максимума ядра факела, появляется заметная доля конвективной составляющей теплообмена, повышается степень черноты и излучательная способность топочного объема. Тепловосприятие топочных экранов заметно увеличивается, но при этом максимум тепловосприятия понижается; тепловая нагрузка экранов повышена, но распре-

делена равномерно, что увеличивает надежность их работы. Благодаря механизации и малой массе топлива в слое топки не требуются особых затрат ручного труда и легко автоматизируются.

Если первоначально авторами [28] были освоены реконструкции таких котлов, как, например, ДКВр-20-13ШпВТ и КЕ-25-14ШпВТ для сжигания коксовой мелочи, то в последнее время ведется разработка новых конструкций паровых котлов. К недостаткам предлагаемых реконструированных и новых конструкций можно отнести относительно затратную реконструкцию и проблемы с надежностью пароперегревателей из-за плохого качества воды.

Проблемы сжигания низкокачественных и высокосольных углей, а также биомассы побудили ученых СО РАН к созданию циклонных камер, объединенных в многоступенчатую топку [29], где поток, подобный потоку из вихревой горелки, используется в процессе дожигания, обеспечивая полное сгорание топлива. По результатам опытов изготовлены полупромышленный аппарат и экспериментальная установка гравитационно-рециркуляционной вихревой топки (ГРВТ). Подобная топка обладает всеми преимуществами циркулирующего кипящего слоя и в дополнение – меньшим гидравлическим сопротивлением, а также возможностью регулирования топочного процесса в более широких пределах определяющих параметров.

**Выводы.** Рассмотрены основные современные способы сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках. Представлены описание и схемы работы установок при использовании разновидностей слоевого, вихревого и факельного способов сжигания. Приведены преимущества и недостатки описываемых технологий и оценены перспективы их применения в теплоэнергетике России.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каменецкий Б.Я. / Расчет теплообмена в топках котлов при слоевом сжигании топлива // Теплоэнергетика. 2008. № 5. С. 75 – 77.
2. Каменецкий Б.Я. / Роль излучения слоя горящего топлива в топочном теплообмене // Тепломассообмен ММФ-92. Минск, 1992. Т. 2. С. 125 – 128
3. Волынкина Е.П., Пряничников Е.В. / Снижение выбросов загрязняющих веществ на угольных котельных со слоевой системой сжигания // Теплоэнергетика. 2002. № 2. С. 33 – 41.

4. Исьемин Р.Л., Кузьмин С.Н., Михалев А.В., Вирысов Д.М., Коняхин В.В., Зейченко В.М., Акользин А.П. / Котел для бесшлакового сжигания сельскохозяйственных отходов // Промышленная энергетика. 2011. № 11. С. 55 – 58.
5. Бурдуков А.П., Матузов С.В. / Сжигание отходов углепереработки в котле кипящего слоя // Уголь. 2012. № 12. С. 69 – 72.
6. Шемякин В.Н., Карапетов А.Э., Фрайман Г.Б., Пудовкин Е.М. / Сжигание горючих сланцев в котлах с топками низкотемпературного кипящего слоя // Уголь. 2004. № 9. С. 26 – 30.
7. Лейкин В.З. / Создание оборудования и отработка технологии подготовки топлива для сжигания и газификации в циркулирующем и стационарном кипящем слое // Теплоэнергетика. 2008. № 1. С. 71 – 80.
8. Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Шапошник Д.А. / Исследование систем улавливания и возврата золы на установках с циркулирующим кипящим слоем // Теплоэнергетика. 2002. № 8. С. 18 – 24.
9. Анискин В.И., Голубкович А.В. / Перспективы использования растительных отходов в качестве биотоплив // Теплоэнергетика. 2004. № 5. С. 60 – 65.
10. Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Литун Д.С., Санкин Д.А., Митрюкова И.Г. / Перспективы использования технологии ЦКС при техническом перевооружении ТЭС России // Теплоэнергетика. 2009. № 1. С. 28 – 36.
11. Рохман Б.Б. / О некоторых особенностях технологии термохимической переработки углей в циркулирующем кипящем слое // Теплоэнергетика. 2007. № 6. С. 38 – 43.
12. Пузырев Е.М., Мурко В.И., Звягин В.Н., Федяев В.И., Бровченко С.А., Дзюба Д.А., Нехороший И.Х., Аглиулин В.Н. / Результаты опытно-промышленных испытаний работы мазутного котла ДКВР 6,5/13 на водоугольном топливе // Теплоэнергетика. 2001. № 2. С. 69 – 71.
13. Котлер В.Р. / Ступенчатое сжигание – основной метод подавления оксидов азота на пылеугольных котлах // Теплоэнергетика. 1989. № 8. С. 41 – 44.
14. Котлер В.Р. / Усовершенствованный метод двухступенчатого сжигания топлива // Теплоэнергетика. 2007. №2. С. 73 – 75.
15. Архипов А.М., Путилов В.Я. / Ступенчатое факельное сжигание кузнецких углей на ТЭС // Теплоэнергетика. 2009. № 8. С. 52 – 57.
16. Мурко В.И., Федяев В.И., Карпенков В.И., Дзюба Д.А. / Результаты исследования вредных выбросов при сжигании суспензионного угольного топлива // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2012. № 5. С. 512 – 518.
17. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Подольский А.П., Рыбушкин А.А., Темлянцев М.В., Казимиров С.А. / Разработка агрегата и технологии для эффективного сжигания дисперсных отходов углеобогащения во вращающемся потоке воздуха // Вестник СибГИУ. 2013. № 4. С. 36 – 41.
18. Багрянцев В.И., Казимиров С.А., Куценко А.И., Подольский А.П., Рыбушкин А.А., Темлянцев М.В. / Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов // Вестник СибГИУ. 2013. № 3. С. 33 – 38.
19. Зысин Л.В., Кошкин Н.Л., Финкер Ф.З. / Вопросы энергетического использования биомассы отходов лесопроизводства // Теплоэнергетика. 1994. № 11. С. 30 – 35.
20. Шарпов А.М., Чуприн А.Е. / Вихревые технологии сжигания лугги подсолнечника на мини-ТЭЦ // Новости теплоснабжения. 2009. № 12. С. 40, 41
21. Зах Р.Г. Котельные установки. – М.: Энергия, 1968. – 352 с.
22. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки для промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.
23. Общая информация об НТВ-технологии сжигания. Электронный ресурс: <http://ntv-energo.spb.ru/about/technology.php> (дата обращения 20.05.2014).
24. Пузарев Е.М., Сидоров А.М., Скрябин А.А., Щуренко В.П., Шарпов А.М., Шарпов М.А. Использование вихревых топок, сжигание растительных отходов. Электронный ресурс: <http://www.nicbem.ru/st2.htm> (дата обращения 20.05.2014).
25. Пузырев Е.М., Щуренко В.П. Циклонная топка. Патент РФ. № 2105239. Бюл. Изобретений. 1998. № 5.

26. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Шапов М.А. Устройство для сжигания твердого топлива. Патент РФ № 2126113. Бюл. Изобретений. № 4. 1999.
27. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Щербakov Ф.В. Вихревая топка. Патент РФ № 2126932. Бюл. Изобретений. 1999. № 6.
28. Голубев В.А., Пузырев Е.М., Пузырев М.Е. Использование вихревых топок «Торнадо» в паровых котлах. Электронный ресурс: <http://www.pem-energo.ru/ispolzovanie-vihrevyih-topok-tornado-v-parovyih-kotlah> (дата обращения 20.05.2014).
29. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий / Отв. ред. С.В. Алексеенко (Интеграционные проекты СО РАН; Вып. 20). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 405 с.

© 2014 г. М.Н. Башкова, С.А. Казимиров, М.В. Темлянецв, В.И. Багрянецв, А.А. Рыбушкин, К.С. Слаженева  
Поступила 21 мая 2014 г.

УДК 697.132.3

*Д.Б. Чанаев*

Сибирский государственный индустриальный университет

### ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА В РЕЗУЛЬТАТЕ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Один из положительных моментов автоматизации систем отопления зданий – сокращение расхода топлива для теплогенератора за счет отклика систем на внешние возмущения, связанные с дополнительными теплопоступлениями. Одним из видов дополнительных теплопоступлений является поток солнечной радиации на здания, интенсификация которого приходится на осенние и весенние месяцы.

В настоящей работе для климатических условий г. Новокузнецка выполнена оценка снижения расхода топлива на отопление жилого здания вследствие снижения его теплопотребления за счет теплопоступлений от солнечной радиации в случае инсталляции в систему отопления радиаторных терморегуляторов и в узел управления теплоносителем – схем погодной компенсации. Бытовые и иные виды теплопоступлений в помещения, дополнительно увеличивающие процент экономии топлива, в расчете не учитывали.

Годовой расход топлива ( $B$ ) для отопления здания определяется по формуле

$$B = \frac{Q}{\eta Q_p} = \frac{\sum_{i=1}^m (k_i F_i)_{\tau_1}^{\tau_2}}{\eta Q_p} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta t_q(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $Q$  – годовое теплопотребление системой отопления здания;  $\eta$  – коэффициент полезного действия теплогенератора;  $Q_p$  – располагаемая теплота топлива;  $k_i$  и  $F_i$  – коэффициенты теплопередачи и площади поверхности  $i$ -х наружных ограждений здания;  $m$  – количество всех  $i$ -х наружных ограждений;  $\tau_1$  и  $\tau_2$  – даты начала и конца отопительного периода;  $\Delta t_q(\tau)$  – температурный перепад между средами (внутренним воздухом помещений и наружным воздухом), разделенными наружными конструкциями здания, зависящий от времени  $\tau$ .

Величина  $Q$  численно равна суммарным за отопительный период трансмиссионным теплопотерям здания, которые составляют основную долю его теплопотерь. Значения  $Q$  можно определить по уравнению теплопередачи через

наружные строительные конструкции здания [1]:

$$Q = \sum_{i=1}^m (k_i F_i) \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta t_q(\tau) d\tau.$$

С целью учета влияния солнечной радиации на годовой расход топлива при определении  $\Delta t_q(\tau)$  предлагается учитывать (кроме собственно перепада температур внутреннего и наружного воздуха  $\Delta t_T(\tau)$ ) также перепад температур внутреннего и наружного воздуха, обусловленный потоком солнечной радиации на здание (поправка на солнечную радиацию  $\Delta t_R(\tau)$ ):

$$\Delta t_q(\tau) = \Delta t_T(\tau) - \Delta t_R(\tau). \quad (2)$$

Эта поправка принята со знаком «-», так как поток солнечной радиации является дополнительным теплопоступлением, снижающим значение  $\Delta t_q(\tau)$ .

Величина  $\Delta t_q(\tau)$  – это такой перепад температур внутреннего и наружного воздуха  $\Delta t_T(\tau)$ , при котором здание в условиях отсутствия солнечной радиации имело бы те же теплопотери, которые оно имеет при данной температуре наружного воздуха и потоке солнечной радиации.

Значения  $\Delta t_T(\tau)$  и  $\Delta t_R(\tau)$  определяются по следующим формулам:

$$\Delta t_T(\tau) = t_b - t_n(\tau); \quad (3)$$

$$\Delta t_R(\tau) = \mu \varepsilon R_{св} J(\tau), \quad (4)$$

где  $t_b$  – температура внутреннего воздуха помещений;  $t_n(\tau)$  – температура наружного воздуха,

зависящая от времени  $\tau$ ;  $\mu$  – относительная площадь светопрозрачных ограждений здания;  $\varepsilon$  – коэффициент пропускания светопрозрачными ограждениями суммарной солнечной радиации;  $R_{св}$  – термическое сопротивление светопрозрачного ограждения;  $J(\tau)$  – поток суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на поверхность окон, зависящий от времени  $\tau$ .

Для решения указанной задачи в формуле (3) можно принять постоянное во времени осредненное по зданию нормированное допустимое значение  $t_b$  по ГОСТ 30494 – 2011. Формула (4) представлена из исследования Л.С. Гандина [2].

Расчет значения  $B$  можно произвести с достаточной для инженерной практики точностью, если в формулы (3) и (4) подставлять среднемесячные значения величин  $t_n$  и  $J$ .

Расчет годового хода среднемесячных перепадов температур выполнен для жилого здания, расположенного в г. Новокузнецке, при следующих исходных данных:  $t_b = 20$  °С; значения  $t_n$  принимали равными среднемесячным по СП 131.13330.2012;  $\mu = 0,3$ ;  $\varepsilon = 0,67$  (для окон с двойным остеклением без загрязнений осадками);  $R_{св} = 0,44$  м<sup>2</sup>·°С/Вт (двойное остекление при коэффициентах теплоотдачи снаружи  $\alpha_n = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и с внутренней стороны стены  $\alpha_b = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)). Значения  $J$  по месяцам принимали по СП 131.13330.2012 для восточной ориентации окон; эти значения соответствуют, согласно данным работы [2], среднему значению по сторонам горизонта.

Расчет годового хода среднемесячных перепадов температур  $\Delta t_T(\tau)$ ,  $\Delta t_R(\tau)$  и  $\Delta t_q(\tau)$  представлен в таблице.

### Расчет годового хода среднемесячных перепадов температур

| Месяц    | $t_n$ , °С | $J$ , Вт/м <sup>2</sup> | $\Delta t_T$ , °С | $\Delta t_R$ , °С | $\Delta t_q$ , °С |
|----------|------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| январь   | -17,2      | 46                      | 37                | -4                | 33                |
| февраль  | -15,5      | 82                      | 36                | -7                | 28                |
| март     | -8,1       | 129                     | 28                | -11               | 17                |
| апрель   | 2,0        | 181                     | 18                | -16               | 2                 |
| май      | 10,0       | 194                     | 10                | -17               | -7                |
| июнь     | 16,6       | 203                     | 3                 | -18               | -15               |
| июль     | 18,8       | 198                     | 1                 | -18               | -16               |
| август   | 15,8       | 172                     | 4                 | -15               | -11               |
| сентябрь | 10,0       | 143                     | 10                | -13               | -3                |
| октябрь  | 2,2        | 93                      | 18                | -8                | 10                |
| ноябрь   | -8,3       | 59                      | 28                | -5                | 23                |
| декабрь  | -15,4      | 40                      | 35                | -4                | 32                |

Примечание. Положительные значения перепадов температур – теплопотери помещениями, отрицательные – теплопоступления в помещения.

Для удобства анализа полученной информации по результатам расчета построены графики (рис. 1); показаны только месяцы отопительного периода, то есть когда значения  $\Delta t_q$  больше нуля (согласно формуле (1) условие  $\Delta t_q > 0$  соответствует положительному значению теплотребления).

Положительные значения  $\Delta t_q$  в формуле (1) показывают наличие теплотерь здания, когда необходима работа системы отопления. Годовой ход положительных значений  $\Delta t_q(\tau)$  определяет требуемую продолжительность отопительного периода. Переход кривой  $\Delta t_q(\tau)$  (рис. 1) через горизонтальную линию  $\Delta t = 0$  задает значения начала и конца отопительного периода (соответственно  $\tau_1$  и  $\tau_2$ ), рассчитанные при учете совместного действия на здание температуры наружного воздуха и солнечной радиации; значения  $\tau_1$  и  $\tau_2$  отмечены вертикальными линиями.

Значение  $B$  можно найти с достаточной точностью из графика годового хода  $\Delta t_q(\tau)$  по формуле прямоугольников с шагом  $\tau_m$ , равном одному месяцу:

$$B \approx \frac{\sum_{i=1}^m (k_i F_i)}{\eta Q_p} \tau_m \sum_{j=1}^n (\Delta t_q)_j, \quad (5)$$

где  $\tau_m$  – средняя продолжительность месяца;  $n$  – количество  $j$ -х месяцев отопительного периода (учитываются только месяцы отопительного периода).

Определим значение  $B$  для традиционной системы отопления здания без термостатического регулирования (то есть для системы, теплотребление которой не зависит от теплоступлений за счет солнечной радиации), обозначив его  $B_T$  и исключив из формулы (2) слагаемое  $\Delta t_R(\tau)$  (кривая  $\Delta t_T(\tau)$  представлена на рис. 1).

Начало и конец отопительного периода должны определяться условием  $\Delta t_T(\tau) > 0$ , то есть переходом температуры через значение  $t_n = t_b$ , когда отсутствуют теплотери помещениями, что в условиях Сибирского региона означало бы почти круглогодичную работу неавтоматизированной системы отопления. В практике теплоснабжения время начала  $\tau_1$  и конца  $\tau_2$  отопительного периода приняты, согласно СП 124.13330.2012, при среднесуточной температуре наружного воздуха  $8^\circ\text{C}$  за пять суток подряд  $t_n(\tau_1) = t_n(\tau_2)$ . Если принять значение  $t_b$  для жилых помещений  $20^\circ\text{C}$ , то в настоящее время даты начала и конца отопи-

тельного периода в условиях г. Новокузнецка определяются переходом кривой  $\Delta t_T(\tau)$  через горизонтальную линию  $\Delta t = 12^\circ\text{C}$ , а время, когда  $\Delta t_T(\tau)$  более  $12^\circ\text{C}$ , определяет продолжительность отопительного периода (вертикальные штриховые линии).

