

Научный журнал

# ВЕСТНИК

Сибирского  
государственного  
индустриального  
университета

№ 3(5), 2013

Основан в 2012 году  
Выходит 4 раза в год

## Редакционная коллегия

Е.В. Протопопов  
(главный редактор)

М.В. Темлянец  
(зам. главного редактора)

С.В. Коновалов  
(отв. секретарь)

П.П. Баранов  
Е.П. Волынкина  
Т.П. Воскресенская

Г.В. Галевский  
В.Ф. Горюшкин

В.Е. Громов  
Л.Т. Дворников

С.М. Кулаков  
С.И. Павленко

Т.В. Петрова  
Л.Б. Подгорных

Е.В. Пугачев  
В.Ф. Соколова

А.К. Соловьев  
А.В. Феоктистов

В.Н. Фрянов  
В.П. Цымбал

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Калимуллин Р.Ф., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г. Жибинова И.А.** Моделирование термогазодинамических закономерностей торкретирования футеровки конвертеров карбонатными торкрет-массаами.....4
- Калимуллин Р.Ф., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г. Жибинова И.А.** Изучение закономерностей распространения и формирования торкрет-факелов в процессе «горячего» ремонта футеровки конвертера.....9
- Попова М.В., Кибко Н.В.** Особенности изменения параметров микроструктуры силуминов и их теплового расширения в зависимости от содержания кремния.....14
- Одинцов А.А., Долинский В.А.** Опыт использования профилактированного известью железорудного концентрата в агломерации .....16

### ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

- Риб С.В., Никитина А.М., Борзых Д.М.** Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по первому слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликтивных нарушений с дробленными и обводненными породами в условиях ОАО «Шахта «Сибиргинская».....24
- Гутак Я.М., Крупчатников В.И.** Вулканические образования в разрезах туектинской свиты (средний девон) центральной части Горного Алтая.....28

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

- Жаркова А.А.** Об итогах железнодорожной реформы в России в контексте зарубежного опыта.....31

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Багрянцев В.И., Казимиров С.А., Куценко А.И., Подольский А.П., Рыбушкин А.А., Темлянец М.В.** Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов.....33
- Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Аниканов Д.С.** Один из подходов к распознаванию аварийных ситуаций на шахтных подъемных установках.....38

### ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Ноздрин И.В., Руднева В.В., Галевский Г.В.** Электроосаждение и свойства гальванических композиционных покрытий цинк – борид хрома CrB<sub>2</sub> .....43

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Волынкина Е.П., Кузнецов С.Н.** Анализ моделей управления отходами и разработка интегрированной модели для регионального управления твердыми бытовыми отходами.....47

## **ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**Петрова Т.В., Франк Е.Я.** Структурные компоненты деятельности по аккумулярованию средств целевого регионального фонда рекультивации земель.....60

## **ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ**

**Ерыгин Ю.В.** Рецензия на учебное пособие А.И. Мусатовой, В.Н. Кадыкова «Технико-экономическое обоснование проектных решений в прокатном производстве». – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 312 с.....63

**Рефераты**.....65  
**К сведению авторов**.....72

Подписано в печать  
10.11.2013 г.  
Формат бумаги 60×88 1/8.  
Бумага писчая.  
Печать офсетная.  
Усл.печ.л. 4,1.  
Уч.-изд.л. 4,5.  
Тираж 300 экз.  
Заказ № 552.

Отпечатано в  
Издательском центре  
Сибирского государственного  
индустриального университета

*Р.Ф. Калимуллин<sup>1</sup>, Е.В. Протопопов<sup>1</sup>, А.Г. Чернятевич<sup>2</sup>, И.А. Жибинова<sup>3</sup>*

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

<sup>2</sup>Институт черной металлургии НАН Украины (г. Днепропетровск)

<sup>3</sup>Кемеровский государственный университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРОВ КАРБОНАТНЫМИ ТОРКРЕТ-МАССАМИ

Одним из возможных ресурсо- и энергосберегающих вариантов горячих ремонтов футеровки конвертеров может быть комплексная технология, предусматривающая одновременную раздувку конечного шлака азотными газовыми струями и факельное торкретирование с использованием недефицитных торкрет-масс на основе необожженных огнеупорных материалов [1 – 3]. Схема такой технологии приведена на рис. 1. Ремонт футеровки конвертера в этом случае осуществляется с использованием специальной вертикальной газоохлаждаемой торкрет-гарнисажной фурмы (рис. 2), обеспечивающей совмещение операций раздувки шлака и факельное торкретирование [4].

Одновременно в процессе нанесения шлакового гарнисажа путем раздувки конечного шлака азотными струями на поверхность футеровки воздействуют торкрет-факелы, в состав

ве торкрет-массы которых используются такие недефицитные материалы, как утилизированная пыль известково-обжигательного производства, угольная пыль установок сухого тушения кокса, сырые доломит или магнезит в порошкообразном виде. Основной задачей процесса раздувки конечного шлака ( $\tau = 3 \text{ ч } 5 \text{ мин}$ ) является дополнительное нанесение на стены конвертера шлакообразующих составляющих ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ), которые в течение последующей плавки и продувки конвертерной ванны будут принимать участие в процессе шлакообразования.

При таком варианте «горячего» ремонта футеровки конвертера обеспечивается формирование шлакового гарнисажа с повышенным содержанием оксидов магния и кальция ( $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$ ) и необходимыми прочностными и огнеупорными свойствами покрытия непосредственно на футеровке. «Подложкой» выступает конечный шлак, который намораживается при разбрызгивании на стены конвертера, а в него внедряются (впрессовываются) высокоогнеупорные составляющие ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ) торкрет-массы, принимающие участие в процессе формирования шлака в последующей плавке.

Для разработки технологии важным представляется информация об особенностях диссоциации карбонатов (известняка, сырого доломита, магнезита и т.д.), входящих в состав торкрет-массы. Таким образом, физическая постановка задачи будет иметь следующий вид.

На пути торкрет-факела к поверхности футеровки происходит диссоциация карбонатных частиц, включающая три последовательных этапа: подвод тепла к зоне реакции, химическую реакцию, отвод выделившегося в зоне реакции углекислого газа. Закономерности, описывающие химическое звено процесса диссоциации, могут проявляться только в ограниченной области условий, обеспечивающих принадлежность процесса к кинетической области (относи-

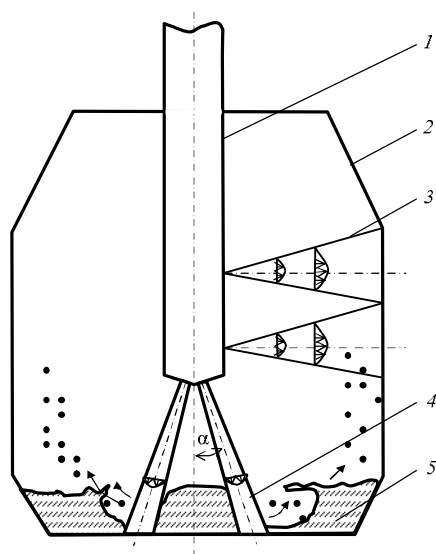


Рис. 1. Схема совместного нанесения шлакового гарнисажа и торкрет-покрытия на футеровку конвертера:

- 1 – торкрет-гарнисажная фурма; 2 – конвертер;  
3 – торкрет-факел; 4 – нейтральная газовая струя;  
5 – ванна шлака

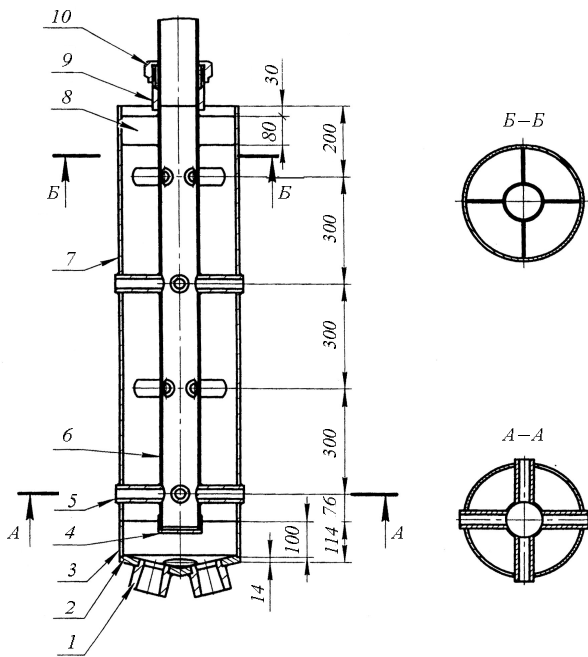


Рис. 2. Схема конструкции головки газоохлаждаемой торкрет-гарнисажной фурмы для конвертера емкостью 350 т:

- 1 – сопло Лавала; 2 – тарелка; 3 – торцевой наконечник; 4 – заглушка; 5 – боковое цилиндрическое сопло; 6 – внутренняя труба подачи торкрет-массы; 7 – наружная труба; 8 – фиксатор; 9 – патрубок сальникового компенсатора; 10 – гайка компенсатора

тельно низкие температуры, интенсивный подвод тепла и т.д.). В реальных условиях на скорость процесса могут накладываться ограничения процессы переноса тепла и массы.