При сопоставлении сроков начала и конца отопительного периода, рассчитанных при учете совместного действия температуры  $t_n$  и солнечной радиации, с определенными только по температуре  $t_n$ , видно, что в связи с избытком солнечной радиации весной целесообразно конец отопительного периода перенести так, как это показано на графике (с 10 мая на 20 апреля). При этом температура наружного воздуха конца отопительного периода  $t_n(\tau_2) = t_b - \Delta t_T(\tau_2) = 20 - 16 = 4^\circ\text{C}$ , где значение  $\Delta t_T(\tau_2) = 16^\circ\text{C}$  принято по рис. 1.

Таким образом, избыток солнечной радиации в апреле-мае позволяет сократить отопительный период в г. Новокузнецке на 20 дней без заметного снижения комфортных условий в помещениях.

Значение  $B_T$  можно найти с достаточной точностью из графика годового хода  $\Delta t_T(\tau)$  по формуле прямоугольников с шагом  $\tau_m$ , равным одному месяцу:

$$B_T \approx \frac{\sum_{i=1}^m (k_i F_i)}{\eta Q_p} \tau_m \sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j. \quad (6)$$

Экономия годового расхода топлива для теплогенератора в результате автоматизации системы отопления здания (установки радиаторных терморегуляторов и схемы погодной компенсации), связанная с учетом влияния солнечной радиации на теплотребление отопительной системой, составит

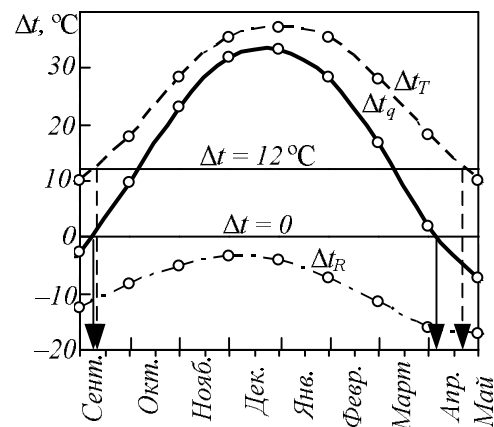


Рис. 1. Перепад температур с сентября по май для г. Новокузнецка

$$\Delta = \frac{B_T - B}{B_T} 100 \% = \frac{\sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j - \sum_{j=1}^n (\Delta t_q)_j}{\sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j} 100 \% . \quad (7)$$

Аналогичным образом можно уточнить ежемесячную экономию расхода топлива (при подстановке в формулу (7) вместо суммарных значений перепадов температур соответствующих перепадов температур отдельных месяцев). Значения снижения расхода топлива в случае учета системой потока солнечной радиации по месяцам отопительного периода представлены на рис. 2.

Экономия топлива за счет теплопоступлений от солнечной радиации в осенние месяцы (октябрь, ноябрь) составляет в среднем 30 % (за два месяца), в весенние месяцы (март, апрель) – 65 % за два месяца. Даже в наиболее холодные месяцы года (декабрь, январь) указанные теплопоступления позволяют снизить теплопотребление системой отопления на 10 %.

По результатам расчета годового хода перепадов температур имеем:

$$\sum_{j=1}^n (\Delta t_q)_j = 145 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (суммируются месяцы,}$$

когда  $\Delta t_q > 0$ );

$$\sum_{j=1}^n (\Delta t_T)_j = 210 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (суммируются месяцы,}$$

когда  $\Delta t_T(\tau) > 12 \text{ }^\circ\text{C}$ );

$$\Delta = (210 - 145) \cdot 100 / 210 \approx 30 \text{ } \%$$

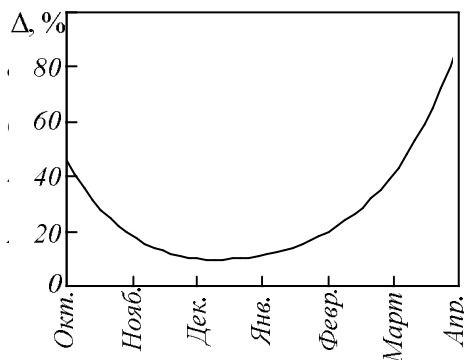


Рис. 2. Ежемесячная экономия топлива

**Выводы.** Для условий г. Новокузнецка годовая экономия топлива составит 30 %. Такое снижение затрат в весенний период, а также в те зимние дни, когда наблюдается значительный поток солнечной радиации, на фоне увеличения тарифов на отопление зданий ведет к стимулированию работ в области автоматизации систем отопления. Причем в расчете не учитывали теплопоступления от других источников (например, от бытового оборудования) и периодическое суточное увеличение плотности потока солнечной радиации в ясные дни, увеличивающие рассчитанный процент экономии. Однако следует сказать о необходимости комплексного подхода к созданию энергосберегающих систем теплопотребления: кроме обязательной инсталляции в системы терморегуляторов в совокупности со схемами погодной компенсации целесообразной является реализация схем пофасадного регулирования, а также работы по улучшению теплотехнических характеристик зданий (теплоизоляция наружных строительных конструкций и т.п.). Комплексный подход к внедрению энергосберегающих мероприятий обеспечит значительно больший экономический эффект.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б а с и н А.С., Ч а п а е в Д.Б., С м и р н о в а Е.В. Учет метеорологических факторов, прогрева конструкций и инфильтрационных теплопотерь в расчете теплового потока на отопление жилых зданий района. – В кн.: Новые строительные технологии 2010: сб. науч. трудов. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. С. 263 – 265.
2. Г а н д и н Л.С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях. – В кн.: Труды Главной геофизической обсерватории. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. Вып. 285. С. 3 – 16.

© 2014 г. Д.Б. Чанаев  
Поступила 16 июня 2014 г.

*Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ, ОКИСЛЕННОСТИ И ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОКАРБОНИТРИДА ХРОМА

В современных условиях освоение нанотехнологий определяет уровень конкурентоспособности государств в мировом сообществе и степень обеспечения их национальной безопасности. Одним из важных направлений развития нанотехнологий является получение материалов на основе карбидов и карбонитридов переходных металлов. Такие материалы, как правило, тугоплавкие, имеют высокую твердость, износо- и коррозионностойкие. Однако для эффективного применения карбидов и карбонитридов в наносостоянии в составе композиционных материалов необходимо исследование особенностей их физико-химических свойств.

Целью настоящей работы является исследование газонасыщенности, окисленности и термоокислительной устойчивости нанокарбонитрида хрома состава  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  с размерным диапазоном частиц 20 – 50 нм – перспективного материала для композиционных гальванических покрытий, модифицирования металлических сплавов и полимеров.

Газонасыщенность и окисленность нанокарбонитрида хрома при исследовании взаимодействия с атмосферными газами изучались в зависимости от состава сорбированных на поверхности частиц газов, величины удельной поверхности, продолжительности контактирования с воздухом.

Исследование газонасыщенности нанокарбонитрида хрома в зависимости от состава сорбированных на поверхности частиц газов и продолжительности контактирования с воздухом проводилось весовым методом на образцах двух типов:

- не контактировавших с воздухом;
- не контактировавших с воздухом и подвергнутых вакуумтермической обработке при 973 К в течение 0,5 ч для удаления монооксида углерода [1]. Взвешивание образцов проводилось через каждые 2 ч в течение первых суток и далее через сутки. Содержание кислорода в карбонитриде определялось методом высокотемпературной экстракции. В качестве объек-

тов исследования были выбраны нанопорошки, полученные плазменным синтезом из хрома (КНХ-1), оксида хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (КНХ-2) и трихлорида хрома  $\text{CrCl}_3$  (КНХ-3) [2]. Образцы синтезированы с использованием очищенных от кислорода и паров воды технологических газов и характеризуются отсутствием на рентгенограммах кислородсодержащих соединений. Образцы КНХ-3 предварительно отжигались в аргоне в течение 0,5 ч при температуре  $473 \pm 5$  К для удаления хлористого водорода до остаточного количества не более 0,1 % (по массе), что позволило предотвратить разложение соединений при контакте с парами воды на воздухе. Для определения состава и оценки количества адсорбированных при синтезе и хранении газов образцы исследовались методами термодесорбционной масс-спектрометрии и термографии, а газообразные продукты десорбции – хроматографически [3, 4]. Сочетание этих методов анализа позволяет практически однозначно охарактеризовать состав продуктов термодесорбции и оценить их количество. Основные характеристики образцов приведены в табл. 1. Можно видеть, что количество адсорбированных при синтезе газов колеблется в пределах 1,6 – 2,1 % (по массе), а основными адсорбированными газами в зависимости от технологического варианта синтеза являются  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ . Газообразные соединения со значениями масс 12 – 16, 26 – 27, 36 – 38 хроматографически не обнаруживаются, что свидетельствует об их нестабильности или содержании их в исследуемых образцах на уровне, не превышающем 0,2 % (по массе).

Термоокислительная устойчивость синтезированных нанодисперсных порошков карбонитрида хрома исследовалась с помощью термогравиметрического анализа в интервале температур 298 – 1373 К. За температуру начала окисления принималась температура, при которой масса образца изменялась на 1 %. Исследования проводились на дериватографе «Паулик-Паулик-Эрдей» с эталоном из оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$  при скорости нагрева 5 °С/мин. Относи-



### Основные характеристики образцов нанокарбонитрида хрома на различных стадиях исследования

| Характеристика                                 | Значение характеристики для образца   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | КНХ-1   | КНХ-2  | КНХ-3  |
| Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг       | 32000   | 34000  | 31000  |
| Общее содержание кислорода, % (по массе)       | 0,55*/4,11**  | 2,66/3,61  | 0,74/9,22  |
| Молекулярные массы продуктов десорбции         | 2, 14, 15, 26-28*/2, 14, 16-18, 26-28**   | 2, 13-15, 26-28/2, 13-16, 18, 24-28  | 2, 13-15, 26-28, 36-38/2, 13-16, 18, 26-28, 36-38  |
| Состав продуктов десорбции                     | H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> */H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O** | H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO/ O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO, H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O |
| Количество адсорбированных газов, % (по массе) | 1,61**/6,33**   | 1,92/1,16  | 2,01/9,13  |

\*/\*\* – характеристики порошков до и после контактирования с воздухом.

тельная ошибка измерений не превышает 3 %. В качестве объектов исследования использовались образцы карбонитрида хрома, синтезированные по варианту КНХ-1, характеристики которых приведены в табл. 2.

Исследуемые образцы подвергались рафинированию, обработке раствором соляной кислоты [5], что позволило снизить в них содержание свободных углерода и хрома до 0,3 – 0,5 % (по массе). Для предотвращения тления нанопорошков карбонитрида хрома толщина насыпного слоя при съемке дериватограмм не превышала 1 мм.

При хранении на воздухе порошки карбонитрида хрома активно адсорбируют кислород и влагу. Максимальный привес образцов наблюдается в течение первых 20 – 24 ч, после чего в течение 10 суток масса образцов остается практически неизменной (табл. 1, рис. 1).

За это время в порошках значительно возрастает содержание кислорода. Однако и при таком достаточно высоком содержании кисло-

рода его соединения с хромом на рентгенограммах не регистрируются. Из исследуемых образцов наименьшей сорбционной активностью отличается образец КНХ-2, адсорбирующий на стадии синтеза монооксид углерода,

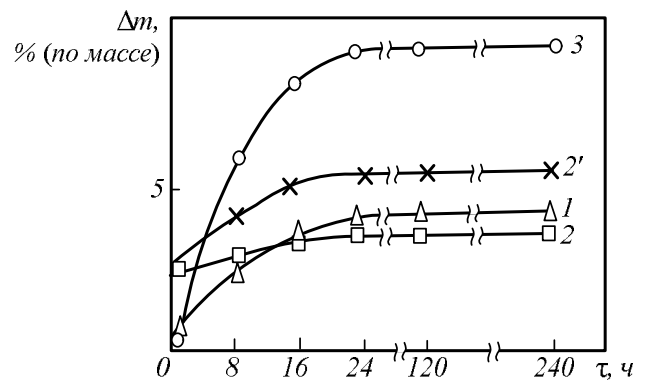


Рис. 1. Увеличение массы образцов при контакте их с воздухом:  
1 – КНХ-1, 2 – КНХ-2, 3 – КНХ-3, 2' – КНХ-2 вакуумтермически обработанный

### Характеристики образцов карбонитрида хрома различной дисперсности

| Характеристика   | Значение характеристики для образца номер |       |       |       |       |
|--|---|-------|-------|-------|-------|
|  | 1   | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Содержание Cr <sub>3</sub> (C <sub>0,8</sub> N <sub>0,2</sub> ) <sub>2</sub> в карбонитриде, % (по массе)  | 90,02                                     | 90,63 | 91,01 | 91,85 | 93,10 |
| Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг   | 51000                                     | 42000 | 35000 | 27000 | 21000 |
| Размер* частиц, нм   | 22  | 28    | 32    | 41    | 53    |
| Содержание кислорода после синтеза, % (по массе)   | 0,88                                      | 0,78  | 0,54  | 0,61  | 0,56  |
| Окисленность карбонитрида после синтеза (кг О·м <sup>-2</sup> )·10 <sup>7</sup>                            | 1,76                                      | 1,90  | 1,54  | 2,26  | 2,67  |
| Содержание кислорода после контакта с воздухом в течение 24 ч, % (по массе)                                | 7,42                                      | 5,22  | 4,11  | 2,82  | 1,81  |
| Окисленность карбонитрида после контакта с воздухом в течение 24 ч (кг О·м <sup>-2</sup> )·10 <sup>7</sup> | 14,55                                     | 12,43 | 11,74 | 10,44 | 8,62  |

\* Рассчитывается по величине удельной поверхности.

высокая пассивирующая способность которого достаточно давно используется в технологии наносистем [4]. Удаление монооксида углерода с поверхности частиц КНХ-2 значительно повышает их сорбционную способность (рис. 1, кривая 2').

Исследование окисленности нанокарбонитрида хрома в зависимости от величины его удельной поверхности и продолжительности контактирования с воздухом проводилось на пяти образцах, характеристики которых приведены в табл. 2.

Можно констатировать значительное повышение окисленности карбонитрида в первые 24 ч для всех исследуемых образцов. При этом зависимость величины окисленности от размера частиц карбонитрида описывается уравнением вида (при значениях критерия Фишера  $F/F_{0,95}(3,10) = 0,128/3,7$ )

$$a = 90 (d_{\text{ч}} - 3,3)^{-0,68} + 2,25, \quad (1)$$

где  $a$  – окисленность,  $\text{кг О} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $d_{\text{ч}}$  – размер частиц карбонитрида хрома, нм.

При увеличении размера частиц от 22 до 53 нм окисленность изменяется от  $14,55 \cdot 10^{-7}$  до  $8,62 \cdot 10^{-7}$   $\text{кг О} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Все образцы синтезированы по варианту КНХ-1 карбидизацией хрома метаном в плазменном потоке азота. Результаты исследований представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Характеристики термоокислительной устойчивости нанокарбонитрида хрома приведены в табл. 3, а их дериватограммы – на рис. 3. Для всех дериватограмм в интервале температур от  $542 \div 566$  до  $843 \div 860$  К характерны значительные экзотермические эффекты окисления карбонитрида. При массе навески образцов  $0,281 \div 0,323$  г в области температур от  $780 \div 800$  до  $820 \div 840$  К на дериватограммах появляется второй экзотермический эффект, обусловленный окислением свободного углерода. При уменьшении массы навески до  $0,1000$  г оба эффекта могут быть разделены (рис. 3, e), но при этом окисление свободного

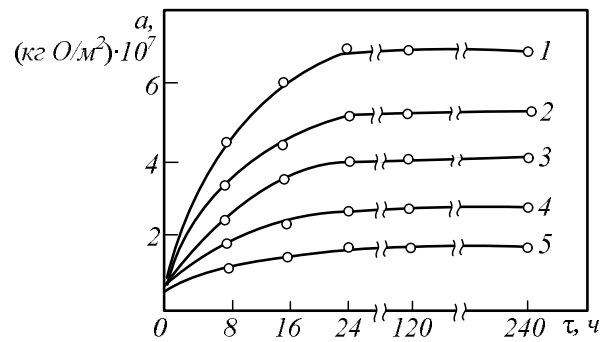


Рис. 2. Изменение окисленности образцов карбонитрида хрома при контакте их с воздухом

углерода происходит в более высокотемпературном интервале ( $873 - 900$  К). Зависимость температуры начала окисления карбонитрида хрома на воздухе от размера частиц описывается уравнением вида

$$T_{\text{ок}} = 6,2 (d_{\text{ч}} - 18)^{0,5} + 529,5 \quad \text{при } F/F_{0,95}(3,10) = 0,331/3,7, \quad (2)$$

где  $T_{\text{ок}}$  – температура начала окисления, К.

При контакте с воздухом происходит интенсивная адсорбция нанокарбонитридом хрома атмосферных газов, в первую очередь паров воды и кислорода, обуславливающая при повышении температуры возможность поверхностного окисления частиц.

Анализ дериватограмм и термохимические расчеты показывают, что температура начала окисления карбонитрида хрома зависит от наноразмера и при изменении размера частиц от 22 до 53 нм возрастает от 542 до 566 К. Взаимодействие нанопорошков карбонитрида хрома с кислородом воздуха протекает в два этапа: окисление карбонитрида в интервале температур от  $542 \div 566$  до  $843 \div 860$  К с образованием оксида и одновременным выделением свободного углерода и сгорание его в интервале температур от  $780 \div 800$  до  $820 \div 840$  К. Следовательно, карбонитрид хрома по термоокислительной устойчивости близок к карбонитридам ванадия (температура начала окисле-

Т а б л и ц а 3

**Характеристики термоокислительной устойчивости нанокарбонитрида хрома**

| Размер* частиц, нм | Температура окисления, К | Состав продуктов окисления |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| 22                 | $(542 - 843) \pm 10$     | $\text{Cr}_2\text{O}_3$    |
| 28                 | $(548 - 847) \pm 10$     | $\text{Cr}_2\text{O}_3$    |
| 32                 | $(554 - 850) \pm 10$     | $\text{Cr}_2\text{O}_3$    |
| 41                 | $(560 - 855) \pm 10$     | $\text{Cr}_2\text{O}_3$    |
| 53                 | $(566 - 860) \pm 10$     | $\text{Cr}_2\text{O}_3$    |

\* Рассчитан по величине удельной поверхности.