В связи с недостаточным количеством сведений о параметрах рационального процесса торкретирования при использовании необожженных материалов необходима, прежде всего, информация о кинетических закономерностях диссоциации карбонатов за время нахождения в газовом потоке, условиях окисления и налипания раздуваемой угольно-карбонатной огнеупорной смеси на поверхности футеровки агрегата.

Возможность проведения обжига карбонатных материалов непосредственно в процессе факельного торкретирования оценивали с использованием разработанной математической модели процесса.

В основе разработанной модели лежат следующие принципы и предположения. Угольно-карбонатная пыль подается сжатым азотом в полость конвертера (1500 °С) в кольцевой оболочке струи кислорода через цилиндрические сопла. В специальной торкрет-гарнисажной фурме разработанной конструкции (рис. 2) для реализации рассматриваемой комплексной технологии в конвертерах ОАО «ЕВРАЗ объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» емкостью 350 т

таких парных сопел на четырех горизонтах в цилиндрической части внутреннего пространства кислородного конвертера расположено 16. Внутренний диаметр сопла для вдувания торкрет-массы составляет 28 мм, а ширина кольцевой щели подачи кислорода – 4 мм. Общий расход торкрет-массы колеблется в пределах 0,8 – 1,0 т/мин при интенсивности подачи азота 60 – 80 м<sup>3</sup>/мин и кислорода 160 – 250 м<sup>3</sup>/мин. Значения давления кислорода (8 МПа) и азота (4 МПа) у входа в соответствующие короткие сопла превышают критическое давление для цилиндрических сопел, и поэтому струи из сопел истекают со звуковыми скоростями в сжатом виде. После выходного сечения сопла происходит расширение струи, вызванное избыточным давлением и нагревом струи. После выравнивания давления струи и давления окружающей среды направленная струя вызывает инжекцию прилегающих объемов газовой атмосферы конвертера, что приводит к образованию конической формы потока по известным законам организации турбулентного факела [5, 6].

Формируемая сжатым азотом газопорошковая струя имеет большую плотность в сравнении с кислородной струей и «раскрывается» в меньшей степени (по разным данным угол ее раскрытия составляет 5 – 15°, тогда как раскрытие чисто газовой струи достигает 20 – 25°). Поэтому в установившемся режиме работы факела в его сечении можно ожидать неравномерного распределения частиц пыли и компонентов газа. Зажигание угольных частиц происходит, очевидно, с внешней стороны факела и распространяется по ходу его движения внутрь. Запыленная струя имеет большую долю негорючего вещества, и это дополнительно задерживает момент загорания угольных частиц в центральном потоке.

Последовательная замена обожженных огнеупорных частиц на необожженные карбонатные материалы потребует затраты части теплоты горения угля на процесс диссоциации. Если доля угля в составе факела останется неизменной, то температура частиц, долетающих до стенки конвертера, естественно, понизится.

Полный расчет системы с учетом всех отмеченных особенностей затруднен из-за отсутствия ряда теплофизических данных, поэтому имеется два пути решения задачи. В первом случае можно оценить влияние последовательной замены части огнеупорной доли пылевоздушной струи карбонатными материалами, при этом придется воспользоваться расчетным температурным полем факела, полу-



ченным в работе [7] для условий работы фурмы, близких к описанным выше.

Во втором случае необходимо определить тепловой баланс системы в каждом локальном участке факела с учетом горения частиц топлива, диссоциации частиц карбонатных материалов, нагрева огнеупорных частиц и газового объема. На основании такого баланса можно оценить температурное поле факела [8].

В расчете конус основной части факела разбивается на дробные слои равной толщины и присваивается им расчетная температура, полученная в работе [4]. Далее составляется балансовая схема (по теплу) для каждого слоя факела и с учетом расхода части теплоты слоя на эндотермическую реакцию диссоциации рассчитывается новое значение температуры слоя.

Кинетику диссоциации карбоната (Ca, Mg)CO<sub>3</sub> фракции 40 – 60 мкм можно рассматривать в виде объемной модели, поскольку радиус частички карбонатного материала сопоставим с толщиной зоны размытия фронта реакции. Для частиц заданного размера можно использовать тепловую схему термически тонкого тела, температура которого определяется из соотношения скорости подвода теплоты и расходования теплоты на химическую реакцию и нагрев продуктов.

Временем формирования газообразной молекулы CO<sub>2</sub> и выхода ее на поверхность частицы пренебрегаем. После начала химического кипения карбонатного материала частица окружена газовым слоем CO<sub>2</sub>, градиент давления которого обеспечивает отток газа от этой частицы в окружающую среду. Поток газа в свободном пространстве зависит от коэффициента вязкости ( $\nu_{CO_2}$ ), площади поперечного сечения потока и градиента давления (можно заменить градиентом концентраций, используя соотношение  $P = cRT$ ). Тогда скорость  $V_g$  газового потока от частицы можно определить из уравнения

$$V_g = \nu_{CO_2} 4\pi r^2 (c^n - c^r); \quad (1)$$

здесь  $c^n$ ,  $c^r$  – концентрация CO<sub>2</sub> у внешней поверхности частицы радиуса  $r$  и в газовом потоке.

Сопротивлением проницаемости образца и наличием градиента давления вдоль радиуса частички в расчете пренебрегли.

#### **Фронтальная модель диссоциации сферической частицы карбонатного материала**

Одной из важных особенностей механизма процесса диссоциации является очень высокая скорость подвода теплоты из-за высокого тем-

пературного градиента. Так, температура химического кипения даже самого термодинамически прочного карбонатного материала (карбоната кальция) составляет 1183 К, тогда как температура внутри факела может достигать 2000 – 2700 К [7]. Твердый раствор карбоната магния в карбонате кальция (доломитизированный известняк) имеет на первой ступени разложения (карбоната магния из раствора) температуру 1000 – 1020 К, т.е. более низкую, чем у CaCO<sub>3</sub>. Таким образом, из-за очень высокого температурного градиента можно принять, что фронты диссоциации и первой, и второй ступеней совпадут, и в зоне активного реагирования расчетное значение равновесного давления станет повышенным. В этом случае отвод углекислого газа от фронта превращения можно представить как вязкостно-диффузионный. Поскольку оба потока имеют общую движущую силу (градиент концентраций) и протекают параллельно, то эффективный вязкостно-диффузионный коэффициент можно представить в виде

$$D_{eff,S} = (D_v + D_D)\varepsilon/q, \quad (2)$$

где  $D_v = \frac{c_0 P_0}{\nu \rho}$  – коэффициент проницаемости потока, м<sup>2</sup>/с;  $c_0$  – проницаемость вещества, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность газа при давлении  $P_0$ , кг/м<sup>3</sup>;  $\nu$  – кинематическая вязкость газа, м<sup>2</sup>/с;  $D_D$  – коэффициент диффузии (Фика), м<sup>2</sup>/с;  $\varepsilon$  – пористость вещества;  $q$  – коэффициент неориентированности пор.

Таким образом, при равенстве скорости химической реакции диссоциации и скорости оттока углекислого газа (CO<sub>2</sub>) через слой извести и приведенную пленку, получаем следующую зависимость [9]:

$$\frac{\partial \omega_k}{\partial \tau} = \frac{3(C_i^* - C_i^r)}{r_{k,0} \rho_k \left[ \frac{1}{K_G} + \frac{r_{k,0}(r_{k,0} - r_{k,i})}{D_{eff,S} r_{k,i}} + \frac{r_{k,0}^2}{k_{s,k}} \right]}, \quad (3)$$

где  $\omega_k = \frac{r_{k,0}^3 - r_{k,i}^3}{r_{k,0}^3}$  – степень диссоциации кар-

бонатного материала;  $C_i^*$ ,  $C_i^r$  – равновесная концентрация реакции диссоциации и концентрация вокруг  $i$ -й частицы карбонатного материала;  $K_G$  – константа массоотдачи, м/с;  $r_{k,0}$  и  $r_{k,i}$  – исходный и текущий радиус частицы;  $k_{s,i}$  – константа скорости химической реакции, м/с.