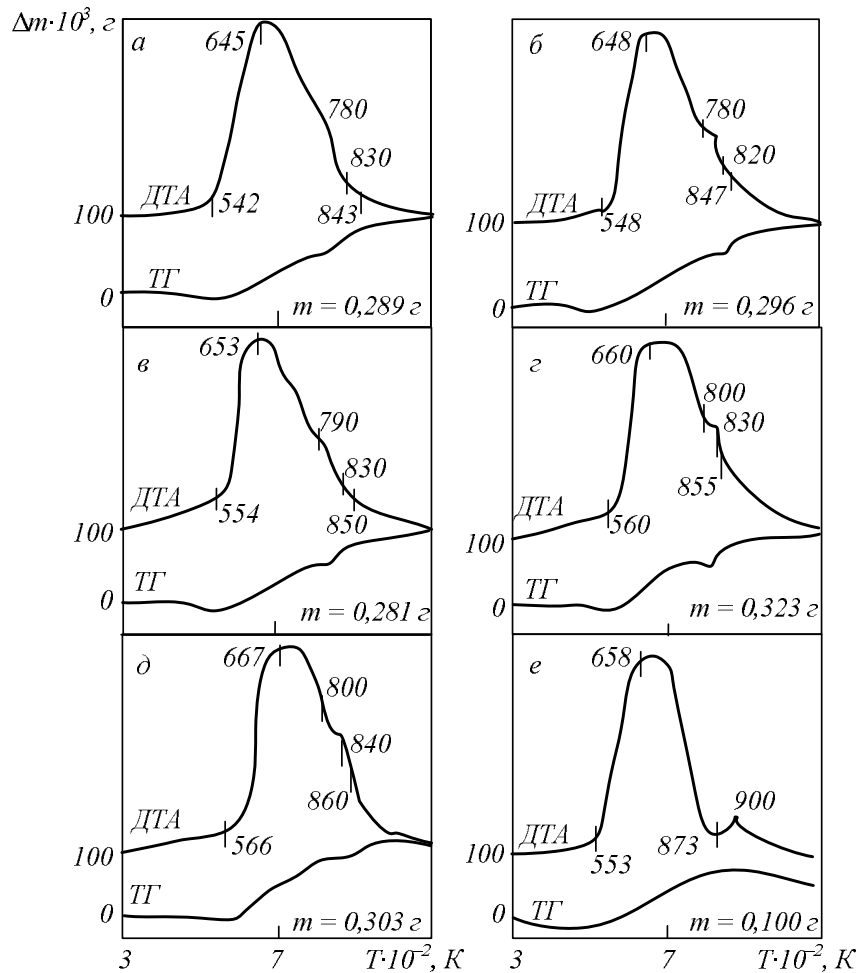


Рис. 3. Дериватограммы нанопорошков карбонитрида хрома с размером частиц 22 (а), 28 (б), 32 (в), 41 (з), 53 (д), 30 (е) нм

ния  $553 \pm 8$  К для частиц размером 45 нм), титана ( $548 \pm 8$  К для 48 нм), циркония ( $560 \pm 8$  К для 49 нм) [6].

Анализ уравнения (2) показывает, что термоокислительная устойчивость нанопорошков карбонитрида изменяется значительно медленнее, чем характеристики их дисперсности. По-видимому, данное свойство карбонитрида хрома определяется факторами, более сложным образом связанными с размером частиц. Таким фактором может быть энергия возбуждения поверхностных атомов, определяемая степенью искажения кристаллических решеток при переходе на нануровень.

**Выводы.** Проведено исследование окисленности и термоокислительной устойчивости нанокарбонитрида хрома. Установлено, что при хранении на воздухе нанокарбонитрид хрома адсорбирует кислород и влагу. Значительное повышение окисленности карбонитрида хрома происходит в первые 24 ч. При этом зависимость окисленности  $a$  от размера карбонитридных частиц  $d_{\text{ч}}$  описывается уравнением вида  $a = 90 (d_{\text{ч}} - 3,3)^{-0,68} + 2,25$ . При

увеличении размера частиц от 22 до 53 нм окисленность изменяется от  $14,55 \cdot 10^{-7}$  до  $8,62 \cdot 10^{-7}$  кг О · м<sup>-2</sup>. Наименьшую сорбционную активность имеет карбонитрид, адсорбирующий на стадии синтеза монооксид углерода. Также установлено, что по термоокислительной устойчивости на воздухе наноразмерный карбонитрид хрома близок к карбонитридам ванадия, титана и циркония того же нануровня. Температура начала его окисления зависит от нануровня. Эта зависимость описывается уравнением вида  $T_{\text{ок}} = 6,2 (d_{\text{ч}} - 18)^{0,5} + 529,5$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руднева В.В. Исследование сорбционной активности ультрадисперсных порошков тугоплавких соединений в воздушной среде // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. № 5. С. 16 – 19.
2. Ноздрин И.В., Ширяева Л.С., Руднева В.В. Плазменный синтез и физико-химическая аттестация нанокарбо-

- нитрида хрома // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 3 – 8
3. Н о з д р и н И.В., Г а л е в с к и й Г.В., Р у д н е в а В.В. Исследование изменения химического состава бориды хрома при рафинировании, хранении и нагревании на воздухе // Изв. вуз. Черная металлургия. 2013. № 10. С. 3 – 10.
  4. Р у д н е в а В.В. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. Дополнительный том. Плазменный синтез и компактирование нанокарбида кремния. – М.: Флинта: Наука, 2011. – 241 с.
  5. Ш и р я е в а Л.С. Разработка научных и технологических основ плазмометаллургического производства карбида хрома: автореф. дис. к.т.н. – Новокузнецк, 2013.– 20 с.
  6. Р у д н е в а В.В., Г а л е в с к и й Г.В. Термоокислительная устойчивость нанопорошков тугоплавких карбидов и боридов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2007. № 4. С. 20 – 24.
- © 2014 г. Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин,  
Г.В. Галевский, В.В. Руднева  
Поступила 20 февраля 2014 г.

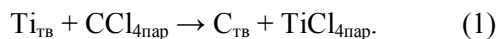
УДК 620.193.4/5

**В.Ф. Горюшкин, Ю.В. Бендре, С.А. Зенцова, А.Ю. Гагарин**

Сибирский государственный индустриальный университет

### МЕХАНИЗМ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 В ТЕТРАХЛОРИДЕ УГЛЕРОДА

Ранее в работе [1] были изучены механизм и кинетика газовой коррозии технически чистого титана марки ВТ1-0 в атмосфере тетрахлорида углерода и интервале температуры 573 – 773 К. Методом химических реакций в сочетании с рентгенофазовым анализом установлено, что при 673 К и выше металл при коррозии переходит в газовую фазу в составе тетрахлорида титана с постоянной скоростью при изотермической выдержке, а на образце образуется пористая незащитная пленка аморфного углерода:



По результатам ряда параллельных гравиметрических измерений определили кинетические параметры реакции (1), которую можно рассматривать и как реакцию хлорирования титана тетрахлоридом углерода.

Между тем, в промышленности широко используется не технически чистый титан, а его сплавы [2]. Пожалуй, наибольшее значение имеет сплав ВТ6 (IMI 318), который относится к числу первых отечественных конструкцион-

ных свариваемых титановых сплавов. По фазовому составу этот сплав относится к двухфазным  $\alpha + \beta$  сплавам мартенситного класса с небольшим количеством  $\beta$ -фазы, наличие которой обуславливает их способность к упрочняющей термической обработке.

Настоящая работа посвящена изучению механизма и кинетики газовой коррозии сплава ВТ6 в атмосфере тетрахлорида углерода.

#### Экспериментальная часть

**Вещества и аппаратура.** Как и в работе [1], использовали цилиндрические образцы диам. 19 – 20 и толщиной 1 – 4 мм сплава ВТ6 двух партий. Результаты рентгеноспектрального анализа\* образцов сплава приведены ниже (последовательный рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр Shimadzu XRF-1800):

| Партия | Массовая доля элементов, % |      |    |       |      |       |      |
|--------|----------------------------|------|----|-------|------|-------|------|
|        | Ti                         | Al   | V  | Si    | Fe   | Ni    | Cr   |
| 1      | 93,14                      | 6,21 | Да | 0,055 | 0,11 | 0,027 | 0,46 |
| 2      | 92,77                      | 6,73 | Да | 0,031 | 0,11 | 0,026 | 0,24 |

\* Рентгеноспектральный анализ образцов выполнила зав. ЛЭКИМО СибГИУ Н.А. Кривогузова.

Поверхность металла шлифовали на наждачной бумаге 25 Н (ГОСТ 13344 – 79). В качестве хлорагента применили тетрахлорид углерода «ХЧ» (содержание примесей менее 0,01 %). Согласно справочным данным [3], жидкий (при обычных условиях) тетрахлорид углерода  $CCl_4$  кипит при 350 К, а затем разлагается в интервале температур 673 – 773 К:



Для осуществления взаимодействия металла с хлорагентом использовали установку [4], которая была первоначально разработана для синтеза хлоридов лантаноидов.

**Методика экспериментов.** Испытания проводили в изотермических условиях при двух температурах: 673 и 773 К по такой же методике, как и в работе [1]. При этом в центре кварцевой лодочки всегда размещали по четыре образца (см. позицию *a* рисунка). Во всех опытах выдержка образцов в печи составляла 4 ч при непрерывном и контролируемом по скорости потоке паров  $CCl_4$  (вектор потока паров показан на рисунке). В каждом опыте измеряли следующие параметры: линейные размеры и массу образцов до опыта; температуру реактора и время выдержки образцов в реакторе; массу образцов после извлечения из реактора; массу и линейные размеры образцов после механического удаления с их поверхности пленки углерода (механическое удаление – легкая, без особых усилий, очистка поверхности хирургическим скальпелем и лезвием опасной бритвы).

### Результаты и их обсуждение

Во внешнем виде образцов сплава ВТ6 после испытаний (образцы покрыты слоем твердого углерода, легко отделяющимся от поверхности металла) и в других проявлениях реакции (молочно-белый густой дым при от-

крывании пробки реактора для извлечения образцов после изотермической выдержки) не наблюдали отличий от опытных образцов титана ВТ1-0. Результаты газовой коррозии сплава ВТ6 в тетрахлориде углерода при двух температурах 673 и 773 К приведены в таблице. В опытах 1 использовали образцы от первой партии, в остальных опытах – от второй. При этом от второй партии в ряде последовательных опытов применяли одни и те же образцы, которые после каждого опыта зачищали вновь по единой методике. Но расположение образцов в лодочке при этом по отношению к вектору потока  $CCl_4$  в каждом опыте изменялось случайным образом. По данным таблицы рассчитывали массовый показатель коррозии ( $K_m^-$ ) по формуле

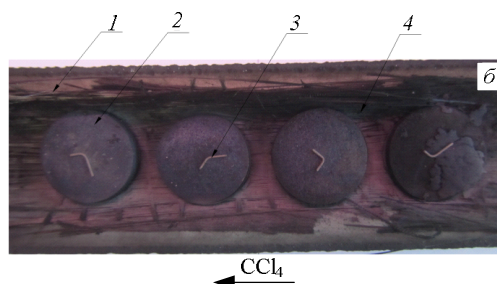
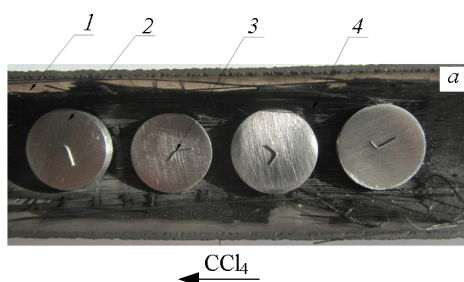
$$K_m^- = \frac{\Delta m}{St}, \quad (3)$$

где  $\Delta m$  – изменение массы образца, г;  $S$  – площадь поверхности образца,  $мм^2$ ;  $t$  – время коррозии, ч.

Величины  $K_m^-$  образцов также приведены в таблице. Их среднеарифметические значения и доверительные интервалы соответственно составили:  $K_m^-(673 \text{ К}) = (4,6 \pm 0,6) \cdot 10^{-5} \text{ г}/(мм^2 \cdot \text{ч})$  ( $P = 0,95; f = 22$ );  $K_m^-(773 \text{ К}) = (9,4 \pm 2,7) \cdot 10^{-5} \text{ г}/(мм^2 \cdot \text{ч})$  ( $P = 0,95; f = 17$ ).

Сравнение показателей коррозии в тетрахлориде углерода образцов ВТ6 (настоящая работа) и титана ВТ1-0 [1] показывает, что они совпадают в области доверительных интервалов, причем при более низкой температуре 673 К данные отличаются лучшей воспроизводимостью.

Совпадение данных для технически чистого титана ВТ1-0 [1] и сплава ВТ6 определяет возможность обработать полученные результаты



Образцы титанового сплава ВТ6 перед помещением лодочки в реактор (*a*) и после коррозии в потоке  $CCl_4$  при 673 К (*б*): 1 – кварцевая лодочка; 2 – образцы металла; 3 – нихромовая проволока; 4 – подложка из углеродного волокна; стрелками показан вектор потока паров  $CCl_4$

## Результаты газовой коррозии титанового сплава ВТ6 в тетрахлориде углерода

| Опыт      | Номер образца | $m$ , г | $S$ , мм <sup>2</sup> | $\Delta m$ , г | $K_m^- \cdot 10^5$ , г/(мм <sup>2</sup> ·ч) |
|-----------|---------------|---------|-----------------------|----------------|---|
| При 673 К |               |         |                       |                |   |
| 1         | 1             | 1,7037  | 448,0                 | -0,1435        | 8,01  |
|           | 2             | 1,5822  | 431,2                 | -0,1198        | 6,94  |
|           | 3             | 1,3236  | 423,2                 | -0,1055        | 6,23  |
| 2         | 1             | 5,5624  | 887,3                 | -0,1397        | 3,94  |
|           | 2             | 5,5748  | 886,0                 | -0,1609        | 4,54  |
|           | 3             | 6,4616  | 916,2                 | -0,1936        | 5,28  |
|           | 4             | 4,4058  | 798,8                 | -0,2104        | 6,58  |
| 3         | 1             | 5,3921  | 869,7                 | -0,2162        | 6,21  |
|           | 2             | 5,3771  | 858,5                 | -0,1596        | 4,65  |
|           | 3             | 6,2249  | 895,5                 | -0,1331        | 3,72  |
|           | 4             | 4,1585  | 775,6                 | -0,0987        | 3,18  |
| 4         | 1             | 3,2924  | 699,1                 | -0,0877        | 3,14  |
|           | 2             | 3,5745  | 716,9                 | -0,0784        | 2,73  |
|           | 3             | 4,4570  | 754,0                 | -0,1359        | 4,51  |
|           | 4             | 2,3637  | 613,8                 | -0,0862        | 3,51  |
| 5         | 1             | 2,9385  | 661,7                 | -0,1441        | 5,44  |
|           | 2             | 3,1649  | 685,3                 | -0,1131        | 4,12  |
|           | 3             | 3,9704  | 715,5                 | -0,0692        | 2,42  |
|           | 4             | 1,9856  | 587,6                 | -0,0787        | 3,35  |
| 6         | 1             | 2,7743  | 652,8                 | -0,0984        | 3,77  |
|           | 2             | 3,0315  | 670,2                 | -0,0840        | 3,13  |
|           | 3             | 3,8721  | 712,2                 | -0,1574        | 5,53  |
|           | 4             | 1,8921  | 567,4                 | -0,1088        | 4,79  |
| При 773 К |               |         |                       |                |   |
| 1         | 1             | 1,5771  | 430,6                 | -0,2006        | 11,65                                       |
|           | 2             | 1,5636  | 427,5                 | -0,1577        | 9,22  |
|           | 3             | 1,7741  | 460,8                 | -0,1243        | 6,74  |
| 2         | 1             | 6,5414  | 946,6                 | -0,4706        | 12,43                                       |
|           | 2             | 6,6770  | 960,1                 | -0,6104        | 15,89                                       |
|           | 3             | 7,9124  | 1012,6                | -0,9198        | 22,71                                       |
| 3         | 1             | 5,8610  | 912,7                 | -0,2202        | 6,03  |
|           | 2             | 5,8394  | 904,3                 | -0,1742        | 4,82  |
|           | 3             | 6,7366  | 939,6                 | -0,1775        | 4,72  |
|           | 4             | 4,8208  | 833,3                 | -0,3398        | 10,19                                       |
| 4         | 1             | 5,1435  | 845,6                 | -0,1271        | 3,76  |
|           | 2             | 5,1988  | 851,7                 | -0,1644        | 4,82  |
|           | 3             | 6,0636  | 881,6                 | -0,2687        | 7,62  |
|           | 4             | 4,0322  | 766,1                 | -0,5062        | 16,52                                       |
| 5         | 1             | 4,9775  | 832,1                 | -0,5087        | 15,28                                       |
|           | 2             | 4,9865  | 827,8                 | -0,2570        | 7,76  |
|           | 3             | 5,5762  | 858,4                 | -0,1113        | 3,24  |
|           | 4             | 3,4868  | 723,7                 | -0,1425        | 4,92  |

как одну совокупность равнозначных измерений. В результате совместной обработки получили:  $K_m^-(673 \text{ К}) = (4,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-5} \text{ г/(мм}^2 \cdot \text{ч)}$  ( $P = 0,95$ ;  $f = 30$ );  $K_m^-(773 \text{ К}) = (8,9 \pm 1,6) \cdot 10^{-5} \text{ г/(мм}^2 \cdot \text{ч)}$  ( $P = 0,95$ ;  $f = 28$ ). Эти значения относятся как к титану ВТ1-0, так и к титановому сплаву ВТ6.

Кажущуюся энергию активации сложной гетерогенной реакции (1) после совместной обработки данных оценивали по уравнению

$$E_a = \frac{R \ln[(K_m^-(773 \text{ К}) / K_m^-(673 \text{ К}))]}{1/673 - 1/773}, \quad (4)$$

где  $E_a$  – кажущаяся энергия активации, Дж/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $K_m^-(673 \text{ К})$  и  $K_m^-(773 \text{ К})$  – массовые показатели коррозии при температурах 673 и 773 К соответственно.

Кажущаяся энергия активации реакции (1), рассчитанная по выражению (4), составила  $E_a = 30 \pm 5 \text{ кДж/моль}$ . Погрешность оценивали

с учетом средней для двух температур относительной ошибки при определении массового показателя коррозии.

В работе [1] уже было отмечено, что твердый углерод в опытах образуется только на поверхности титана (как результат реакции (1)), ни на поверхности кварцевой лодочки, ни на поверхности специально помещенного в лодочку углеродного волокна его нет, хотя температура изотермической выдержки равнялась справочной температуре начала разложения тетрахлорида углерода. Оставался не обсужденным вопрос о возможном распаде  $\text{CCl}_4$  на поверхности уже образовавшейся на поверхности металла углеродной пленки и последующей диффузии через углерод к металлу уже не молекул  $\text{CCl}_4$ , а молекул  $\text{Cl}_2$ , что фактически изменило бы механизм реакции.

Для ответа на этот вопрос в нескольких опытах на поверхность металлических образцов помещали тонкие проволочки из нихрома diam. 0,3 мм, которые служили своеобразной нейтральной меткой (см. позицию *a* рисунка). После опытов (позиция *b* рисунка) нихромовые проволочки неизменно оказывались на поверхности образовавшегося углерода, а не между металлом и углеродом. Такое расположение свидетельствует о том, что зона роста углеродной пленки находится на границе раздела металл – углерод, а через саму пленку осуществляется диффузия молекул  $\text{CCl}_4$ . В этом случае принято отмечать, что пленка твердых продуктов гетерогенной реакции на поверхности «растет внутрь».

**Выводы.** Гравиметрическим методом изучены механизм и скорость коррозии титанового сплава ВТ6 в потоке тетрахлорида углерода при температурах 673 и 773 К. Установлено, что титан из сплава ВТ6 так же как и чистый титан переходит в газовую фазу в составе тетрахлорида титана с постоянной скоростью, а на поверхности сплава образуется пористая незащитная пленка аморфного углерода, т.е.  $\text{Ti}_{\text{ТВ}} + \text{CCl}_{4\text{пар}} \rightarrow \text{C}_{\text{ТВ}} + \text{TiCl}_{4\text{пар}}$ . Сравнивая показатели коррозии в тетрахлориде углерода об-

разцов ВТ6 (настоящая работа) и титана ВТ1-0 [1], можно констатировать, что их значения совпадают в области доверительных интервалов, и открывается возможность обработать полученные результаты как одну совокупность равнозначных измерений. В результате совместной обработки определили значения  $K_m^-$ , приведенные выше, а также рассчитали значение  $E_a = 30 \pm 5$  кДж/моль. Эти данные относятся как к титану ВТ1-0, так и к титановому сплаву ВТ6. Опытами с размещением на поверхности металлических образцов специальной индифферентной метки установили, что углеродные пленки, образующиеся на титане и его сплаве в результате реакции (1), «растут внутрь» и, следовательно, одной из стадий реакции является диффузия молекул тетрахлорида углерода из ядра газовой фазы к поверхности металла через углеродную пленку.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горюшкин В.Ф., Бендре Ю.В., Тонкушин Я.В., Соскова Н.А., Будовских Е.А. / Газовая коррозия титана в тетрахлориде углерода // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2013. № 1(3). С. 25 – 28.
2. Полмear Я. Легкие сплавы: от традиционных до нанокристаллов. – М.: Техносфера, 2008. – 464 с.
3. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Реакции неорганических веществ: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2007. – 637 с.
4. Пат. 2422365 РФ. МПК С01F 17/00. Устройство для получения безводных хлоридов лантаноидов / Ю.В. Горюшкина, В.И. Ларин, В.Ф. Горюшкин. Заявл. 19.11.2009; опубл. 27.06.11. Бюл. № 18.

© 2014 г. В.Ф. Горюшкин, Ю.В. Бендре, С.А. Зенцова, А.Ю. Гагарин  
Поступила 19 июня 2014 г.

*В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, С.Ф. Киселев, Е.И. Львова, А.А. Линков*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ\*

Опыт разработки, внедрения и эксплуатации сложных промышленных систем автоматизации показывает, что в силу ограничений технического, организационного и временного характера наибольшую работу по отладке системы – наладке аппаратных средств, алгоритмического, программного и информационного обеспечения, обучению производственного (технологического и обслуживающего) персонала необходимо выполнять в период, когда строительство объекта управления еще не закончено и технологические линии находятся в стадии монтажа [1].

Это предопределяет не просто целый ряд требований к функциональной структуре и математическому обеспечению, но и принципы, и методологию построения, проектирования и внедрения систем автоматизации управления, создания инструментального обеспечения исследований, испытаний и отладки системы в целом и отдельных ее компонентов в процессе проектирования, внедрения и эксплуатации. Одним из таких инструментов является специальный исследовательский и испытательно-наладочный комплекс – полигон. Его укрупненная структура представлена на рис. 1.

Испытательно-наладочный полигон выполнен в виде программно-технического стенда, оснащенного современным инструментальным обеспечением процессов разработки, исследования и наладки систем автоматизации, включая методические разработки, алгоритмы, программы и технические средства имитационного моделирования систем автоматизации производственных процессов, специальные пакеты программирования микропроцессорных контроллеров и интегрированные пакеты прикладного программирования систем автоматизации.

Испытательно-наладочный полигон позволяет выполнять следующие задачи:

– тестирование аппаратных средств и базового программного обеспечения, устройств информационной связи компонентов системы автоматизации управления;

– обработку основных технических решений по обмену информацией между компонентами системы автоматизации управления, включая интерфейс с оперативным технологическим персоналом;

– настройку и сравнительную оценку эффективности алгоритмов управления технологическим оборудованием и технологическими процессами;

– испытание, настройку и оптимизацию типовых, а также разного рода специализированных алгоритмов управления;

– обучение технологического персонала и отработку навыков взаимодействия с программно-аппаратными средствами системы.

Решение указанных задач возможно по пути развития и практического использования современных методов имитационного моделирования, представлений теории активных систем, поисковых оптимизационных процедур, планирования эксперимента.

С этих позиций постановка задачи испытания и наладки средств и систем автоматизации в общем виде сделана следующим образом.

**Дано.** 1. Варианты макетов информационного, программного и технического обеспечения управляющей подсистемы управления.

2. Генераторы модельных, натурно-модельных и натуральных данных о функционировании действующих аналогов промышленных комплексов.

3. Объекты управления, реализованные в виде:

– физических объектов той же или другой природы, что и натуральный объект управления;

– натурно-модельных комплексов, объединяющих натурные компоненты с пересчетными математическими моделями;

– математических моделей объектов управления.

\* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательской работы № 2555.



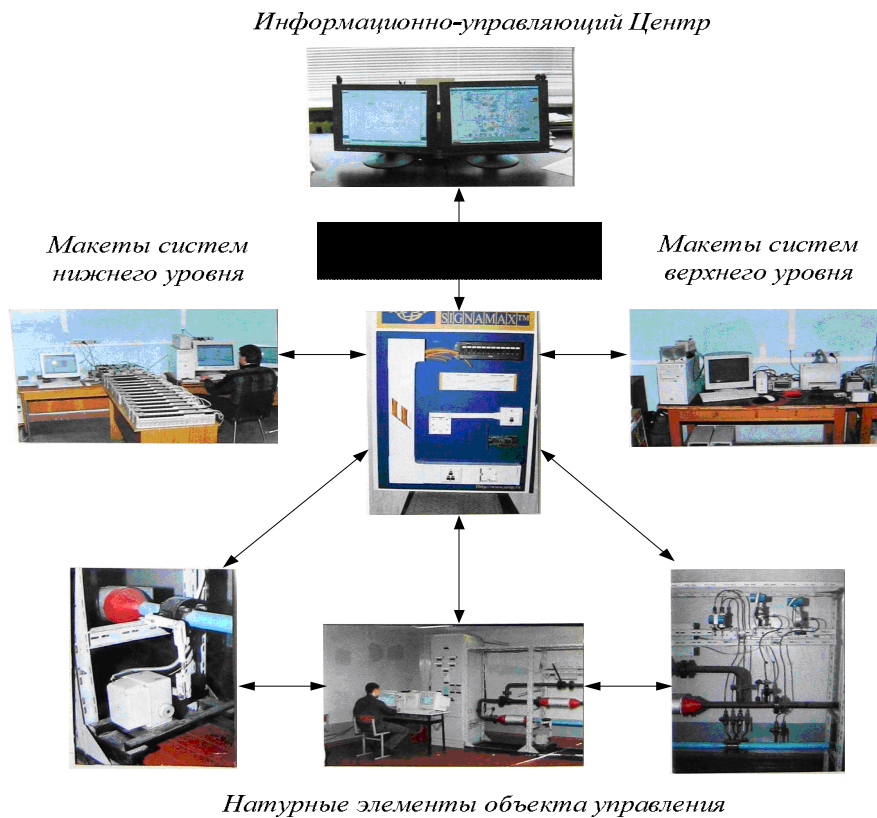


Рис. 1. Укрупненная структура испытательно-наладочного полигона

4. Технические и математические модули интеграции объекта управления и управляющей подсистемы.

5. Модуль управления испытанием и оптимизацией систем управления, обеспечивающий планирование экспериментов, имитационное натурно-математическое моделирование, расчет показателей эффективности, реализацию поисковых процедур, формирование отчетных документов.

**Требуется.** 1. Оценить показатели эффективности вариантов информационного, программного и технического обеспечения управляющих подсистем.

2. Выявить и устранить недостатки вариантов в обеспечении управляющих подсистем.

3. Провести структурную и параметрическую оптимизацию системы управления.

Для адекватного воспроизведения технологических процессов создана физическая (натурная) модель, отражающая практически все особенности производственных объектов. Схема этой модели представлена на рис. 2.

Физическая модель в общем виде представлена математической зависимостью в пространстве состояний:

$$\begin{cases} \dot{X}_j(t) = A_j(t)X_j(t - \tau_{X,j}) + B_j(t)U_j(t - \tau_{U,j}) + \\ + C_j(t)W_j(t - \tau_{W,j}); \\ Y_j(t) = D_j(t)X_j(t - \tau_{Y,j}); Y(t) = Y_j(t) \text{ при } j = J, \end{cases} \quad (1)$$

где  $j = \overline{1, J}$ ,  $J$  – количество относительно автономных модулей установки;  $A_j(t)$ ,  $B_j(t)$ ,  $C_j(t)$ ,  $D_j(t)$  – матрицы соответствующих размерностей;  $X_j(t)$ ,  $U_j(t)$ ,  $W_j(t)$  и  $Y_j(t)$  – векторы переменных состояний, управляющих, внешних и выходных воздействий;  $\tau_X$ ,  $\tau_U$ ,  $\tau_W$ ,  $\tau_Y$  – времена запаздывания по соответствующим каналам.

На физической модели можно реализовать следующие частные объекты:

- объект с управляемым рециклом (с положительной обратной связью), в который входят нагреватель 2, управляемые заслонки 2, 3;

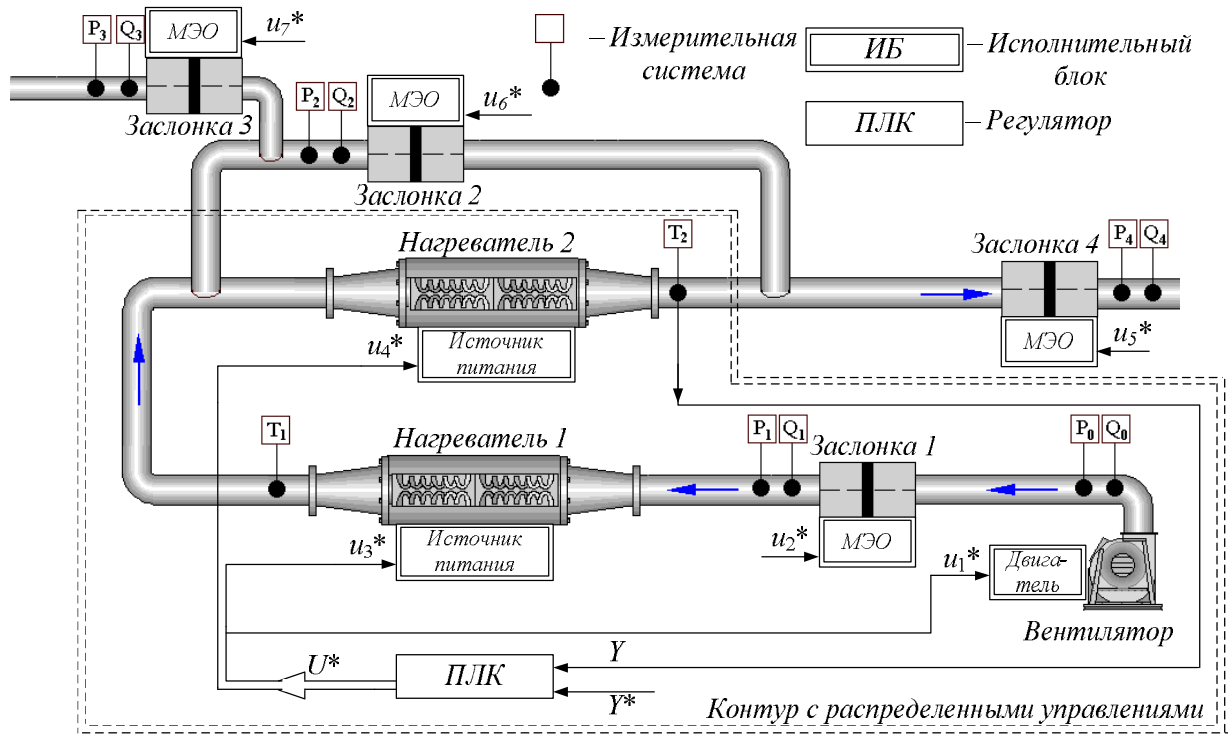
- объект с пятью распределенными управлениями  $\overline{u_1^*; u_5^*}$ ;

- последовательно соединенные инерционные объекты, включающие вентилятор, нагреватель 1 и нагреватель 2;

- объекты с запаздыванием в управлении и измерении в каждом частном объекте.

Изменением положения заслонок 1, 2, 3, 4 моделируются различного рода режимы управления и возмущения.

Для примера рассмотрим контур физической модели с распределенными управлениями, выделенный на рис. 2 двойной штриховой линией.



$U^* = \{u_1^*, u_2^*, u_3^*, u_4^*, u_5^*, u_6^*, u_7^*\}$  – вектор задания управляющих воздействий;  $\{Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, T_1, T_2, P_0, P_1, P_2, P_3, P_4\}$  – вектор измерений;  $Q_i$  и  $P_i$  – расход и давление воздуха после  $i$ -ой заслонки;  $T_i$  – температура после  $i$ -го нагревателя; МЭО – механизм электрический однооборотный

Рис. 2. Структурная схема физической модели

Испытания и исследования локального контура с распределенными управлениями проводились на объекте управления, состоящем из трех элементов физической модели – вентилятора и нагревателей 1, 2. Таким образом, рассматривался объект с тремя управляющими входами  $U^* = \{u_1^*, u_3^*, u_4^*\}$  и одним выходом –  $Y$ .

Целью управления в таком контуре является реализация задания на температуру воздуха на выходе трубопровода (после нагревателя 2) –  $Y^*$  при равномерной нагрузке на вентилятор и нагреватели 1, 2. Реализация алгоритма управления осуществляется в программируемом логическом контроллере (ПЛК) на основании задания на температуру на выходе трубопровода  $Y^*$  и текущих данных о температуре  $Y$  с датчика  $T_2$ .

На основе натурной установки проведены испытания и оптимизация структур и коэффициентов алгоритмов регулирования технологическими процессами:

- нагрева воздуха вентилятора главного проветривания угольной шахты;
- обогащения в отсадочных машинах и тяжелосредних сепараторах обогатительной фабрики;
- управления плотностью рабочей суспензии тяжелосреднего сепаратора обогатительной фабрики.