Разделив переменные и проинтегрировав с учетом начальных условий ( $\tau = 0, \omega = 0$ ), при использовании выражения  $F = 1 - (1 - \omega)^{1/3}$  получим следующую зависимость:

$$\tau = \frac{r_{k,0} \rho_k}{C_i^* - C_i^r} \left[ \frac{\omega_k}{3K_G} + \frac{3F^2 - 2F^3}{6D_{eff,S}} r_{k,0} + \frac{F}{k_{s,k}} \right]. \quad (4)$$

**Объемная модель диссоциации сферической частицы карбонатного материала**

Как видно из анализа публикаций, связанных с кинетикой диссоциации карбонатных материалов, обычно принимается фронтальный характер процесса. Для образцов карбонатного материала, характерная фракция которых превышает 0,003 м, выбор такой модели подтверждается как прямыми наблюдениями фронта реагирования, так и хорошим согласованием кинетических экспериментов с результатами вычислительных экспериментов на фронтальных моделях. В то же время анализ кинетических и теплофизических возможностей процесса показывает, что реальный процесс должен развиваться с размытием зоны активного реагирования. Несмотря на то, что толщина этой зоны невелика и может не учитываться в крупных образцах, для мелких частиц карбонатного материала она может сравниться или даже превысить диаметр частицы. В этом случае может использоваться объемная модель процесса.

Баланс между расходуемой массой карбонатного материала и массой газа CO<sub>2</sub>, выделяемого из этого материала за счет протекания химической реакции диссоциации, имеет вид

$$\frac{4}{3} \pi r_{k,0}^3 \rho_{CO_2} \frac{\partial \omega_k}{\partial \tau} = \frac{4}{3} \pi r_{k,0}^3 (1 - \omega_k) k_v (C_k^* - C^r). \quad (5)$$

После соответствующих преобразований получим

$$\omega_k = 1 - e^{-k_v (C_k^* - C^r) \tau / \rho_k} \quad (6)$$

или

$$\omega_k = 1 - (1 - \varpi) e^{-k_v (C_k^* - C^r) \Delta t / \rho_k}; \quad (7)$$

здесь  $k_v$  – константа объемной скорости реакции, 1/с;  $\varpi$  – степень диссоциации карбонатного материала на предшествующем интервале времени  $\Delta t$ .

Во время нахождения в раскаленном газовом потоке частица карбонатного материала

нагревается по радиационно-конвективному механизму. Обычно теплообмен на поверхности частицы задается уравнением

$$\alpha_k (T_R - T) + \beta (T_R^4 - T^4) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial R}, \quad (8)$$

при этом в случае термически тонкого тела температура всего тела постоянна. Тогда тело воспринимает такое количество теплоты, которое компенсируется эндотермической реакцией диссоциации. В этом случае уравнение (8) можно заменить на следующее:

$$4\pi R^2 [\alpha_k (T_R - T) + \beta (T_R^4 - T^4)] = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \Delta H_{T\rho_k} \frac{\partial \omega}{\partial \tau}. \quad (9)$$

После преобразований с вводом приведенного коэффициента теплообмена ( $\alpha_{пр}$ ) получим уравнение

$$T = T_R - \frac{\Delta H_{T\rho_k} R_0}{3\alpha_{пр}} \frac{k_v (C^* - C^r)(1 - \omega)}{\rho_{CO_2}}, \quad (10)$$

по которому можно вычислить температуру  $T$  образца карбонатного материала для заданной степени диссоциации. Для этой же степени диссоциации по выражению (6) можно определить время, необходимое для ее достижения. Результаты расчетов для температуры 1800 К приведены на рис. 3.

Представленные данные и результаты расчетов позволили сделать вывод, что быстрый прогрев частицы весьма эффективно влияет на кинетику диссоциации. За реальное время нахождения частицы в потоке она успевает нагреться до средней температуры факела. Таким образом, частичная замена огнеупорной пыли карбонатным материалом в торкрет-массе абсолютно допустима и обеспечивает возможность реализации такого варианта технологии торкретирования и ремонта футеровки.

**Выводы.** Для условий технологии ремонта футеровки конвертеров путем совместной раздувки конечного шлака с факельным торкретированием недефицитными торкрет-массами разработана модель диссоциации карбонатной пыли в торкрет-факеле. Результаты расчетов свидетельствуют о возможности существенной замены части обожженной огнеупорной составляющей торкрет-массы пылью доломитизированного известняка, сырого доломита и магнезита. Частицы огнеупора, карбонатного материала или продукта его диссоциации

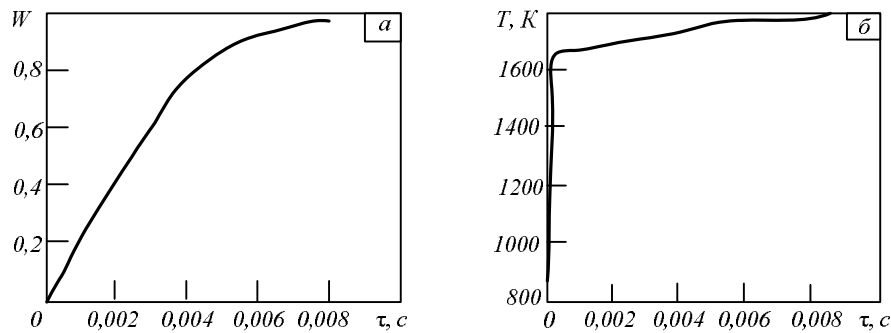


Рис. 3. Кинетика (скорость  $W$  уменьшения размера частиц) диссоциации частицы карбонатного материала размером 0,0025 м (а) и изменение ее температуры по ходу процесса (б)

остаются твердыми вплоть до контакта с поверхностью футеровки. Капли золы выполняют роль связующего материала, удерживающего огнеупорные частицы на стенке конвертера. Примеси в самом огнеупорном материале снижают температуру их плавления и способствуют эффекту прилипания к футеровке.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В., Соколов В.В. и др. Совершенствование технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертеров ОАО ЗСМК. – В кн.: Современные проблемы производства стали и управление качеством подготовки специалистов. Материалы научно-методической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения ученого-металлурга Меджибожского М.Я. (11 – 13 сентября 2002 г.). – Мариуполь: изд. ПГТУ, 2002. С. 89 – 92.
2. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Соколов В.В. и др. Процессы теплообмена в условиях нанесения шлакового гарнисажа и факельного торкретирования футеровки конвертеров. Математическая модель // Изв. вуз. Черная металлургия. 2004. № 10. С. 8 – 13.
3. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Соколов В.В. и др. Исследование процесса нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера с использованием фурм, приспособленных для раздувки шлака и факельного торкретирования. – В кн.: Труды VIII конгресса сталеплавателей, 18 – 22 октября 2004. – Нижний Тагил, 2004. С. 133 – 139.
4. Чернятевич А.Г., Протопопов Е.В., Шеремет В.А. и др. Разработка конструкций фурменных устройств для горячего ремонта футеровки конвертеров // Теория и практика металлургии. 2010. № 1 – 2 (74 – 75). С. 68 – 73.
5. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука. – 1969. – 824 с.
6. Брюханов О.Н., Мاستрюков Е.С. Аэродинамика, горение и теплообмен при сжигании топлива. Справочное пособие. – СПб.: Недра, 1994. – 317 с.
7. Шершнева А.А., Бадах В.Ф., Смыслов Ю.Н. // Огнеупоры. 1986. № 6. С. 46 – 49.
8. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
9. Теория металлургических процессов / В.Б. Охотский, О.Л. Костелов, В.К. Симонов и др. – Киев: ИЗМН, 1997. – 512 с.

© 2013 г. Р.Ф. Калимуллин,  
Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич,  
И.А. Жибинова  
Поступила 19 сентября 2013 г.

УДК 669.046:622.615.001.57

*Р.Ф. Калимуллин<sup>1</sup>, Е.В. Протопопов<sup>1</sup>, А.Г. Чернятевич<sup>2</sup>, И.А. Жибинова<sup>3</sup>*<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет<sup>2</sup>Институт черной металлургии НАН Украины (г. Днепропетровск)<sup>3</sup>Кемеровский государственный университет**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ТОРКРЕТ-ФАКЕЛОВ В ПРОЦЕССЕ «ГОРЯЧЕГО» РЕМОНТА ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА**

Технология нанесения защитных шлаковых и огнеупорных покрытий в настоящее время является основным способом обеспечения высокой стойкости периклазоуглеродистой футеровки кислородных конвертеров в мире. Развитие и оптимизация такой технологии требует создания новых подходов, накопления информации и научного обоснования конкретных технических решений.

В соответствии с предложенными разработками ремонт футеровки целесообразно проводить по технологической схеме с одновременным нанесением шлакового гарнисажа на футеровку конвертера посредством раздувки азотными струями конечного шлака и торкретированием, т.е. вдуванием, «впрессовыванием» в него дешевых порошкообразных карбонатных материалов с целью формирования высокостойкого гарнисажного покрытия [1, 2].

Формирование физической постановки задачи и моделирование, как и в работе [1], выполнены для условий реализации технологии в агрегатах емкостью 350 т с использованием разработанных конструкций торкрет-гарнисажных газоохлаждаемых фурм (схема совместного нанесения шлакового гарнисажа и торкрет-покрытия на футеровку покрытия приведена в работе [1]).