За счет оптимизации структуры и параметров алгоритмов повышена точность регулирования на 10 – 20 % по среднемодульному критерию.

Для исследования и оптимизации в целом промышленных комплексов только таких установок не достаточно. В этом случае необходимо применение имитационного натурноматематического моделирования, сущность которого описана в работах [2, 3]. Натурные данные для такого имитационного моделирования и пересчетные математические модели брали с аналогов – уже реализованных промышленных комплексов с выделением типопредставительных (наиболее характерных) участков функционирования этих комплексов.

Физическая модель и натурноматематическое моделирование служат наиболее важными компонентами испытательно-наладочного полигона, на котором реализуется макет промышленного комплекса с элементами информационных связей, технических средств и программного обеспечения.

В процессе испытаний и пуско-наладочных работ выявлялись ошибки и возможные недоработки алгоритмов управления функционированием отдельных агрегатов, системные и случайные ошибки программирования алгоритмов, ошибки в реализации обмена данными

### Временные затраты и статистика обнаруженных ошибок при испытании и пуско-наладке средств и систем автоматизации на полигоне и на промышленной площадке

| <i>Показатели при испытании и пуско-наладке на полигоне</i>   | <i>Значение показателя</i> |
|---|----------------------------|
| Ошибки в локальных системах управления (количество ошибок / количество алгоритмов)                                      | 55/324                     |
| Ошибки при комплексной пуско-наладке системы автоматизации управления (количество ошибок / количество инструкций)       | 18/4520                    |
| Ошибки при комплексной пуско-наладке диспетчерской системы (количество ошибок / количество точек базы данных)           | 45/7540                    |
| Время испытания и пуско-наладки, ч  | 1000                       |
| Количество ошибок, %  | 75                         |
| <i>Показатели при испытании и пуско-наладке на промышленной площадке</i>  |                            |
| Ошибки подключения электрических цепей (количество ошибок / количество сигнальных подключений)                          | 20/2500                    |
| Ошибки, выявленные при тестировании программ управления локальных агрегатов (количество ошибок / количество алгоритмов) | 10/324                     |
| Ошибки, выявленные при проверке работы технологического комплекса (количество ошибок / количество алгоритмов)           | 9/118                      |
| Время испытания и пуско-наладки, ч  | 20                         |
| Количество ошибок, %  | 25                         |

между удаленными частями системы автоматизации управления. Последующая наладка систем уже осуществлялась на промышленной площадке после реализации средств и систем автоматизации.

Пример показателей при испытании и пуско-наладке средств и систем автоматизации управления обогатительной фабрики на полигоне и на промышленной площадке приведен в таблице.

**Выводы.** Проведение испытаний и наладки средств и систем автоматизации на полигонном комплексе позволило практически на порядок минимизировать трудозатраты и сроки выполнения пуско-наладочных работ на промышленном объекте (на промышленной площадке). Отладка систем автоматизации на полигоне позволяет осуществить их опережающую реализацию еще до проведения пуско-наладочных работ на технологических агрегатах. Эта опережающая реализация систем, по крайней мере, их информационной части с обеспечением основных технологических блокировок дает возможность уменьшить время наладки основного и вспомогательного технологического оборудования не менее чем на 15 – 20 %. Применение технологических блокировок обеспечивает сохранность оборудования

и повышает безопасность выполняемых пуско-наладочных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грачев В.В. Методы и алгоритмы планирования, разработки и внедрения автоматизированных технологических комплексов (на примере углеобогатительных фабрик): Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новокузнецк, СибГИУ, 2009. – 17 с.
2. Натурно-математическое моделирование в системах управления. Учебное пособие / В.П. Авдеев, С.Р. Зельцер, В.Я. Карташов и др. – Кемерово: изд. КемГУ, 1987. – 84 с.
3. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х томах. Т. 2. Системы автоматизации производственного назначения / Под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.

© 2014 г. В.В. Грачев, Л.П. Мышляев,  
В.Ф. Евтушенко, С.Ф. Киселев,  
Е.И. Львова, А.А. Линков  
Поступила 20 февраля 2014 г.

И.А. Рыбенко

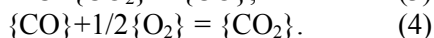
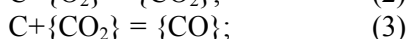
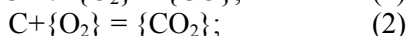
Сибирский государственный индустриальный университет

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

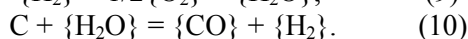
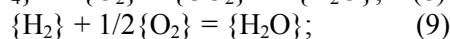
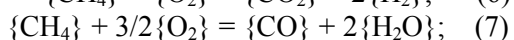
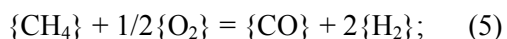
С целью выявления возможности реализации различных процессов в технологическом агрегате разработана методика расчета, исследования и оптимизации [1] процессов в элементарных системах с использованием программного комплекса «Терра» [2], с применением которой были проведены термодинамические исследования для ряда систем [3 – 5].

Поскольку углерод является основной составляющей любого вида твердого или жидкого топлива, а водород – газообразного топлива и летучих компонентов, исследование условий горения топлива осуществлялось на модельных системах С – О и С – О – Н.

Предполагается, что в модельной системе С – О протекают следующие реакции:



В модельной системе С – О – Н, кроме реакций (1) – (4), в зависимости от количества кислорода могут протекать реакции полного и неполного горения метана ( $\text{CH}_4$ ), горения монооксида углерода ( $\text{CO}$ ) и водорода ( $\text{H}_2$ ) и взаимодействия углерода с водяным паром:



При моделировании были рассмотрены задачи определения возможных составов и температур, которые могут получаться в результате протекания процессов горения при различных соотношениях содержания углерода, водорода и кислорода. Для этого модельные системы с поэлементным составом С – О или С – О – Н формировались путем задания исходного состава смеси в числах молей. Количество молей углерода, метана и кислорода варьировалось соответственно параметрами  $n$ ,  $k$  и  $m$ .

Для задания окислительно-восстановительного состава системы по входным параметрам использовались следующие показатели:

$\alpha = m/k$  – степень конверсии природного газа, определяемая как отношение количества молей  $m$  газообразного кислорода к количеству молей  $k$  углерода метана;

$\alpha^* = m/(n + k)$  – окислительный потенциал системы, определяемый как отношение количества молей газообразного кислорода к общему количеству молей углерода ( $n + k$ ), подаваемого в систему;

$$Z = \frac{\{\text{CO}\} + \{\text{H}_2\}}{\{\text{CO}\} + \{\text{H}_2\} + \{\text{CO}_2\} + \{\text{H}_2\text{O}\}} - \text{восста-}$$

новительный потенциал газовой фазы, равный отношению суммы концентраций  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  к суммарному содержанию всех компонентов газовой фазы.

Перечень веществ, которые могут образовываться при взаимодействии указанных элементов, был определен с использованием программного комплекса «Тера» в результате термодинамического анализа протекающих процессов в теоретически возможном интервале температур горения.

При исследовании термодинамических условий горения углерода в системе  $n\text{C} + m\text{O}_2$  значение параметра  $n$  было задано равным единице, а количество молей кислорода варьировали параметром  $m$  в диапазоне  $0 \div 1$ , что при  $m = 1$  соответствует по стехиометрии полному горению углерода до  $\text{CO}_2$ . При этом использовался показатель  $\alpha$ , численное значение которого при  $n = 1$  совпадает со значением параметра  $m$ . На рис. 1 приведены зависимости составов и температур  $t$  продуктов сгорания углерода, а также мольной доли монооксида углерода ( $X_{\{\text{CO}\}}$ ) от показателя  $\alpha$ , из которых следует, что при значениях  $\alpha < 0,4$  происходит горение углерода до  $\text{CO}$  по реакции (1). При  $\alpha > 0,4$  в связи с развитием реакции (2) в системе появляется  $\text{CO}_2$ . Температура при увеличении количества кислорода возрастает до значений порядка  $3000^\circ\text{C}$  и при  $\alpha > 0,4$  стабилизируется. При  $\alpha > 0,6$  в газовой фазе начинает появляться свободный кислород. Величина показателя

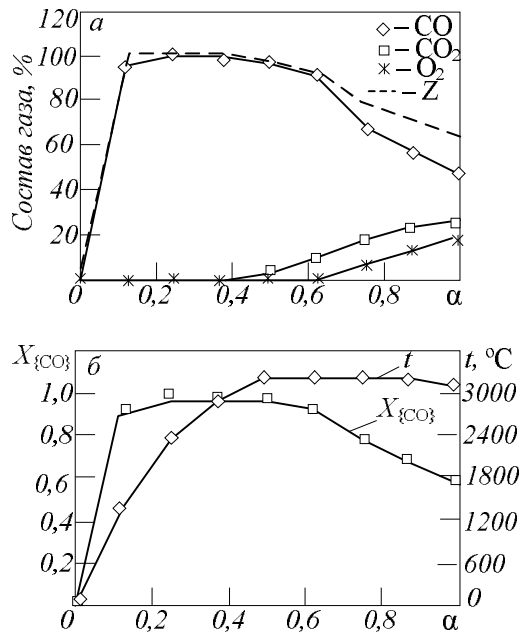


Рис. 1. Зависимости состава (а) и температуры (б) продуктов сгорания углерода в системе  $nC + mO_2$  от показателя  $\alpha$

теля  $Z$  при низких значениях  $\alpha$  составляет 100 %, а при появлении в системе  $CO_2$  уменьшается до 65 %.

Исследование термодинамических условий горения газообразного топлива осуществлялось на модельной системе  $kCH_4 + mO_2$ . Значение параметра  $k$  было задано равным единице, а количество кислорода варьировали параметром  $m$  в диапазоне  $0 \div 2$ ;  $m = 2$  соответствует полному горению метана. Численное значение степени конверсии  $\alpha$  совпадает с параметром  $m$ . На рис. 2 приведены зависимости составов и температуры продуктов сгорания метана от показателя  $\alpha$ . Из рисунка видно, что в диапазоне  $\alpha = 0 \div 0,5$  при недостатке кислорода происходит неполная кислородная конверсия метана по реакции (5). Компонентами газовой фазы являются метан, монооксид углерода и водород. При  $\alpha > 0,5$  получают развитие реакции (6) – (8), в газовой фазе появляются  $CO_2$  и  $H_2O$ . При  $\alpha > 1$  в системе появляется свободный кислород. Температуры в диапазоне  $\alpha = 0 \div 0,5$  не превышают  $800^\circ C$ , что объясняется низким тепловым эффектом реакции (5); при  $\alpha = 0,5 \div 1,0$  наблюдается рост температуры до значений порядка  $2800^\circ C$  и при  $\alpha > 1$  – ее стабилизация. Значение показателя  $Z = 95\%$  максимально при  $\alpha = 0,5$ , а при изменении параметра  $\alpha$  в пределах от 0,5 до 2,0 значение  $Z$  падает до 37 % из-за увеличения концентраций  $CO_2$  и  $H_2O$  в газовой фазе.

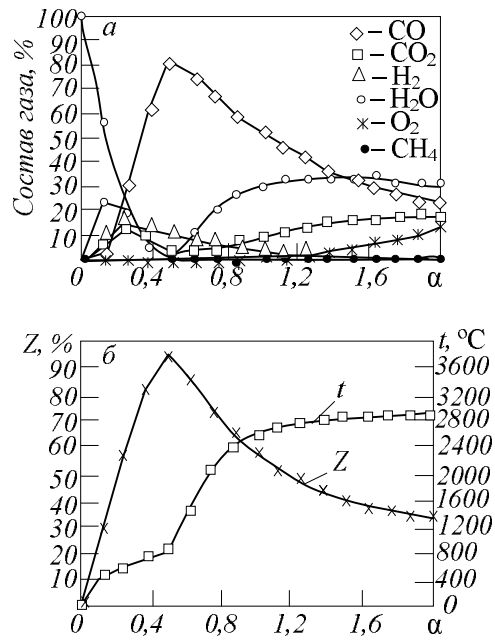


Рис. 2. Зависимости состава (а) и температуры (б) продуктов сгорания метана в системе  $nC + kCH_4 + mO_2$  от показателя  $\alpha$

Исследование термодинамических условий совместного горения твердого и газообразного топлива осуществлялось на модельной системе  $nC + kCH_4 + mO_2$ . Параметры  $n$  и  $k$  приняли равными 0,5, а количество кислорода варьировали соответственно параметром  $m$  в диапазоне  $0 \div 2$ . На рис. 3 приведены зависимости составов и температуры продуктов сгорания метана и углерода от параметра  $\alpha$ . Из рисунка видно, что для процесса горения смешанного топлива характерно смещение влево области неполного горения, которая характеризуется более высоким содержанием  $CO$  в продуктах сгорания, что связано с уменьшением количества метана в исходной смеси и, следовательно, уменьшением абсолютного количества водорода в системе. Этим также объясняется снижение содержания  $H_2O$  и увеличение содержания  $CO_2$  в зоне полного горения топлива, а также более плавный рост температурной кривой. Значение показателя  $Z$  также максимально при  $\alpha^* = 0,5$  и составляет 99,8 %.

**Выводы.** За счет изменения степени конверсии природного газа ( $\alpha$ ) и показателя  $\alpha^*$  можно в широких диапазонах управлять как температурным режимом, так и составом газовой фазы. Максимальная восстановительная способность соответствует диапазону  $\alpha = 0,45 \div 0,55$ , однако при этом имеют место относительно низкие ( $1200 \div 1600^\circ C$ ) температуры продуктов сгорания.

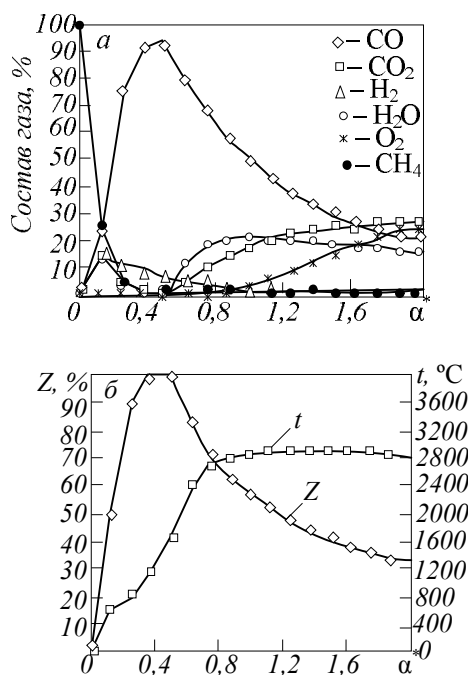


Рис. 3. Зависимости состава (а) и температуры (б) продуктов сгорания углерода и метана в системе  $nC + kCH_4 + mO_2$  от показателя  $\alpha$ \*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбенко И.А. Разработка методики и системы расчета вариантов технологий непрерывного получения металла в агрегатах струйно-эмульсионного типа. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2000. – 23 с.
2. Трусов Б.Г. / Программная система моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 1 (1). С. 21.
3. Голодова М.А., Дмитриенко В.И., Рожихина И.Д., Рыбенко И.А. / Исследование условий и режимов процесса восстановления ванадия в элементарных системах // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 4. С. 7 – 11.
4. Рыбенко И.А., Кожемяченко В.И., Красноперов С.Ю. / Моделирование условий и режимов восстановления железа в элементарной системе Fe – C – O // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. Материалы 3-ей науч.-практ. конф. – Ульяновск: SIMJET, 2014. С. 339 – 343.
5. Дмитриенко В.И., Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Рыбенко И.А. / Термодинамическая оценка возможности легирования стали при обработке ее ванадийсодержащим шлаком // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 17 – 20.

© 2014 г. И.А. Рыбенко  
Поступила 16 июня 2014 г.

*А.С. Водолеев<sup>1</sup>, Е.С. Черданцева<sup>2</sup>, И.А. Куренский<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>2</sup>Торгово-экономический техникум

<sup>3</sup>НФИ Кемеровский государственный университет

## ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Наибольшую экологическую опасность в области землепользования создает, наряду с добычей полезных ископаемых, формирование промышленных отвалов и хвостохранилищ. Кузбасс занимает одно из первых мест в России по количеству образующихся промышленных отходов. При хранении последних в хвостохранилищах создается опасность возникновения техногенных аварий и повреждений, которые могут привести к катастрофическим последствиям регионального масштаба. Под действием внешних факторов (выветривания, вымывания) частицы отходов с высоким содержанием токсичных веществ, в том числе тяжелых металлов, вызывают загрязнения плодородного слоя почвы, водных ресурсов, приземных слоев атмосферы, что в свою очередь оказывает прямое влияние на здоровье населения прилегающих районов.

В настоящее время загрязнение почв экосистем промышленными отходами приняло глобальный характер. Поступление их в больших количествах в почву в первую очередь влияет на ее биологические свойства: снижается численность ассоциативных группировок микробиоты, погибают беспозвоночные животные сапротрофного яруса, в котором происходит потребление и разложение органических остатков. В загрязненных почвах наряду с микроорганизмами гибнут такие ценные индикаторы содержания гумуса и рН почвы, как дождевые черви.

Самозаращение большинства промышленных отвалов невозможно вследствие неблагоприятных свойств содержащихся в них материалов, токсичности поверхностных слоев по отношению к растениям, отсутствия органического вещества и т.д. Поэтому для создания корнеобитаемого слоя с благоприятными почвенно-экологическими свойствами и для сокращения затрат возможно проведение рекультивационных мероприятий с применением почвоулучшителей, в частности осадков сточных вод

(ОСВ) и внесения микробиологических препаратов [1, 2].