Математическое описание закономерностей распространения торкрет-факелов в полости конвертера проводили с учетом следующих предположений. Диспергированные частицы угля и карбонатного материала инжектируются сжатым азотом (давление 0,4 МПа) через центральную часть коаксиального сопла диаметром 0,028 м [1]. Размер соосного кольцевого зазора определяется по диаметру сопел (0,058 и 0,050 м), между которыми остается цилиндрическое пространство, по ширине равное толщине стенки внутреннего сопла и выполняющее функцию компенсации расширения сжатых струй газовых потоков.

Расчет площади концентричного составного сопла, эквивалентной сумме площадей сечений обоих сопел, и длины  $l$  движения струи, на которой давление сжатой струи снижается до нормального ( $l = 0,0408$  м), показывает, что это расстояние равно 16 эквивалентным диаметрам. Расширение сжатого газа сопровождается его охлаждением и отсутствием присоединенной массы из газового объема окружающей среды. В связи с тем, что скорость движения газовой струи от ее расширения является звуковой, и эффект снижения давления вокруг движущегося потока газа отсутствует, образование циркуляционных вихревых потоков среды, внедряющихся в струю газа, не допускается.

Последовательное гипотетическое рассмотрение миделевых сечений структуры торкрет-факелов позволяет описать общую картину течения.

Сечение первой зоны единичного факела в области выходного сечения сопла можно рассчитать по величине заданного расхода газа и перемещения газовой струи с критической (звуковой) скоростью (приблизительно 300 м/с)

$$R_{\text{экр}} = \sqrt{\frac{500 + 400}{16 \cdot 60 \cdot 300\pi}} = 0,0244 \text{ м.} \quad (1)$$

Эквивалентный диаметр  $D_{\text{экр}} = 2R_{\text{экр}} \approx 0,049$  м можно считать динамическим калибром струи с уравненным со средой давлением.

Последовательно во второй зоне факела происходит воспламенение летучих угля и быстрый прогрев объема газов до температуры внутреннего пространства конвертера, что вызывает увеличение объема газов примерно в  $1800 \text{ К}/300 \text{ К} = 6$  раз. Такое увеличение объема, по-видимому, поддерживает прежнюю критическую скорость течения потока и приводит к росту общего диаметра факела.

Третья зона торкрет-факела по структуре многофазна. Для математического описания процессов в этой зоне определяют геометрические параметры факела, для чего разбивают эту зону на параллельные слои-«шайбы» и рассматривают процессы в каждом слое в радиальном направлении. В дальнейшем рассмотрим профиль торкрет-факела по выделенным зонам. В окислительном газовом потоке находятся пылевидные частицы угля, необожженного и обожженного карбонатного материала. Теория газопылевых потоков отмечает более узкий диапазон угла раскрытия в сравнении с чисто газовым потоком, конусообразное распределение скоростей в сечении и распределение пылевых частиц и состава газа. В этой зоне, очевидно, сгорает основная масса углерода, зола преобразуется в жидкие капли, частицы огнеупора нагреваются, частицы карбонатного материала диссоциируют, при этом продукты диссоциации также нагреваются. Третья зона факела является основной, поскольку здесь достигается важнейшая цель торкрет-процесса – нагрев огнеупорного материала.

Четвертой зоной торкрет-факела является пристеночная зона, которая образуется из-за удара струи с большим динамическим напором в препятствие – футеровку конвертера. Под действием динамического напора на стенку возникает область противодавления, в результате факел как бы растекается во все стороны от оси и распределяется вдоль поверхности стенки футеровки. Инерция твердых и оплавленных частиц позволяет им отклониться от первоначального направления в меньшей степени, чем потоку газа. Данное явление расширяет участок футеровки, обрабатываемый огнеупорным материалом. Огнеупорный порошок, нагретый в третьей зоне, попадает вместе с каплями жидкой золы угольных частиц, прилипает и наслаивается на футеровку. Во вновь образующемся слое продолжают процессы твердофазного взаимодействия между частицами, оставшимися от исходной торкрет-массы и футеровки.

Процессы в факеле протекают в условно-стационарном режиме. Стационарность обеспечивается постоянством расхода материалов торкрет-массы, а условность можно объяснить тем, что температуры наносимого слоя и отходящего от него потока, окружающего факел, непрерывно изменяются.

#### ***Зона физического расширения сжатой газовой струи***

При течении кислорода в кольцевом цилиндрическом сопле с давлением  $P_0$  в выходном

сечении сопла давление снижается до значения  $P_{\text{вых}}$  согласно известному выражению

$$P_{\text{вых}} = P_0 \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}, \quad (2)$$

где  $k$  – показатель адиабаты.

При истечении потока в рабочее пространство конвертера поток расширяется (до достижения нормального давления этого пространства ( $k = 1,4$ )). То же происходит и с вводимым через осевое цилиндрическое сопло потоком сжатого до  $P'_0$  газа-носителя взвеси. Между обоими потоками (кислородным и пылевоздушным) имеется пространство, по толщине равное толщине концентричного внутреннего сопла. Это пространство заполняется обоими потоками, что снижает расчетный радиус зоны расширения; далее оба потока сливаются. Это позволяет определить выходной диаметр потоков в момент, когда давление струй достигнет давления окружающей среды. Таким образом, этот диаметр струи является динамическим калибром факела. Длину первой зоны можно вычислить условно, поскольку известные формулы для такого расчета являются эмпирическими, а фундаментальные выражения для расчета соосного течения потоков, включая многофазный, отсутствуют. В связи с этим можно использовать выражение следующего вида [3]:

$$\frac{l_I}{d_{\text{экв}}} = 7,1 \bar{\rho}^{-0,22}, \quad (3)$$

где  $\bar{\rho} = \frac{\rho_{\text{сп}}}{\rho_{\text{вых}}}$ ;  $\rho_{\text{сп}}$  и  $\rho_{\text{вых}}$  – плотность среды и выходного потока.

Таким образом, на начальном участке факела из сопел выходят два потока: сжатый кислородный и пылезотный. При этом оба потока соприкасаются между собой, причем кислородный в пограничном слое контактирует со средой в конвертере. Расчетная в соответствии с выражением (3) длина  $l_I$  для пары кислород – среда составляет 6,65 калибров, а для пары кислород – пылевоздушный поток – 42 калибра. Учитывая, что оба потока перемешиваются за счет турбулентности, можно оценить общую длину первой зоны

$$l_1 = \left( \frac{42 \cdot 0,028 + 6,65 \cdot 0,056}{2} \right) = 0,78 \text{ м}, \quad (4)$$

что составит  $0,78/0,0408 = 16$  калибров.

**Зона теплового расширения пылегазовой струи**

Учитывая время движения сжатой струи до момента снятия избыточного давления (т.е. на расстоянии 0,78 м), можно оценить средний диаметр струи на этом участке. Принимая допущение о цилиндрической форме струи, получаем, что расчетный диаметр общего сечения отверстий сопел оказывается близким с эквивалентным. Такой подход позволяет сделать вывод о форме начальной зоны струи, близкой к цилиндрической; ожидаемое естественное увеличение диаметра потока компенсируется незаполненным пространством между составными соплами.

В следующей зоне струи происходит интенсивный нагрев газа за счет теплового воздействия окружающей среды и воспламенения летучих угля. Вызванный этим рост объема газа приводит к последовательному увеличению радиуса струи, расчетная величина которого по этой причине составляет около  $26^\circ$ , т.е. практически совпадает с углом расширения затопленной изотермической струи. Поскольку в реальных условиях четкая граница между первой и второй зонами отсутствует, и процесс воспламенения летучих угля может начаться раньше второй зоны, то принимаем угол раскрытия второй зоны струи такой же, как у затопленной изотермической струи –  $22^\circ$ . Поскольку причина расширения струи тепловая, то инжекция из окружающей среды не развивается, и на этом участке струи газовый поток (так же, как и на первом участке) не разбавляется присоединенной массой.

Длина зоны теплового расширения пылегазовой струи составляет 3 – 6 калибров, практически совпадает с начальным участком дозвуковой турбулентной струи. Примем длину зоны  $l_{II} = 4,2$  калибра (определяется по уравнению зависимости осевой скорости потока от длины (x) перемещения струи):

$$\frac{V_{ось}}{V_{вых}} = \frac{0,96}{\frac{0,16x}{D_{экр}} + 0,29}; \quad (5)$$

здесь  $V_{ось}$  и  $V_{вых}$  – осевая скорость и скорость потока на выходе из сопла.