Рекультивация нарушенных земель – это комплекс работ, направленный на восстановление продуктивности, хозяйственной ценности и улучшение условий окружающей среды для сельскохозяйственных, лесохозяйственных, строительных, рекреационных, природоохранных и санитарно-оздоровительных целей [3].

К объектам исследования отнесены: отходы железорудного обогащения хвостохранилища Абагурской аглофабрики, угольные отходы Байдаевского разреза и золошлаковые отходы Томь-Усинской ГРЭС. Органической составляющей для проведения биологической рекультивации на вышеуказанных территориях использовались осадки сточных вод городских очистных сооружений г. Новокузнецка. Растительным материалом служили клоны тополей, полученные черенкованием из Ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск), бобово-злаковая смесь, состоящая из клевера гибридного и костреца безостого. Источником почвенных микроорганизмов явилось микробиологическое удобрение «БакСиб», содержащее спорообразующие бактерии рода *Bacillus* (*Bac. subtilis*, *Bac. megaterium*, *Bac. cereus*), вносимое на указанные выше промышленные площадки в сухом виде.

В работе был использован аппликационный метод изучения целлюлозоразрушающей активности почвенной микрофлоры с использованием хлопчатобумажной ткани. Для выявления протеолитической активности использовались стандартные пластинки с желатином. Присутствие почвенных водорослей фиксировали по методике Н.Г. Холодного. Влажность органоминерального субстрата определяли весовым методом.

Проведение полевых опытов по использованию черенков клонированных тополей показало высокую эффективность применения ОСВ совместно с бактериальным препаратом

«БакСиб». Выживаемость высаженных черенков этих растений варьировалась от 70 до 90 %. Наибольшая их жизнеспособность наблюдалась на опытных площадках хвостохранилища Абагурской аглофабрики, а наименьшая – на золоотвалах Томь-Усинской ГРЭС.

Биологическая активность характеризует жизнедеятельность микроорганизмов, имеющих протеолитические ферменты и поэтому способных использовать в качестве субстрата белки и пептиды, гидролизуя их до аминокислот. В эту группу входят клостридии *Cl. putrificum*, *Cl. histolyticum*, *Cl. sporogenes* и другие сапрофитные виды, а также ряд патогенных форм. Уровень протеолитической ферментативной активности органоминерального субстрата (субстрат + ОСВ) имеет максимальное значение 70,5 % в полевых опытах с многолетними травами на золоотвалах Томь-Усинской ГРЭС, 62,2 % на Байдаевском разрезе и 59,4 % на хвостохранилище Абагурской аглофабрики; для черенков тополей этот показатель составил 46,1, 45,5 и 50,9 % соответственно.

Уровень целлюлозоразрушающей активности органоминерального субстрата на золоотвалах Томь-Усинской ГРЭС в полевых опытах с многолетними травами составил 29,3 % по сравнению с таковым (1,9 %) черенков тополей. Активность этого фермента при внесении осадков сточных вод на хвостохранилище Абагурской аглофабрики в полевых опытах с многолетними травами составила 6,5 % по сравнению с таковой (20,0 %) черенков тополей; на угольных отвалах Байдаевского разреза – это 30,0 и 10,6 % соответственно.

Показатель влажности на органоминеральном субстрате (субстрат + ОСВ) имеет максимальное значение на угольных отвалах Байдаевского разреза в полевых опытах с многолетними травами, который составил 19,8 %, у черенков тополей этот показатель 9,1 %; показатель влажности на органоминеральном субстрате хвостохранилища Абагурской аглофабрики в полевых опытах с многолетними травами составил 14,7 %, а для черенков тополей – 5,3 %; на золоотвалах с использованием осадков сточных вод (субстрат + ОСВ) Томь-Усинской ГРЭС имеем 10,0 и 5,1 % соответственно. Эти данные позволяют сделать вывод об эффективности использования бактериального препарата «БакСиб», используемого для обезвреживания и переработки промышленных отходов и бобово-злаковой смеси, которая задерживает влагу в исследуемых субстратах. А микрофлора внесенных ОСВ в минеральный субстрат отходов обеспечивает благоприятные условия корневого питания выращиваемых

высших растений. Об этом свидетельствуют результаты о ферментативной активности рекультивированных участков техногенных территорий с использованием ОСВ.

Анализ обрастания стекол показал широкий спектр почвенных водорослей, например в органоминеральном субстрате (субстрат + ОСВ) Томь-Усинской ГРЭС в полевых опытах с многолетними травами встречаются водоросли родов *Actinochloris sphaerica*, *Navicula mutica* (слабое увлажнение субстрата), а в опытах с черенками тополей – *Anabaena variabilis*. В отходах хвостохранилища Абагурской аглофабрики в варианте с многолетними травами зафиксированы водоросли родов: *Actinochloris sphaerica*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Navicula pelliculosa*, *Microcoleus vaginatus*, *Phormidium autumnale* (среднее увлажнение субстрата, «цветение» почв), а в опытах с черенками тополей – *Tribonema ulotrichoides*, *Bumilleria sicula*, *Navicula mutica*, *Anabaena sphaerica*, *Cylindrospermum muscicola* (среднее увлажнение субстрата, «цветение» почв). В субстрате Байдаевского разреза в посевах многолетних трав отмечены водоросли родов: *Actinochloris sphaerica*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Navicula pelliculosa* (слабое увлажнение субстрата, «цветение» почв), а в опытах с черенками тополей – *Characiopsis minutissima*, *Navicula mutica*, *Hantzschia amphioxys* («цветение» почв). Показатели влажности субстратов и видовой состав почвенных водорослей находятся в коррелятивной зависимости, а внесение в промышленные отходы ОСВ расширяет их экологическую нишу. Это способствует ускорению почвенных преобразований и заселению высшими растениями.

Загрязнение почв отходами приводит к изменениям в видовом составе почвенных микробоценозов. Происходит значительное уменьшение (на 30 %) видового разнообразия комплекса почвенных миксомицетов семейств *Liceaceae*, *Reticulariaceae*, *Cribrariaceae* и увеличение абсолютного доминирования небольшого числа видов *Fusarium oxysporuni*. Более того, в грибном сообществе загрязненной почвы появляются необычные для нормальных условий, очевидно, устойчивые к отходам миксомицеты классов *Dictyosteliomycetes*, *Protosteliomycetes*, *Myxomycetes*. Часто доминирующими становятся виды миксомицетов, обладающие фитотоксическими свойствами. Это негативным образом отражается на прорастании семян и развитии проростков растений, что значительно затрудняет проведение биологической рекультивации промышленных отходов. Такое же явление характерно для со-



обществ высших организмов в стрессовых условиях. Его результатом может быть снижение устойчивости экологических систем. Возникает опасность уничтожения первичных и формирования нетипичных для естественных почвенно-экологических условий сообществ микроорганизмов под воздействием высоких уровней техногенного загрязнения.

**Выводы.** Применение бактериальных препаратов и осадков сточных вод при рекультивации техногенно нарушенных территорий достаточно эффективно, так как происходит снижение неблагоприятного влияния лимитирующих факторов за счет повышения водообеспеченности и внесения компонентов питания в поверхностный корнеобитаемый слой, в котором функционирует микробный ценоз как один из диагностических критериев оценки экологического состояния почвы и ее плодородия.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 224 с.
2. Водолеев А.С., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю. Почвоулучшители: рекультивационный аспект. – Новосибирск: Наука, 2007. – 148 с.
3. Почвообразование в техногенных ландшафтах / Отв. ред. С.С. Трофимов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 295 с.

© 2014 г. А.С. Водолеев, Е.С. Черданцева,  
И.А. Куренский  
Поступила 20 июня 2014 г.

*В.П. Козлов*

Сибирский государственный индустриальный университет

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ АУДИТОРСКИМ РИСКОМ**

Современный аудит базируется на понятии риска, сущность которого заключается в выявлении зон наибольшего риска в учете и отчетности и, в соответствии с этим, выстраивании стратегии проверки. При этом наибольшее внимание уделяется тем участкам учета, где риск присутствия существенных ошибок в отчетности максимальный.

Этот подход заставляет аудитора изучать риски присутствия существенных искажений в отчетности как на стадии планирования, так и в процессе проведения аудиторских проверок (осуществление аудиторских процедур по существу). Применяемая в настоящее время модель аудиторского риска разработана на основе мнения ученых в области бухгалтерского учета и аудита, нормативной базы и практики аудиторских проверок. Эта модель (рис. 1) представляет схему генерации существенных ошибок в отчетности и, как следствие, появление аудиторских рисков.

Считается, что *внутрихозяйственный (неотъемлемый) риск* генерируется внешними и внутренними факторами, оказывающими влияние на деятельность экономического субъекта (внешняя среда, в которой функционирует организация; страна, в которой находится экономический субъект; налоговая система; политика собственников и руководства; состояние системы бухгалтерского учета, которая может допускать существенные ошибки в ходе подготовки отчетности).

В свою очередь *риск средств контроля* возможен в результате пропуска существенных ошибок системой внутреннего контроля, которая создается в организации для своевременного выявления и предотвращения существенных ошибок в отчетности организаций. Основными составляющими системы внутреннего контроля принято считать контрольную среду, средства контроля, информационную систему, связанную с подготовкой отчетности [1].

*Риск необнаружения* – это вероятность того, что аудиторские процедуры, которые аудитор применяет в ходе проверки, не могут обнаружить существенных нарушений в отчет-

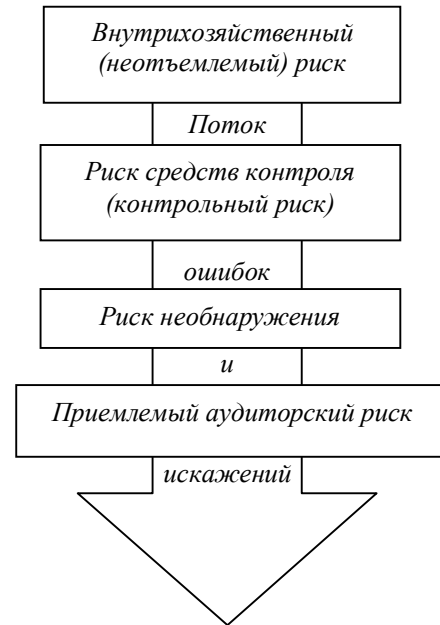


Рис. 1. Модель аудиторского риска

ности. Этот риск считается чисто аудиторским, потому что он зависит от количества и качества аудиторских процедур, планирования проверки и ее организации [2].

Концептуальная модель аудиторского риска предполагает, что неотъемлемый и контрольный риски зависят от внешней среды, в которой осуществляет свою деятельность экономический субъект, и внутренних факторов, которые оказывают влияние на эти риски [3].

Для управления аудиторским риском предлагается методологический подход, который заключается в следующем. После исследования системы внутреннего контроля (СВК) и системы бухгалтерского учета (СБУ) аудитор планирует процедуры и проводит аудиторскую проверку. Результаты проверки и рекомендации аудитора в отношении исследования системы внутреннего контроля и бухгалтерского учета излагаются в письменной информации, направляемой руководству экономического субъекта. Руководство принимает решение по поводу исправления отмеченных аудитором недостатков в системе внутреннего контроля и отчетности. При этом можно предположить два варианта дальнейшего развития событий.

1. Руководство отказывается исправлять отмеченные недостатки, которые, по мнению аудитора, весьма существенны. В этом случае аудитор может отказаться в своем заключении от выражения мнения.

2. Руководство берет на себя обязательство по устранению отмеченных аудитором недостатков. В этом случае аудитор проводит контрольные мероприятия по устранению отмеченных недостатков. Если недостатки устранены в полном объеме, что приводит к снижению рисков и подготовке достоверной отчетности, аудитор формирует свое мнение относительно отчетности; если недостатки не устранены в полном объеме, аудитор рекомендует их устранить. Таким образом, идет перманентный процесс управления аудиторскими рисками (в сторону их снижения), и достижение их оптимальной величины, при которой аудитор может с большой уверенностью выразить свое мнение относительно достоверности финансовой отчетности. Инструментами достижения поставленной цели являются следующие.

– Абонементное обслуживание аудируемого лица, когда проверки делятся на отдельные этапы (квартальные проверки) внутри аудируемого периода. Это позволяет осуществлять процедуры проверки по существу и контрольные мероприятия в течение проверяемого периода и эффективно управлять аудиторскими рисками. В такой ситуации большую роль играет позиция экономического субъекта по устранению замечаний. К моменту подготовки аудиторского заключения существенные недостатки СВК и СБУ должны быть устранены, риски минимизированы, что обеспечит достижение цели проверки.

– Повторяющийся (согласованный) аудит – проведение проверок одним и тем же аудитором в течение нескольких отчетных лет подряд. В этом случае схема управления аудиторскими рисками примерно такая же, как и при абонементном обслуживании: тесное взаимодействие аудитора и экономического субъекта по устранению существенных недостатков в системе внутреннего контроля, учета и отчетности. Это приводит к снижению аудиторских рисков, а значит, можно говорить о возможности управления ими.

– Консультационное обслуживание заключается в постоянном консультировании экономического субъекта по вопросам учета, налогового законодательства, СВК. Это создает условия для управления рисками, но при одном неперенном условии: экономический субъект должен обязательно принимать адекватные меры по рекомендациям, которые подготовил аудитор.

Оптимальным сроком сотрудничества является, по мнению автора, период от трех до пяти лет. Период делового сотрудничества (в пределах пяти лет) позволяет аудитору не только хорошо изучить контрольную среду экономического субъекта и его бизнес, но и дает возможность управлять аудиторскими рисками. Можно сказать, что подготовка достоверной отчетности, а следовательно, снижение риска формирования неправильного мнения относительно достоверности отчетности является общим делом аудируемого лица и аудитора. Основой регулирования аудиторских рисков в данной ситуации являются: отслеживание изменений в налоговом и бухгалтерском законодательстве, информирование экономического субъекта об этих изменениях, внедрение их в практику налогового и бухгалтерского учета, безусловное исполнение выявленных в ходе предыдущих проверок замечаний аудитора (особенно в системе внутреннего контроля). Основная идея управления аудиторскими рисками заключается в возможности аудитора влиять на риск существенных искажений, в большей степени на одну из его составляющих (риск средств контроля) в сторону их снижения. Естественно, аудитора интересует величина приемлемого аудиторского риска, которая характеризует качество работы аудиторской фирмы. Снижая риск существенных искажений, можно снизить величину общего аудиторского риска до приемлемого уровня и ниже [4].

Взаимодействие сторон по управлению аудиторскими рисками можно представить в виде блок-схемы (рис. 2).

Для реализации модели управления аудиторским риском предлагается методика проведения аудиторских проверок, которая включает четыре этапа.

*На первом этапе* (временной отрезок соответствует проверке за первый квартал отчетного года) аудитор исследует системы внутреннего контроля и бухгалтерского учета, проводит аудиторские процедуры по существу, готовит рекомендации по устранению обнаруженных недостатков в учете, отчетности, системе внутреннего контроля.

*На втором и третьем этапах* (проверка за второй и третий квартал отчетного года) осуществляется проведение контрольных мероприятий (устранение отмеченных недостатков за предыдущие периоды), дополнительное исследование СВК, проведение аудиторских процедур по существу, выдача рекомендаций по устранению отмеченных недостатков.

*На четвертом этапе* (проверка за четвертый квартал и в целом за отчетный год) прово-

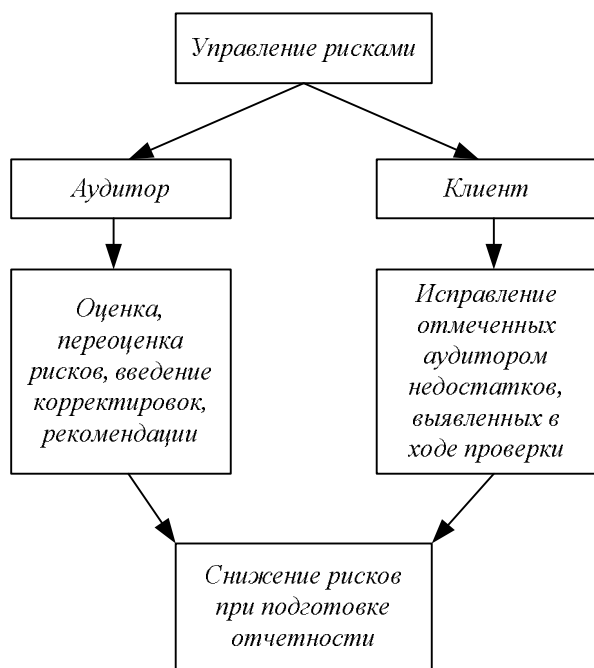


Рис. 2. Блок-схема взаимодействия по управлению аудиторскими рисками между аудитором и экономическим субъектом

дятся контрольные мероприятия, аудиторские процедуры по существу, определяется существенность выявленных и неустраненных нарушений, формируется мнение относительно достоверности отчетности.

Для достижения поставленных на каждом этапе задач подготовлены рабочие документы, которые позволяют контролировать исправления экономическим субъектом рекомендаций аудиторов после проведения каждого этапа проверки. Рабочие документы аудитора дают возможность проводить по отдельности контрольные мероприятия, касающиеся СВК, и недостатков, которые выявлены аудиторами при проведении аудиторских процедур по существу.