Согласно работе [4] зависимость (5) имеет вид

$$\frac{V_{ось}}{V_{вых}} = \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{D_{экр}}{C\sqrt{2}} / x \right)^2 \right] \right\}^{0,5} \quad (6)$$

и приближается к гиперболической зависимости при больших значениях x

$$\frac{V_{ось}}{V_{вых}} \rightarrow \left( \frac{D_{экр}}{C\sqrt{2}} / x \right); \quad (7)$$

здесь x – общая длина пути, включая начальный участок, на котором сохраняется звуковая скорость струи (т.е. длина пути в третьей зоне плюс начальный участок  $x_0$ );  $C = 0,102(4D_{экр} / x_0)$  – постоянная.

Уравнение (6) справедливо для участка свободной струи вплоть до зоны пристеночного торможения. На расстоянии  $x_0$  осевая скорость падает не более, чем на 5 %. Из уравнения (5) можно найти  $x_0 = 4,1875 \approx 4,2D_{экр}$ .

**Основная зона факела**

В этой зоне продолжается менее интенсивный нагрев потока практически по всей длине зоны. Поэтому внешний слой газового потока, движущегося с большой скоростью, по поверхности начинает эжектировать прилегающие объемы газовой среды и частично смешиваться с ними. При этом наблюдается эффект снижения скорости пограничного слоя потока, который последовательно распространяется к оси факела. Эпюры и характер распределения скоростей в приосевых объемах потока указывают на заметное снижение их при переходе к внешним границам. Экстраполяция такой закономерности на внешние объемы факела показывает условно-нулевую скорость. В реальных условиях процесса поверхностный слой потока не может быть стационарным, более того, со стороны окружающей среды наблюдается даже противоток.

Используя известные эмпирические выражения распределения скоростей, концентраций газа и твердых частиц по радиусу сечения факела, а также приняв допущение о различных углах раскрытия пылевоздушной части факела ( $14^\circ$ ) и чисто газовой оболочки ( $22^\circ$ ), получили следующее выражение:

$$\frac{V}{V_{ось}} = \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{3/2} \right]^2, \quad (8)$$

а в качестве независимого параметра процесса выбрали время перемещения газа вдоль оси факела. Для сопоставления с результатами других моделей расчета торкрет-факела на основную зону факела (конус) нанесли условные сечения через равные расстояния, кратные динамическому калибру факела. Вследствие не-

равномерного распределения скоростей выбор постоянного шага по времени приводит к различию в длинах пути, проходящих потоком на разных расстояниях от оси. Такой подход затрудняет анализ процессов в факеле по пространственной координате, но гарантирует непрерывное временное перемещение вдоль оси факела. Расходы кислорода и пыли перераспределяются в основной зоне факела по кривым, показанным на рис. 1, 2.

Частично динамический напор струи превращается в противодействие, которое имеет радиальное распределение, антибатное распределению напора струи в факеле у самой пристеночной зоны. Распределение напора подчиняется зависимости, полученной из выражения (8); для большей площади сечения факела радиус увеличивается  $R \rightarrow mR$  (где  $m = 1 \div \frac{1}{8} \pi D_{\text{конв}}$ ):

$$\frac{P}{P_{\text{ось}}} = \left[ 1 - \left( \frac{y}{r_{\text{стр}}} \right)^{3/2} \right]^4 \quad (9)$$

Характер кривой противодействия представлен на рис. 2. При изменении направления потока в пристеночной зоне факела распределение скоростей сохраняется, но коническая форма потока меняется на тарелочную. При этом по мере удаления от оси при постоянстве расходов кислорода и порошка площадь поперечного сечения потока каждого дифференциального слоя уменьшается. Инжектирование струей основной зоны факела газовых объемов из окружающей среды увеличивает общий расход газового потока и может быть учтено только через угол раскрытия струи. На этом может основываться расчет профиля потока в пристеночной зоне. В таких условиях вы-

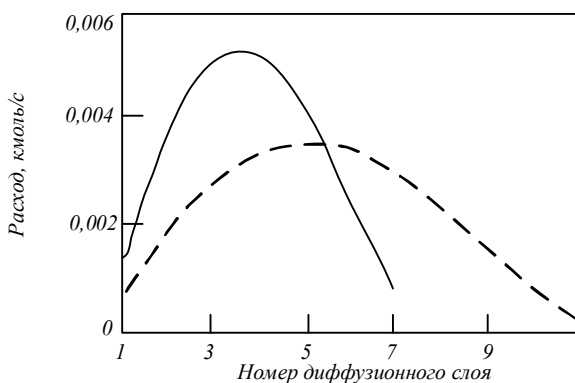


Рис. 1. Распределение расходов кислорода (—) и порошка углерода (---) по сечению потока в начале основной зоны факела

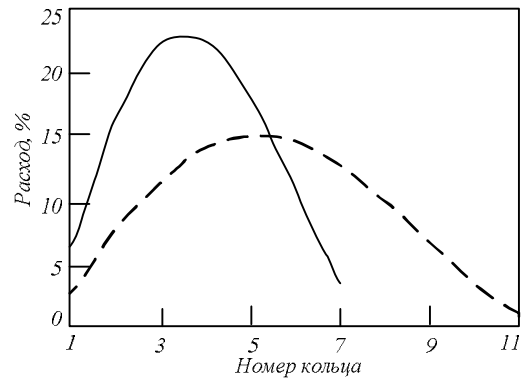


Рис. 2. Распределение объемных расходов кислорода (—) и карбонатной пыли (---) при углах раскрытия струи кислорода 22° и пылевоздушной части факела 14°

зываемая резким изменением направления тока газа его турбулизация способствует смешиванию угольных частиц с остатком кислорода и их дожиганию в пристеночной зоне. При этом поток газов торкрет-факела будет скользить вдоль кривой противодействия (рис. 3), а толщина слоев будет уменьшаться по мере роста радиуса сечения. В нижнем участке поток прижимается к условно-застойной зоне, совпадающей по форме с кривой противодействия для центрального слоя основной зоны факела. Над ним располагаются остальные сосонные условные слои, вплоть до последнего подвижного внешнего слоя факела. Общая толщина слоев изменяется с радиусом сечения факела так, чтобы нормальная потоку площадь поперечного сечения пропускала весь текущий объем газа.

В реальных условиях вследствие обмена количеством движения с окружающей средой следует ожидать, что пристеночное течение будет замедляться. Заторможенное течение начинается в непосредственной близости к поверхности (согласно данным работы [5] предельное расстояние по оси составляет всего 1,2 калибра струи).

Оценить порядок величины максимума на кривой (рис. 3) можно, исходя из факта потери 5 – 8 % скорости потока при изменении направления. Тогда, представив, что зона основного участка факела достигает футеровки, и определив осевую скорость по выражению (5), можно найти давление, которое соответствует 0,08 динамического напора осевой скорости потока в этом месте. Радиус пристеночной зоны на поверхности футеровки не превышает 1/8 длины окружности конвертера на горизонте действия факела. Далее можно рассчитать толщину потока (рис. 3) и, принимая расход газа за основу, найти толщину пристеночного

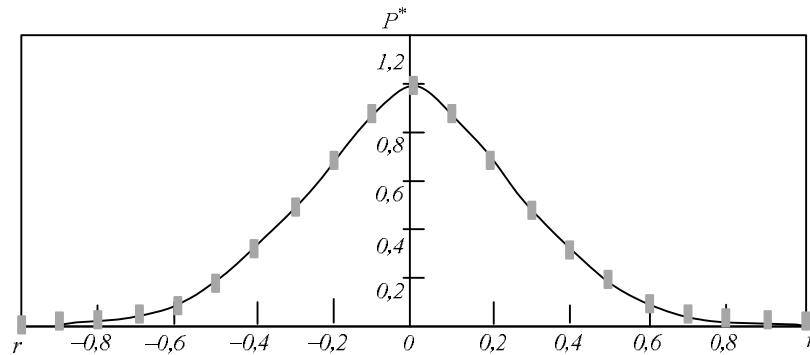


Рис. 3. Расчетная кривая противодавления факелу у стенок конвертера

потока от радиуса у поверхности футеровки. Для этого, задавшись радиусом, нужно найти касательную на кривой (рис. 2) по величине ее производной, а затем — уравнение нормали к этой касательной в расчетной точке. Длину нормали находим из баланса рабочего расхода и площади сечения усеченного конуса в расчетной точке. Выполнив такой расчет для нескольких точек, можно найти контур пристеночного потока.

**Выводы.** При реализации технологии совместного нанесения шлакового гарнисажа и торкретирования и известных распределениях расходов кислорода и углеродсодержащего материала по сечению потока в начале основной зоны факела, известных объемных расходах кислорода и частиц материала по сечению торкрет-факела можно оценить их отклонение в пристеночном потоке и рассеяние на поверхности футеровки в зависимости от массы частиц.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калимуллин Р.Ф., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Жибинова И.А. Моделирование термогазодинамических особенностей торкретирования футеровки конвертеров карбонатными торкрет-массами // Вестник СибГИУ. 2013. № 4. С. 4 – 8.
2. Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В., Соколов В.В. и др. Совершенствование технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертеров ОАО ЗСМК. – В кн.: Современные проблемы производства стали и управление качеством подготовки специалистов. Материалы научно-методической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения ученого-металлурга Меджибожского М.Я. (11 – 13 сентября 2002 г.). – Мариуполь: изд. ПГТУ, 2002. С. 89 – 92.
3. Теория металлургических процессов / В.Б. Охотский, О.Л. Костелов, В.К. Симонов и др. – Киев: ИЗМН, 1997. – 512 с.
4. Шершнева А.А., Бадах В.Ф., Смышляков Ю.Н. // Огнеупоры. 1986. № 6. С. 46 – 49.
5. Martin H. – In: Advances in heat Transfer. 1977. Vol. 13. P. 1 – 60.