Оценку СВК предлагается производить в баллах. Первоначальная оценка риска средств контроля начинается на первом этапе и заключается в исследовании и оценке основных факторов, которые определяют состояние СВК; каждому фактору дается количественная оценка (см. таблицу). Оценка основывается на профессиональном суждении аудитора, каждому фактору СВК дается оценка в определенном интервале. Далее определяется путем суммирования отдельных факторов общая оценка системы.

Оценка надежности системы определяется путем деления общей оценки СВК на максимальное количество баллов, по которому можно оценить систему, если присваивать каждому фактору максимальное значение:

$$\text{Надежность СВК} = \frac{\text{Фактическая оценка}}{\text{Максимальная оценка}} \times 100 \%$$

Оценку можно определять в процентах (или в долях). Величина риска средств контроля рассчитывается путем вычитания надежности

$$\text{РК} = 100 \% - \text{Н}_{\text{СВК}}$$

где РК – риск средств контроля;  $\text{Н}_{\text{СВК}}$  – надежность СВК.

По этой же методике производится переоценка аудиторских рисков после проведения контрольных мероприятий, эти мероприятия проводятся на следующих этапах проверки (2 – 4 кварталы). На основании полученных результатов принимается решение о формировании аудиторского мнения.

Результаты первоначальной оценки аудиторского риска и последующей его переоценки представляются в рабочем документе аудитора, который имеет следующий вид.

Рабочий документ №...

Лист оценки СВК по результатам работы за ... квартал отчетного года

| Исследуемые (проверяемые) факторы | Оценка (баллы) | Рекомендации по устранению недостатков |
|-----------------------------------|----------------|--|
|-----------------------------------|----------------|--|

Оценки и рекомендации, представленные в рабочих документах, позволяют аудитору эффективно контролировать устранение экономическим субъектом выявленных нарушений, принимать правильное решение при формировании мнения аудитора, управлять аудиторскими рисками.

**Выводы.** Аудитор может управлять риском существенных искажений в ходе аудиторских проверок. Инструментами для управления риском существенных искажений являются абонементное обслуживание, повторяющийся аудит, консультационное обслуживание аудируемого лица. Аудитор может принимать непосредственное участие в подготовке достоверной финансовой отчетности. В результате совместной деятельности аудитора и экономического субъекта можно снизить аудиторский риск до приемлемого уровня.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральное правило (стандарт) № 8 «Понимание деятельности аудируемого лица, среды, в которой она осуществляется, и оценка рисков существенного искажения аудируемой финансовой (бухгалтерской) отчетности»: утверждено Постановлением

## Оценки факторов системы внутреннего контроля

| Исследуемые (проверяемые) факторы  | Оценка в баллах |
|--|-----------------|
| Наличие виз руководства на всех хозяйственных договорах клиента  | 0 – 8           |
| Стиль и принципы управления  | 0 – 8           |
| Распределение ответственности и полномочий   | 0 – 6           |
| Организационная структура организации  | 0 – 3           |
| Кадровая политика  | 0 – 6           |
| Управленческий учет  | 0 – 5           |
| Соответствие хозяйственной деятельности требованиям законодательства                                   | 0 – 8           |
| Наличие ревизионной комиссии, ревизоров, внутренних аудиторов  | 0 – 8           |
| Соответствие учетной политики требованиям законодательства   | 0 – 8           |
| Организационная структура бухгалтерии  | 0 – 4           |
| Наличие графика документооборота и его исполнение  | 0 – 6           |
| Распределение обязанностей и полномочий работников бухгалтерии   | 0 – 4           |
| Порядок отражения хозяйственных операций в учете   | 0 – 4           |
| Порядок подготовки бухгалтерской отчетности  | 0 – 8           |
| Степень автоматизации бухгалтерского учета   | 0 – 6           |
| Наличие критических областей учета   | 0 – 6           |
| Подотчетность одних работников другим  | 0 – 4           |
| Недостатки в системе внутреннего контроля, на которые руководство не обращает внимания                 | 0 – 6           |
| Крупная распродажа имущества   | 0 – 3           |
| Изменения в информационных системах  | 0 – 3           |
| Проведение внезапных инвентаризаций материально-производственных запасов и денежных средств            | 0 – 8           |
| Наличие нестандартных, редких операций в проверяемом периоде   | 0 – 3           |
| Наличие большого объема корректировок в отчетности в конце отчетного периода                           | 0 – 5           |
| Возможность несанкционированного доступа к компьютерной системе  | 0 – 6           |
| Применение соответствующих мер к нарушителям законодательства и внутренних распорядительных документов | 0 – 6           |
| Наличие существенных отклонений учетных данных от результатов инвентаризации                           | 0 – 8           |
| Готовность руководства к исправлению ошибок и нарушений  | 0 – 8           |
| Рассмотрение результата аудита прошлых лет   | 0 – 6           |
| Оценка опыта и квалификации работников бухгалтерии   | 0 – 6           |
| Наличие должностных инструкций   | 0 – 3           |
| Повышение квалификации работников бухгалтерии  | 0 – 3           |
| Состояние расчетов с бюджетом и контрагентами  | 0 – 2           |
| Поддержка со стороны собственников и руководства исполнения требований учетной политики                | 0 – 6           |
| Обеспечение сохранности активов  | 0 – 8           |
| Установление внутренних нормативных показателей и контроль за их выполнением                           | 0 – 5           |
| Осуществление анализа причин отклонений фактических показателей от нормативных                         | 0 – 3           |

Правительства РФ № 696 от 23.09.2002 [Электронный ресурс] // Доступ: <http://base.conculta.ru>. (Дата обращения 20.03.2014).

2. Глоссарий терминов стандартов аудиторской деятельности: одобр. Советом по аудиторской деятельности при Минфине РФ от 29 мая 2008. Протокол № 66. Доступ из справочно-правовой системы «Консультант Плюс». [Электронный ресурс] //

<http://go.mail.ru>. (Дата обращения 20.03.2014).

3. Терехов А.А. Аудит: перспективы развития. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 558 с.
4. Аудит Монтгомери / Ф.Л. Дефлиз, Г.Р. Дженик, В.М. О Рейли и др.; Пер. с англ.; под ред. Я.В. Соколова. – М.: Аудит: ИНИТИ, 1997. – 540 с.

© 2014 г. В.П. Козлов  
Поступила 24 марта 2014 г.

*В.Н. Буинцев, И.А. Рыбенко*

Сибирский государственный индустриальный университет

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШИРОКОГО КЛАССА УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ**

Имитационное моделирование давно и широко используется для различных целей [1]. Например, модель объекта может применяться в системе управления в качестве дополнительного источника информации. Если модель работает быстрее объекта, ее можно использовать как полигон, чтобы «потренировать» регулятор. Если информация об объекте поступает дискретно и с большим запаздыванием, модель может использоваться как источник непрерывной информации. В обоих случаях это обеспечивает лучшее качество регулирования.

Еще одной областью применения имитационного моделирования является задача обучения. Реальные объекты могут иметь довольно сложную природу. Проводить обучение на таких объектах, как правило, нецелесообразно, так как некорректное управление может повлечь за собой выход агрегата из строя. Кроме того, функционирование в режиме, далеком от оптимального, может привести к значительным экономическим затратам. Поэтому в процессе обучения необходимо использовать имитаторы и тренажеры, в которых реальные объекты заменены их математическими моделями.

Актуальность применения имитационных моделей для обучения не вызывает сомнений, поэтому разработка универсальных моделей-имитаторов, решающих широкий круг учебных задач, является интересной.

В настоящей статье рассматриваются результаты разработки имитационной модели и возможные варианты ее использования в учебных целях. Первые этапы построения любой

математической модели связаны со сбором информации об объекте, который осуществляется в два этапа:

- сбор теоретических сведений об объекте с использованием научно-технической литературы;
- получение информации о входных-выходных параметрах объекта.

В ходе выполнения первого из этих этапов обычно генерируется гипотеза о структуре модели (виде математического уравнения). В результате выполнения второго этапа заполняется таблица наблюдений, которую можно получить после проведения эксперимента на объекте. Наиболее распространенными видами экспериментов являются активный и пассивный. Активный эксперимент проводится на искусственном объекте, созданном на базе модели-имитатора, структура которой приведена на рис. 1, где под соответствующими цифрами обозначены следующие блоки: 1 – алгебраическая часть модели; 2 – звено запаздывания; 3 – инерционное звено; 4 – блок генерации помех.

Алгебраическая часть модели имеет нелинейную структуру, уравнение представлено в виде

$$Y_m = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_1x_2 + a_6x_1x_3 + a_7x_1x_4 + a_8x_2x_3 + a_9x_2x_4 + a_{10}x_3x_4 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_2^2 + a_{13}x_3^2 + a_{14}x_4^2, \quad (1)$$

где  $a_i$  – коэффициенты модели;  $x_i$  – параметры модели.

Звено запаздывания можно описать уравнением

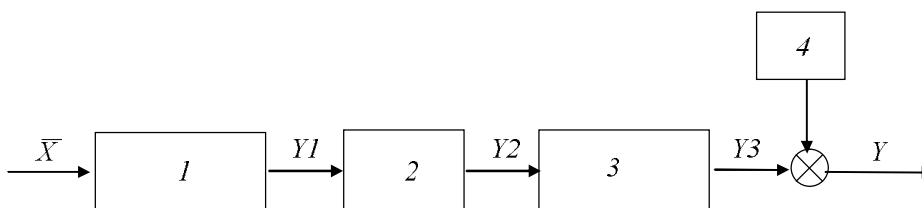


Рис. 1. Структура модели-имитатора

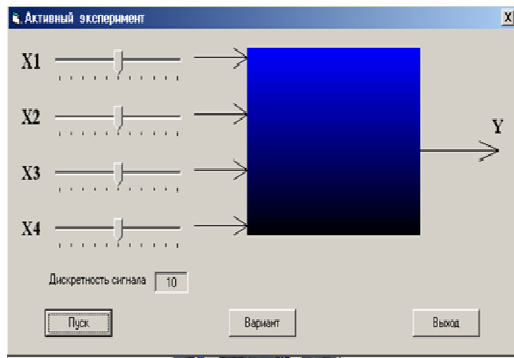


Рис. 2. Окно программы «Активный эксперимент»

$$Y_2(t) = Y_1(t - \tau), \quad (2)$$

где  $\tau$  – время запаздывания.

Инерционное звено может быть либо первого, либо второго порядка. Общий вид уравнения следующий:

$$T_2 \frac{d^2 Y_3}{dt^2} + T_1 \frac{d Y_3}{dt} + Y_3 = Y_2. \quad (3)$$

Блок генерации помех создает случайную, систематическую помехи и выбросы:

$$Y = Y_3 + A + B; \quad (4)$$

здесь  $A$  – случайная составляющая помехи;  $B$  – систематическая составляющая помехи (изменяется по закону косинуса).

На рис. 2 приведен результат программной реализации этой модели для проведения активного эксперимента.

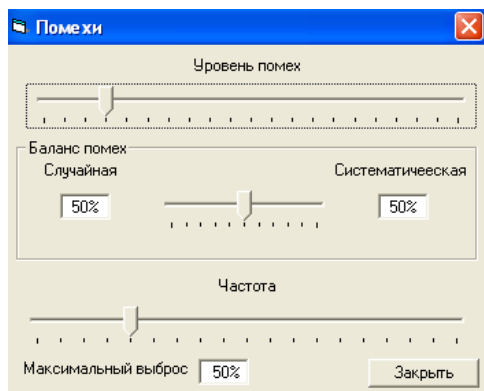


Рис. 3. Окно программы «Управление помехами»

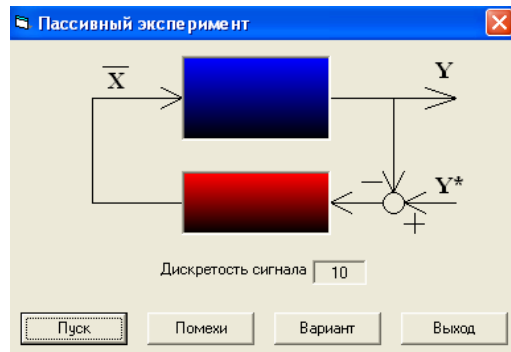


Рис. 4. Окно программы «Пассивный эксперимент»

На рис. 3 представлено окно управлением помехами: уровнем помех в зависимости от основного сигнала, соотношением случайной и систематической составляющей помехи, частотой и размером выбросов.

На рис. 4 показана окно программы для пассивного эксперимента. В этом случае объект находится в системе управления с ПИД регулятором. Возможно также изменение вида и уровня помех.

**Выводы.** Исходя из перечисленных возможностей, разработанная имитационная модель может быть использована для решения широкого круга учебных задач:

- проведения активного эксперимента по различным видам планирования;
- проведения пассивного эксперимента;
- исследования влияния помех на точность моделирования;
- определения неизвестной передаточной функции регулятора;
- определения параметров модели, находящейся в системе управления, и другие учебные задачи. Более подробно с возможностями имитационной модели можно познакомиться в работе [2] и по адресу BUINTCEV@MAIL.RU.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов. – Кемерово; М.: Издательское объединение «Русские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с.
2. Буинцев В.Н., Рыбенко И.А. Регрессионный анализ при активном эксперименте: метод, рекомендации. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2014. – 25 с.

© 2014 г. В.Н. Буинцев, И.А. Рыбенко  
Поступила 16 июня 2014 г.

## РЕФЕРАТЫ

### УДК 621.791

Кинетика взаимодействия алюминия и никеля при жидкофазном формировании диффузионной зоны / Шморгунов В.Г., Трыков Ю.П., Богданов А.И., Таубе А.О., Евстропов Д.А. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 3.

Изучены процессы жидкофазного взаимодействия в слоистом интерметаллическом композите системы никель – алюминий. Определен фазовый состав и толщины слоев композита в зависимости от режима термической обработки. Табл. 1. Ил. 5. Библ. 6.

**Ключевые слова:** слоистый композит, интерметаллид, фазовый состав, микротвердость, диффузионная зона.

Interaction kinetics between aluminum and nickel in liquid phase diffusion zone formation / Shmorgun V.G., Trykov U.P., Bogdanov A.I., Taube A.O., Evstropov D.A. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 3.

The interaction of the liquid-phase processes in a layered intermetallic nickel-aluminum composite was studied. The phase composition and layers thickness of the composite depending on the heat treatment was researched. Table 1. Fig. 5. Ref. 6.

**Keywords:** layered composite, intermetallic, phase composition, microhardness, diffusion zone.

### УДК 669.046:536.421

Мини-металлургия полного цикла на основе процесса СЭР – от руды до стали // Цымбал В.П., Мочалов С.П., Оленников А.А., Огнев А.М. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 6.

Описывается состояние металлургии в некоторых странах, в том числе и России. Поднят вопрос о создании региональной металлургии, который поднимался на совещании переработчиков металла в г. Новосибирске. В связи с этим рассмотрены процессы прямого твердофазного восстановления (Мидрекс, HyL-3), твердо- и жидкофазный процесс Корекс. Основное внимание уделено струйно-эмульсионному металлургическому процессу (СЭР), отличающемуся высокой скоростью протекания физико-химических процессов, малыми удельным объемом агрегатов, энерго- и капиталозатратами. Ил. 3. Библ. 11.

**Ключевые слова:** струйно-эмульсионный металлургический процесс, система гарнисажного охлаждения, водогрейный котел, физическое моделирование, самоорганизация, мини-металлургия, шлакоприемник, гранулятор шлака.

Mini-metallurgy of full cycle on the basis of the spray-emulsion metallurgical process SER – From ore to steel / Tsymbal V.P., Mochalov S.P., Olennikov A.A., Ognev A.M. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 6.

This article describes the state of the industry in some countries, including Russia. Raised the question of the establishment of a regional industry, which rose at the meeting Metal Fabricators in Novosibirsk. In this regard, the processes of direct solid recovery (Midrex, HyL- 3), the solid-liquid phase process and Corex. The main attention is paid to the spray-emulsion metallurgical process (SER), featuring high speed flow of physical and chemical processes, low specific volume of units, low power consumption and low capital costs. Fig. 3. Ref. 11.

**Keywords:** spray-emulsion metallurgical process, system of skull cooling, hot-water boiler, physical modeling, self-organization, mini-metallurgy, slag trap, slag granulation.

### УДК 621.74

Влияние вибрации на кристаллизующийся расплав серого чугуна / Хамитов Р.М., Дробышев А.Н., Дегтярь В.А. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 14.

Приведены результаты исследования влияния различных режимов вибрации на размер графитовых включений и плотность серого чугуна при его кристаллизации. Экспериментально установлены оптимальные значения амплитуды и частоты вибрации, обеспечивающие измельчение размеров включений графита и



увеличение плотности чугуна в образцах. Показано, что вибрация как и другие методы физического воздействия на кристаллизующиеся расплавы приводят к интенсивному его перемешиванию и измельчению структурных составляющих в литом изделии. Ил. 2. Библ. 5.

**Ключевые слова:** серый чугун, кристаллизация расплава, вибрация, включения графита.

The vibration influence on the crystallized melt of the gray pig-iron / Hamitov R.M., Drobyshev A.N., Degtyar' V.A. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 14.

The research results of the influence of the various vibration modes on the size of the graphite inclusions and the density of the grey pig-iron on its crystallization are resulted. The optimum amplitude and the vibration frequency providing the crushing of the sizes of the graphite inclusions and the density increase of the pig-iron in samples are experimentally established. It is shown that the vibration, as well as, other methods of the physical influence on the crystallizing melt leads to its intensive hashing and crushing of the structural components in a cast product. Fig. 2. Ref. 5.