© 2013 г. Р.Ф. Калимуллин,  
Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич,  
И.А. Жибинова

Поступила 19 сентября 2013 г.



*М.В. Попова, Н.В. Кибко*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В НИХ КРЕМНИЯ

Благоприятное сочетание литейных, механических и ряда эксплуатационных свойств позволяет применять силумины в машино-, авиа- и приборостроении. Свойства сплавов Al – Si зависят от их микроструктуры, которая определяется химическим составом, условиями плавки (в том числе обработки шихты и расплава), кристаллизации и термической обработки.

Актуальной проблемой для промышленности остается разработка легких сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения ( $\alpha$ ). Как известно [1 – 7], основным легирующим элементом, который оказывает значительное влияние на снижение удельного веса сплавов Al – Si и коэффициент  $\alpha$ , является кремний.

Целью работы являлась качественная оценка формы структурных составляющих и оценка количественных параметров микроструктуры силуминов с различным содержанием кремния (размеров выделений первичного и эвтектического кремния, дендритов  $\alpha$ -твердого раствора).

В работе проведено исследование влияния содержания кремния на температурный коэффициент линейного расширения силуминов.

В расплав алюминия вводили кристаллический кремний в количестве 3, 5, 7, 11 и 15 %.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе OLYMPUS GX51 с программным обеспечением компании СИАМС, диапазон увеличения 100 – 1000. Для определения температурного коэффициента линейного расширения использовали дилатометр Шевенара.

Металлографический анализ позволил установить, что структура силумина, содержащего 3 % кремния, представляет собой дендриты размером 62 – 415 мкм  $\alpha$ -твердого раствора, между которыми располагается мелкодисперсная эвтектика с частицами эвтектического кремния размером 0,5 – 2,4 мкм (рис. 1, а). Наблюдаются поры небольшого (13,4 – 124,0 мкм) размера.

Повышение содержания кремния в силумине до 5 % способствует росту дендритов  $\alpha$ -твердого

раствора до 120 – 1433 мкм и устранению пористости (рис. 1, б).

При легировании сплава кремнием в количестве 7 % наблюдаются диспергирование дендритов  $\alpha$ -твердого раствора до 77 – 549 мкм, увеличение частиц эвтектического кремния в незначительной степени (до 0,5 – 4,0 мкм) и повышение объемной доли эвтектики по сравнению с силумином, содержащим 5 % кремния (рис. 1, в). Введение в расплав алюминия 7 % кремния вызывает порообразование в силумине; размер пор гораздо больше (42 – 393 мкм), чем при легировании кремнием в количестве 3 %.

Повышение содержания кремния до эвтектического и заэвтектического составов способствует еще большему увеличению объемной доли эвтектики.

При легировании алюминия кремнием в количестве 11 % наблюдаются диспергирование эвтектического кремния (0,3 мкм), рост дендритов  $\alpha$ -твердого раствора до 86 – 865 мкм при уменьшении их объемной доли и увеличение размера пор до 200 – 428 мкм (рис. 1, г). Повышение содержания кремния с эвтектического до заэвтектического состава способствует появлению в структуре первичных кристаллов кремнистой фазы в местах скопления дендритов  $\alpha$ -твердого раствора и участков слабо модифицированной эвтектики, а также устранению пористости (рис. 1, д, е).

Изменение количества кремния, содержащегося в силуминах, оказывает влияние на величину и характер изменения температурного коэффициента линейного расширения (рис. 2).

Введение в алюминий 3 и 5 % кремния способствует возникновению аномалии теплового расширения в интервале температур испытания 250 – 350 °С. Увеличение содержания кремния до 7 – 15 % устраняет аномалию и уменьшает значение  $\alpha$  в интервале температур испытания 50 – 450 °С. Наименьшие значения температурного коэффициента линейного расширения ( $\alpha_{50-250\text{ °C}} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ ) наблюдаются у силуминов с наибольшим (15 %) содержанием кремния.

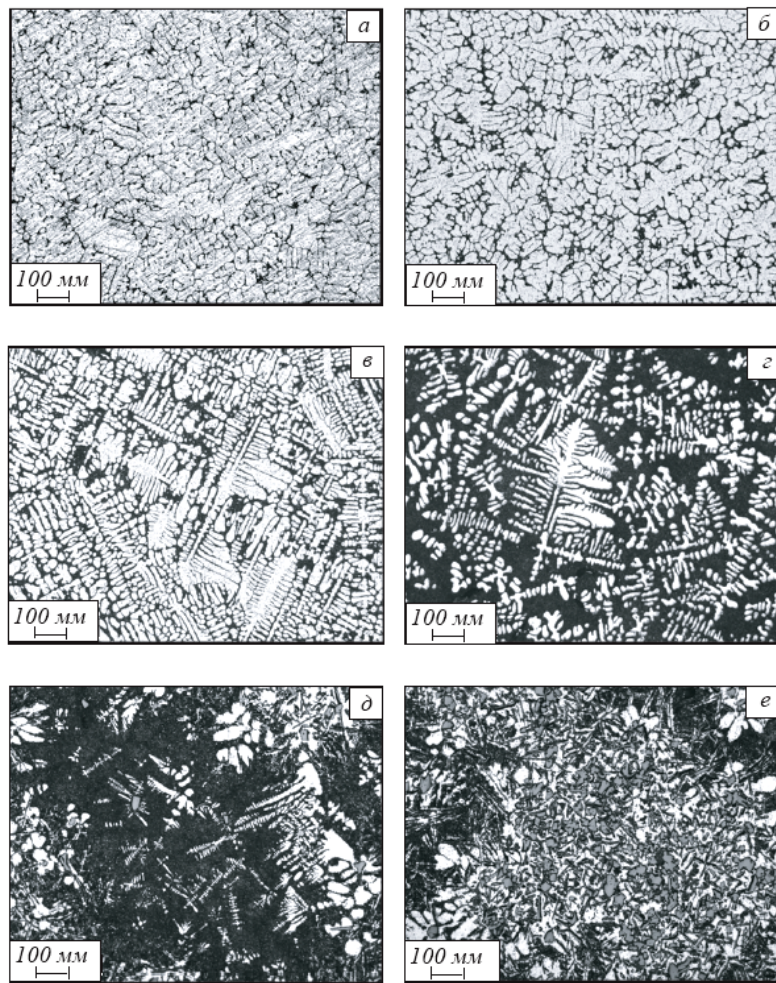


Рис. 1. Микроструктура силуминов с содержанием кремния 3 % (а), 5 % (б), 7 % (в), 11 % (г), 15 % (д, е)

**Выводы.** Повышение содержания кремния в силуминах способствует уменьшению объемной доли твердого раствора и размера дендритных ветвей, а также увеличению объемной доли эвтектики дисперсного строения. При изменении содержания кремния с 3 до 15 % уменьшается средний размер частиц эвтектического кремния с 0,5 – 2,4 до 0,2 – 1,9 мкм.

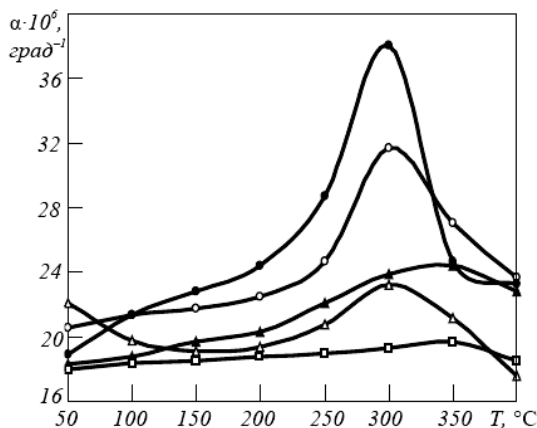


Рис. 2. Влияние содержания кремния на температурный коэффициент линейного расширения силуминов:  
○ – 3 %; ● – 5 %; △ – 7 %; ▲ – 11 %; □ – 15 %

Максимальная степень диспергирования кремния в составе эвтектики до 0,3 мкм наблюдается у сплава Al – 11 % Si. При содержании кремния 15 % в структуре сплава присутствуют частицы кремнистой фазы. Между численными характеристиками параметров микроструктуры и величиной температурного коэффициента линейного расширения существует корреляция: общее снижение значений  $\alpha$  связано с уменьшением размеров структурных составляющих. Повышение содержания кремния в сплаве до 7 % и более устраняет аномалию теплового расширения и способствует снижению  $\alpha$  в интервале температур испытания 50 – 450 °С. Наименьшие значения температурного коэффициента линейного расширения наблюдаются у сплава Al – 15 % Si ( $\alpha_{50-250\text{ °C}} = 15 \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ ), что существенно ниже значений  $\alpha$  сплава Al – 3 % Si ( $\alpha_{50-250\text{ °C}} = 22 \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ ).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.

2. Белов Н.А., Савченко С.В., Хван А.В. Фазовый состав и структура силуминов. – М.: МИСИС, 2008. – 282 с.
3. Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. – М.: МИСИС, 2005. – 376 с.
4. Водород и свойства сплавов алюминия с кремнием / В.К. Афанасьев, И.Н. Афанасьева, М.В. Попова и др. – Абакан: Хакасское кн. изд-во, 1998. – 192 с.
5. Афанасьев В.К., Горшенин А.В., Старостина М.А. Особенности влияния малых добавок кремния на линейное расширение алюминия // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 88, 89.
6. Афанасьев В.К., Горшенин А.В., Старостина М.А. Об аномалиях линейного расширения алюминия марки А7 // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 8. С. 53, 54.
7. Попова М.В., Кривичева Н.В., Копытько А.А. Влияние малых добавок легкоплавких элементов на коэффициент линейного расширения алюминия // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 8. С. 27, 28.

© 2013 г. М.В. Попова, Н.В. Кибко  
Поступила 19 сентября 2013 г.

УДК 669.162.142

*А.А. Одинцов<sup>1</sup>, В.А. Долинский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат

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

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОФИЛАКТИРОВАННОГО ИЗВЕШЬЮ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА В АГЛОМЕРАЦИИ\***

Проблема обеспечения железорудным сырьем для аглофабрики ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» существует с момента пуска агломашиин в 1967 – 1971 гг. По проекту основным поставщиком железорудного сырья для аглопроизводства «ЕВРАЗ ЗСМК» был Коршуновский ГОК. Однако в период снижения объема производства горно-металлургическим комплексом России в 1990-х гг. и сменой собственника на Коршуновском ГОКе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» было вынуждено приобретать железорудное сырье у ряда ГОКов России (Кузнецкого, Михайловского, Стойленского, Оленегорского, КМАруда, Лебединского, Высокогорского, Бакальского), а также Казахстана (Лисаковского, Соколовско-сарбайского).

В условиях финансово-экономического кризиса 2008 – 2010 гг. возросла актуальность сокращения издержек, существенную долю которых на металлургических предприятиях составляют затраты на сырье. Использование местного железорудного сырья (ОАО «Евразруда») для ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» создало

предпосылки для достижения синергетического эффекта предприятий ЕВРАЗА.

Сокращение, а затем и ликвидация доменного производства на ОАО «НКМК» в 2007 – 2009 гг. привело к перепрофилированию Абагурского филиала с обогатительно-агломерационного в обогатительное и соответствующему увеличению поставок на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» железорудного концентрата. Для отгрузки абагурского концентрата в зимний период времени в 2003 г. была проведена реконструкция аглоучастка № 2 с установкой сушильного барабана (проектная производительность 408 тыс. т/год). Однако в зимний период времени мощности сушильного барабана не позволяли перерабатывать весь влажный концентрат. Для решения проблемы транспортировки влажного концентрата в зимний период времени (2007 – 2008 гг.) было решено профилактировать его от смерзаемости раствором хлористого кальция (CaCl<sub>2</sub>).

Ввиду повышенной влажности материала разгрузка и транспортировка профилактированного концентрата на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» приводила к дестабилизации работы подающих конвейеров, забивке течек и т.п. На агло-

\* В работе принимали участие А.И. Шенцов, Н.Г. Дячок, А.Д. Шарига, В.К. Николаев.

мерационных машинах прогрессировало явление зарастания колосникового поля, что приводило к снижению живого сечения колосниковой решетки, увеличению трудозатрат по ее очистке, снижению объема производства агломерата. Также наблюдалось накопление хлоридов в возврате, уловленной пыли батарейных циклонов, агломерационных шламах и оборотной воде. В зимний период ситуация с приемкой и разгрузкой абагурского концентрата еще более усложнилась, так как концентрат поставщиком отгружался с влажностью 9 % и более без профилактики против смерзаемости. Помимо дестабилизации работы трактов подачи аглофабрики, это приводило к накоплению немобильного концентрата, который вывозился с закрытых складов концентрата на напольный склад. Таким образом, проблема транспортировки и разгрузки влажного абагурского концентрата в зимний период времени на аглофабрике оставалась нерешенной в течение нескольких лет.

Для решения проблемы транспортировки всего объема абагурского концентрата в зимний период специалистами ОАО «Евразруда» и «ЕВРАЗ ЗСМК» разработано техническое предложение по профилактике влажного концентрата обожженной известью. В 2009 г. была проведена реконструкция обогатительного цеха Абагурского филиала с целью организации производства извести на агломашине № 7 и последующего смешивания извести с влажным концентратом, отгрузки полученной смеси на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Способ производства извести на конвейерной машине получил широкое распространение на Украине в связи с наличием избыточных мощностей аглофабрик. Производство извести осуществляется на маломощных конвейерных машинах КМ-14 (шихта для обжига состоит из известняка и коксовой мелочи) [1]. Необходимо также отметить, что полученная на конвейерных машинах известь используется только по прямому назначению – как интенсификатор аглопроцесса. Таким образом, схема получения извести на агломашине МАК-90 с последующим ее вводом в концентрат для

профилактирования от смерзаемости в настоящее время не имеет аналогов не только в отечественной, но и зарубежной практике.

Проведенные лабораторные и промышленные исследования по вводу извести в штабели с концентратом с последующим вылеживанием полученной смеси показали эффективность данного мероприятия в различных шихтовых условиях [2, 3].

Цель настоящей работы – оценка влияния ввода профилированного известью абагурского концентрата в аглошихту на показатели агломерационного процесса и качество агломерата. В табл. 1 приведен химический состав извести, получаемой на агломашине и в шахтной печи.

Сравнительный анализ представленных данных показывает, что качество извести, полученной на агломашине, несколько уступает качеству извести, произведенной в шахтных печах, что согласуется с данными работ [1, 3]. Повышенное содержание серы в извести с агломашин объясняется наличием в шихте для производства извести коксовой мелочи; для обжига известняка в шахтных печах используется только газообразное топливо (природный газ). Низкое содержание активного оксида кальция в извести агломашин обусловлено незавершенностью процесса обжига известняка [4].

В сентябре и октябре 2009 г. на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» поступили первые опытные партии профилированного известью абагурского концентрата. В связи с отработкой технологии обжига известняка на агломашине и профилирования концентрата полученной известью, относительно незначительными объемами поставок профилированного концентрата ОАО «Евразруда» в сентябре и октябре 2009 г. показатели по этим месяцам в дальнейшем анализе не учитывались.

За период с сентября 2009 по май 2010 г. было поставлено 463 партии концентрата общей массой 1273,8 тыс. т. Средневзвешенное содержание влаги в профилированном концентрате составило 5,27 % (при колебаниях от 1,69 до 8,08 %) против заявленного (допустимого) в ТУ – 4,8 %. Концентрат имел неста-

Т а б л и ц а 1

**Химический состав извести**

Известь	Содержание, %								
	S	P	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaO <sub>акт</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ППП
Шахтной печи	0,030	–	0,53	80,95	70,80	1,11	1,17	0,50	15,89
Агломашин	0,110	0,012	1,24	80,30	66,85	1,56	2,04	0,77	14,00

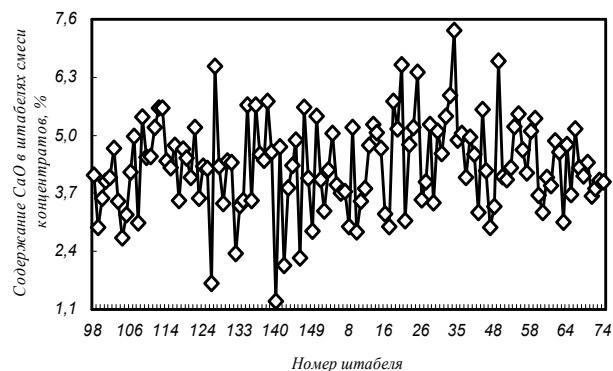
бильный (по содержанию железа, оксида кальция, кремнезема и др.) химический состав (см. табл. 2). Основные причины вышеуказанных недостатков – неудовлетворительное качество получаемой извести (низкое содержание активного оксида кальция, повышенная крупность) и не обеспечение заявленной нагрузки известкования (120 кг/т концентрата) у поставщика. Фактическая нагрузка извести по партиям колебалась в диапазоне 100 – 240 кг/т при среднемассовой (расчетной) 132 кг/т концентрата. Средние значения показателей усреднения профилированного абагурского концентрата (за период с ноября 2009 по май 2010 г.) по содержанию Fe, CaO и влаги составили: 24,4, 28,1 и 51,1 % (см. табл. 3), что существенно ниже показателей усреднения других железорудных концентратов, используемых на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Существенное превышение фактической влажности концентрата против установленной ТУ привело к увеличению простоев вагоноопрокидывателей аглофабрики «ЕВРАЗ ЗСМК» (длительный разогрев концентрата в рудоразмораживающих установках (как следствие), разбивка мерзляков) и остатков концентрата в полувагонах после выгрузки.