**Keywords:** grey pig-iron, melt crystallization, vibration, graphite inclusions.

#### УДК 622.027

Способ формирования предохранительной подушки при разработке слепых сближенных рудных залежей / Шеховцова О.В., Шеховцов В.С., Залеская О.В. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 17.

Изложен способ формирования предохранительной подушки из принудительно обрушаемых и самообрушающихся пород при разработке слепых сближенных рудных залежей в случаях предельно устойчивого и неустойчивого состояний обнажений. Предложены рекомендации по созданию предохранительной подушки из руды или обрушенных налегающих пород, обеспечивающие безопасную и эффективную отработку слепых сближенных рудных залежей, а также снижение разубоживания от самообрушающихся налегающих пород. Проведены расчеты формирования породной предохранительной подушки при предельно устойчивых обнажениях для условий Шерегешевского железорудного месторождения при проектировании отработки слепых залежей на участке «Новый Шерегеш». Табл. 1. Ил. 1. Библ. 6.

**Ключевые слова:** слепые сближенные залежи, предохранительная подушка, способ формирования породной подушки.

Forming method of a safety cushion in the development of blind contiguous ore deposits / Shehovtsova V.O., Shehovtsov V.S., Zaleskaya O.V. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 17.

The paper presents a forming method of a safety cushion of render forced self-caving units when developing the blind contiguous ore deposits in cases of extremely stable and unstable states. Recommendations on creation of a safety cushion of ore or collapsed overlapping species, ensuring safe and efficient development of the blind contiguous ore deposits, and reduced dilution from self-caving overlapping species are given. The formation calculations of the breed safety cushion at extremely stable conditions of Sheregeshevsky iron ore deposits in the design of mining blind deposits in the area «New Sheregesh» are carried out. Table 1. Fig. 1. Ref. 6.

**Keywords:** blind contiguous ore deposits, safety cushion, forming method of safety cushion.

#### УДК 622.271.3:581.5

Особенности структуры почв техногенных ландшафтов, расположенных в лесостепной зоне Кузбасса / Шипилова А.М., Беланов И.П. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2(8). – С. 20.

Рассматриваются морфологические особенности основных типов эмбриоземов, которые формируются на отвалах, расположенных в лесостепной зоне Кузбасса. Приведенные описания почв наглядно иллюстрируют разнообразие и специфику почвенного покрова, а также различные почвенно-экологические последствия рекультивации техногенных ландшафтов. Библ. 3.

**Ключевые слова:** техногенные ландшафты, эмбриоземы, техногенез.

Structure features of soil technogenic landscapes, located in the forest-steppe zone of Kuzbass / Shipilova A.M., Belanov I.P. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 20.

Morphological features of the main types embryonic soil formed on the dumps located in the forest – steppe zone of Kuzbass are considered in the paper. These soil descriptions illustrate the diversity and specificity of the soil cover, and various soil environmental consequences of recultivation technogenic landscapes. Ref. 3.

**Keywords:** technogenic landscapes, embryozems, technogenesis.

#### УДК 662.61/:662.6/9

Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках / Башкова М.Н., Казимиров С.А., Темлянцева М.В., Багрянцев В.И., Рыбушкин А.А., Слажнева К.С. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 24.

Рассмотрены основные современные способы сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках. Представлены описание и схемы работы установок при использовании разновидностей слоевого, вихревого и факельного способов сжигания. Приведены преимущества и недостатки описываемых технологий и оценены перспективы их применения в теплоэнергетике России. Ил. 7. Библ. 29.

**Ключевые слова:** твердое топливо, теплоэнергетические установки, вихревое сжигание, кипящий слой, факельное сжигание

Practice and perspectives of different ways to burn solid fuel in thermal power plants / Bashkova M.N., Kazimirov S.A., Temlyantsev M.V., Bagryantsev V.I., Rybushkin A.A., Slazhneva K.S. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 24.

The basic modern ways of burning solid fuel in thermal power plants are considered. A description and diagram of varieties plants by using layers, vortex and torch burning methods are presented. The advantages and disadvantages of these technologies are shown, as well as assessed the prospects for their use in heat and power engineering in Russia. Fig. 7. Ref. 29.

**Keywords:** solid fuel, heat and power installation, vortex combustion, fluidized bed, flaring

#### УДК 697.132.3

Оценка экономии топлива в результате снижения теплопотребления за счет теплопоступлений от солнечной радиации при использовании автоматизированной системы отопления жилого здания / Чапаев Д.Б. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 32.

Для климатических условий г. Новокузнецка выполнена оценка снижения расхода топлива (годового и по месяцам) на отопление жилого здания вследствие снижения его теплопотребления за счет теплопоступлений от солнечной радиации в случае инсталляции в систему отопления радиаторных терморегуляторов и в узел управления теплоносителем – схем погодной компенсации. Экономия топлива в осенние месяцы составляет в среднем 30 %, в зимние – 10 %, в весенние – 65 %, за отопительный период – 30 %. Табл. 1. Ил. 2. Библ. 2.

**Ключевые слова:** отопление, автоматизация отопления, отопительный период, солнечная радиация, температура наружного воздуха, теплопотребление, энергосбережение.

Assessment of fuel economy by reducing heat consumption due to gains from solar radiation when using automatic heating system of residential building / Chapaev D.B. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 32.

For the climatic conditions of Novokuznetsk the reduction of fuel consumption (annual and by month) for heating residential building due to the reduction of heat consumption at the expense of the solar radiation heat flow in case of installation to radiator thermostats into the heating system and weather compensation circuits into the node management heat medium is estimated by the author. Fuel economy in the autumn months is 30 %, in winter is 10 %, in spring is 65 % and during the heating period is 30 %. Table 1. Fig. 2. Ref. 2.

**Keywords:** heating, automation of heating, heating period, solar radiation, outside-air temperature, heat consumption, energy saving.

#### УДК 661.665

Исследование газонасыщенности, окисленности и термоокислительной устойчивости нанокарбонитрида хрома / Ширяева Л.С., Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Руднева В.В. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 36.

Исследованы газонасыщенность, окисленность и термоокислительная устойчивость нанокарбонитрида хрома состава  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ . Установлено, что при хранении на воздухе нанопорошок карбонитрида хрома адсорбирует кислород и влагу. Значительное повышение окисленности карбонитрида хрома происходит в первые 24 ч. По термоокислительной устойчивости на воздухе наноразмерный карбонитрид хрома близок к карбонитридам ванадия, титана и циркония того же наноразмера. Температура начала его окисления зависит от наноразмера. Ил. 3. Табл. 3. Библ. 6.

**Ключевые слова:** газонасыщенность, нанокарбонитрид хрома, окисленность, термоокислительная устойчивость.

Study of gas saturation, oxidation and thermal-oxidative stability of chromium monocarbonate / Shiryaeva L.S., Nozdrin I.V., Galevsky G.V., Rudneva V.V. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 36.

Gas saturation, oxidation and thermal-oxidative stability of  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$  chromium monocarbonate composition are researched. It is established that during the storage in air nanopowder of chromium carbonitride adsorbs oxygen and moisture. A significant increase of chromium carbonitride oxidation occurs within the first 24 hours. On thermal-oxidative stability in the air chromium nanocarbonitride is close to vanadium carbonitrides, titanium and zirconium of the same nanosize. The temperature of the beginning of its oxidation depends on the nanosize.

**Keywords:** gas saturation, chromium carbonitride, oxidation, thermal-oxidative stability.

#### УДК 620.193.4/5

Механизм и кинетические параметры газовой коррозии титанового сплава ВТ6 в тетрахлориде углерода / Горюшкин В.Ф., Бендре Ю.В., Зенцова С.А., Гагарин А.Ю. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 40.

Гравиметрическим методом изучены механизм и скорость газовой коррозии титанового сплава ВТ6 (химически охарактеризованные образцы) в потоке тетрахлорида углерода при температуре 673 и 773 К; рассчитана кажущаяся энергия активации процесса. Установлено, что титан из сплава ВТ6 так же, как и чистый титан переходит в газовую фазу в составе тетрахлорида титана с постоянной скоростью, а на его поверхности образуется пористая незащитная пленка аморфного углерода:  $\text{Ti}_{\text{ТВ}} + \text{CCl}_{4\text{пар}} \rightarrow \text{C}_{\text{ТВ}} + \text{TiCl}_{4\text{пар}}$ . Из сравнения массовых показателей коррозии в тетрахлориде углерода образцов сплава ВТ6 и изученных ранее образцов технически чистого титана ВТ1-0 получаем, что их значения совпадают в области доверительных интервалов. На этом основании полученные в двух сериях опытов данные статистически обработали как одну совокупность равноточных измерений. Опытами с размещением на поверхности металлических образцов специальной индифферентной метки установили, что углеродные пленки, образующиеся на металле в результате реакции взаимодействия титана с тетрахлоридом углерода, «растут внутрь» и, следовательно, одной из стадий реакции является диффузия молекул тетрахлорида углерода из ядра газовой фазы к поверхности металла через углеродную пленку. Ил. 1. Табл. 1. Библ. 4.

**Ключевые слова:** газовая коррозия, титановый сплав ВТ6, тетрахлорид углерода, механизм коррозии, массовый показатель коррозии, кажущаяся энергия активации.

Mechanism and kinetic parameters of gaseous corrosion of titanium alloy VT6 in carbon tetrachloride / Goriushkin V.F., Bendre Y.V., Zentsova S.A., Gagarin A. Yu. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 40.

Gaseous corrosion mechanism and rate of titanium alloy VT6 (chemical characterized samples) in the flow of  $\text{CCl}_4$  at the temperature 673 and 773 K has been studied by gravimetric method. It has been determined, that titanium from alloy, as pure as titanium is converted into gas-phase as a compound of  $\text{TiCl}_4$  with constant speed. Porous unprotected film of amorphous carbon is formed on its surface:  $\text{Ti}_s + \text{CCl}_{4\text{г}} \rightarrow \text{TiCl}_{4\text{г}} + \text{C}_s$ . It has been found out, that mass indexes of gaseous corrosion titanium in technically pure metal VT1-0 and in alloy VT6 coincide in confident intervals region. By this reason, results of two serious investigations (VT1-0, VT6) have been statistically processed as one totality of uniformly precise measurements. By separate experiments it has been determined in this work, that porous unprotected films of amorphous carbon as a product of chlorinate reaction go up inside. Fig. 1. Table 1. Ref. 4.

**Keywords:** gaseous corrosion, titanium alloy VT6, carbone tetrachloride, corrosion mechanism, mass index of gaseous corrosion, effective energy of activation.

#### УДК 681.5

Испытание и наладка средств и систем автоматизации / Грачев В.В., Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Киселев С.Ф., Львова Е.И., Линков А.А. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 44.

Увеличивающаяся сложность систем автоматизации, повышение требований к их эффективности, необходимость их включения в работу с момента начала пуска-наладки технологического оборудования, то есть еще до пуска промышленного комплекса в эксплуатацию, вызывает необходимость разработки автоматизированных испытательно-наладочных полигонов для средств и систем автоматизации. Показана необходимость проведения полигонных испытаний и наладки средств и систем автоматизации с целью сокращения сроков их отладки на промышленных площадках, уменьшения затрат на корректировку технической структуры смонтированных систем автоматизации и, как результат, уменьшение сроков выполнения всего проекта создания промышленного комплекса. Ил. 2. Табл. 1. Библ. 3.

**Ключевые слова:** испытательно-наладочный полигон, имитационное моделирование, натурно-модельный подход, физическая модель, натурная установка, оптимизация алгоритмов регулирования.

Testing and adjustment of automation means and systems / Grachev V.V., Myshlyaev L.P., Evtushenko V.F., Kiselev S.F., Lvova E.I., Linkov A.A. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 44.

The increasing complexity of automation systems, increasing demands for their effectiveness, their inclusion in the job since the beginning of the commissioning process equipment, i.e. before the start of industrial complex in operation, necessitates the development of automated test and adjustment ranges for automation equipment and systems. The article shows the need for field tests and commissioning automation equipment and systems with a view to reducing the time to debug them at industrial sites, reduce the cost of technical corrections structure of mounted automation systems and as a result, reducing the timing of the entire project of an industrial complex. Fig. 2. Table 1. Ref. 3.

**Keywords:** test and commissioning polygon, simulation, natural-model approach, physical model, full-scale installation, optimization of the control algorithms.

#### УДК 669.046:519.876.5

Термодинамическое моделирование процесса горения топлива / Рыбенко И.А. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 48.

Приведены основные реакции процессов горения топлива. Разработаны показатели, характеризующие окислительно-восстановительный потенциал системы. Проведено термодинамическое моделирование и исследование процессов в элементарных системах С – О и С – О – Н. Построены зависимости составов и температуры продуктов сгорания от предложенных показателей. Определены оптимальные условия процессов горения топлива. Ил. 3. Библ. 5.

**Ключевые слова:** Термодинамическое моделирование, элементарная система, топливо, показатели окислительно-восстановительного потенциала системы.

Thermodynamic simulation of the fuel combustion process / Rybenko I.A. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 48.

The main reactions of the fuel combustion processes are given in the article. The indices, which characterize the oxidation-reduction potential of the system are developed. Thermodynamic simulation and study of the processes in the elementary C – O and C – O – H systems are carried out. The dependences of compositions and temperature of combustion products on the proposed indices are built. The optimum conditions for the processes of fuel combustion are determined. Fig. 3. Ref. 5.

**Keywords:** thermodynamic simulation, elementary system, fuel, indices of the oxidation-reduction potential of the system.

#### УДК 502.654

Обезвреживание промышленных отходов с использованием почвенных микроорганизмов и высших растений / Водолеев А.С., Черданцева Е.С., Куренский И.А. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 51.

Дана экологическая характеристика отходов железорудного обогащения Абагурской агломерационной фабрики, Байдаевского разреза и золошлаков Томь-Усинской ГРЭС. Для их рекультивации были использованы осадки сточных вод – твердые отходы городских очистных сооружений. Изучена биологическая активность органоминерального субстрата – техноземов с участием почвенной микрофлоры использования бактериального препарата «БакСиб». Библ. 3.

**Ключевые слова:** промышленные отходы, рекультивация, осадки сточных вод, почвенная микрофлора, биологическая активность.

Disposal of industrial waste with the use of soil microorganisms and higher plants / Vodoleev A.S., Cherdanceva E.S., Kurensky I.A. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 51.

The article presents the ecological characterization of iron enrichment waste of Abagurskaya sinter plant, Baydaevskiy cut and ash-and-slad of Tom-Usinsk state district power station. To reclaimate them the sewage sludge were used, namely solid waste of municipal wastewater treatment plants. The biological activity of organic-substrate – tehnozem with the participation of soil microflora and the use of a bacterial preparation «BakSib» is studied. Ref. 3.

**Keywords:** industrial waste, remediation, wastewater sludge, soil microflora, biological activity.

#### УДК 657.6.

Методологический подход к управлению аудиторским риском / Козлов В.П. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 54.

Рассмотрены проблемы, связанные с методологией оценки и управления аудиторским риском. Аудиторский риск является одной из основополагающих категорий, используемых в аудиторской деятельности, от величины которого зависят планирование аудиторских процедур и формирование мнения о достоверности отчетности. Представлена характеристика существующих моделей риска и влияние аудитора на эту категорию. Предложен методологический подход управления аудиторским риском, дано описание инструментов, при помощи которых возможно регулирование аудиторского риска. Предлагается подход к подготовке (совместно с аудируемым лицом) достоверной финансовой отчетности. Табл. 1. Ил. 2. Библ. 4.

**Ключевые слова:** аудиторский риск, существенные искажения, ошибочное мнение, внутривоздушный контроль, достоверность, отчетность, методологический подход, управление.

Methodological approach to auditor risk management / Kozlov V.P. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 54.

In article the problems connected with the assessment methodology and auditor risk management are considered. The auditor risk is one of the fundamental categories used in auditor activity from which size planning of auditor procedures and formation of opinion on reliability of the reporting depends. The characteristic of existing models of risk and influence of the auditor on this category is submitted. Methodological approach of management by auditor risk is offered and the description of tools by means of which regulation of possible auditor risk is given. The author of the article offers the preparation approach, together with the audited person, as well as authentic financial statements. Table 1. Fig. 2. Ref. 4.

**Keywords:** auditor risk, essential distortions, wrong opinion, intraeconomic control, reliability, reporting, methodological approach, management.

#### УДК 519.876.5

Имитационная модель для решения широкого класса задач / Буинцева В.Н., Рыбенко И.А. // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 2 (8). – С. 58.

Дана характеристика и рассмотрены области применения имитационного моделирования. Приведена структура математической модели и экранные формы ее практической реализации. Определен круг задач, решаемых при имитационном моделировании. Ил. 4. Библ. 2.

**Ключевые слова:** Математическая модель, имитационное моделирование, активный эксперимент, пассивный эксперимент.

Simulation model for the solution of the broad class of tasks / Buintcev V.N., Rybenko I.A. // Bulletin of SibSIU. – 2014. – № 2 (8). – P. 58.

The article gives the characteristic and the application fields of simulation modeling. The structure of mathematical model and the screen forms of its practical realization are given. The scope of functions, decided with the simulation modeling is determined. Fig. 4. Ref. 2.

**Keywords:** mathematical model, simulation modeling, active experiment, passive experiment.

## 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 акт экспертизы.

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-

пространенных 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 на-

звание 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»)).