Крупность известкованного концентрата существенно выше крупности влажного (табл. 4). Так, содержание класса крупности менее 0,074 мм в профилированном известью концентрате составило в среднем 48,73 против 55,58 % в исходном при колебаниях от 44,64 до 52,43 %. Крупные классы (более 1 мм) известкованного концентрата представляют собой «жареный» известняк.

Среднее содержание профилированного известью концентрата в сформированных железорудных штабелях – 28,80 % при колебаниях от нуля до 60,19 %. Нестабильная нагрузка извести на концентрат (у поставщика), неритмичные поставки железорудного сырья, а также существенное снижение остатков смеси концентратов на складах аглофабрики в зимний период времени приводили к значительным колебаниям содержания оксида кальция в железорудных штабелях, забранных в период с ноября 2009 г. по май 2010 г. (см. рисунок), что в свою очередь отрицательно влияло на усреднение смеси концентратов.

Усреднение смеси концентратов в опытном периоде по сравнению с базовым снизилось: по содержанию железа – на 25,4 % (с 83,5 до 8,1 %); оксида кальция – на 26,4 % (с 87,9 до 61,5 %); кремнезема – на 11,4 % (с 98,4 до 87,0 %) и магнезии – на 5,2 % (с 98,1 до 92,8 %) соответственно. Ухудшение усреднения



Изменение содержания оксида кальция по штабелям смеси концентратов

смеси концентратов произошло вследствие несоответствия фактических поставок железорудного сырья плановым, снижения их ритмичности и введения в состав смеси профилированного абагурского концентрата.

При подаче со складов, движении по трактам, известковании, закачке бункеров и дозировании смеси концентратов (содержащих профилированный концентрат) на аглофабрике ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» серьезных проблем не отмечено.

Оценка влияния введения в состав аглошихты профилированного известью абагурского концентрата на основные технологические показатели процесса спекания и качество агломерата производилась на основании анализа среднемесячных данных за период с ноября 2009 по май 2010 г. (опытный период). В качестве базового был выбран период с июня по сентябрь 2009 г. (работа аглофабрики в составе трех агломашин). Полученные данные приведены в табл. 5 – 7.

Анализ данных табл. 5 показывает, что в опытном периоде, по сравнению с базовым, произошло существенное изменение состава железорудной части шихты. Так, повышено содержание в шихте михайловского концентрата (с 1,18 до 7,29 %) при выводе карельского концентрата; введены в состав шихты лебдинский и высокогорский профилированные концентраты (10,41 и 0,94 % соответственно); снижено суммарное содержание местных (абагурский и мундыбашский) концентратов с 66,07 до 55,52 %. Среднее содержание профилированного абагурского концентрата в шихте опытного периода составило 27,02 % при снижении доли абагурского (сушеный/влажный) с 45,21 до 13,03 %.

Использование профилированного известью концентрата в аглошихту привело к увеличению общего расхода извести с 25,86 до

Таблица 2

## Химический состав профилактированного известью абагурского концентрата

Период	Содержание, %																
	Fe	Mn	S	P	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ZnO	MnO
Ноябрь	54,20	0,22	0,45	0,023	24,60	50,17	9,56	5,91	2,09	1,96	0,053	4,49	0,15	0,07	0,10	0,054	0,28
Декабрь	54,00	0,25	0,48	0,026	23,90	50,66	9,47	6,10	2,05	2,06	0,060	4,79	0,15	0,05	0,10	0,052	0,32
Январь	52,41	0,19	0,49	0,027	23,20	49,17	10,73	5,97	2,09	1,95	0,062	5,09	0,15	0,04	0,08	0,045	0,25
Февраль	51,98	0,22	0,43	0,030	23,10	48,66	10,75	6,14	2,46	1,96	0,069	5,73	0,15	0,04	0,10	0,048	0,28
Март	51,94	0,20	0,36	0,028	21,90	49,94	10,86	6,17	2,31	1,98	0,064	6,33	0,15	0,05	0,09	0,042	0,26
Апрель	53,37	0,19	0,35	0,026	23,20	50,54	9,59	6,01	2,28	1,96	0,060	5,94	0,15	0,05	0,13	0,041	0,25
Май	53,38	0,18	0,36	0,023	22,50	51,33	9,52	5,70	2,30	1,82	0,053	6,90	0,15	0,07	0,10	0,037	0,23
<b>Среднее</b>	<b>53,04</b>	<b>0,21</b>	<b>0,42</b>	<b>0,026</b>	<b>23,20</b>	<b>50,07</b>	<b>10,07</b>	<b>6,00</b>	<b>2,23</b>	<b>1,96</b>	<b>0,060</b>	<b>5,61</b>	<b>0,15</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,046</b>	<b>0,27</b>
<b>Минимум</b>	<b>51,94</b>	<b>0,18</b>	<b>0,35</b>	<b>0,023</b>	<b>21,90</b>	<b>48,66</b>	<b>9,47</b>	<b>5,70</b>	<b>2,05</b>	<b>1,82</b>	<b>0,053</b>	<b>4,49</b>	<b>0,15</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,037</b>	<b>0,23</b>
<b>Максимум</b>	<b>54,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,49</b>	<b>0,030</b>	<b>24,60</b>	<b>51,33</b>	<b>10,86</b>	<b>6,17</b>	<b>2,46</b>	<b>2,06</b>	<b>0,069</b>	<b>6,90</b>	<b>0,15</b>	<b>0,07</b>	<b>0,13</b>	<b>0,054</b>	<b>0,32</b>

Т а б л и ц а 3

**Показатели усреднения профилактированного известью абагурского концентрата**

Период	Месяц	Усреднение ( $\pm 0,5$ ), %		
		Fe	CaO	влажность
2009 г.	Сентябрь	27,3	27,3	36,4
	Октябрь	33,3	38,9	50,0
	Ноябрь	18,5	20,0	55,4
	Декабрь	33,9	38,7	48,4
	Январь	20,0	30,9	41,8
	Февраль	31,9	29,8	55,3
2010 г.	Март	20,3	31,3	50,0
	Апрель	26,7	28,3	53,3
	Май	19,4	17,9	53,7
	<b>Среднее</b>	<b>24,4</b>	<b>28,1</b>	<b>51,1</b>
	<b>Минимум</b>	<b>18,5</b>	<b>20,0</b>	<b>41,8</b>
	<b>Максимум</b>	<b>33,9</b>	<b>38,7</b>	<b>55,4</b>

50,58 кг/т агломерата (см. таблицу 6), что позволило интенсифицировать агломерационный процесс. Удельная производительность агломашин по цеху в опытный период по сравнению с базовым повысилась на 3,85 % и составила 1,0102 т/(м<sup>2</sup> · ч). Повышение удельной производительности обусловлено изменением состава шихты (на 1,90 %) и использованием профилактированного известью абагурского концентрата (на 1,95 %). Основные причины незначительного увеличения удельной производительности: низкое содержание активного оксида кальция, грубый помол вводимой в концентрат извести (в отдельные периоды до 25 мм) у поставщика. На незначительный прирост удельной производительности также повлияли следующие факторы: снижение температуры шихты на 12 – 13 °С (с 59 – 61 до 46 – 49 °С) и уровня разрежения в газовом коллекторе на 75 мм вод. ст. (с 867 до 792 мм вод. ст.); сдерживание агломашин (косвенный показатель – повышение температуры отходящих газов с 139 до 144 °С) по причинам доменного цеха, существенного снижения остатков смеси концентратов на складах аглофабрики и увеличения высоты спекаемого слоя на 6 мм (с 382 до 389 мм); дефицит извести (удельный расход был снижен с 25,86 до 22,82 кг/т агломерата).

Механическая прочность агломерата улучшилась вследствие изменения состава шихты, увеличения основности (см. табл. 7) агломера-

та и повышения высоты спекаемого слоя. Улучшение механической прочности агломерата сопровождалось снижением мелочи в годном агломерате (с 13,70 до 12,28 %).

Как указывалось ранее, по ряду причин усреднение смеси концентратов в опытный период снизилось. Это привело к снижению качества агломерата по постоянству химического состава: по содержанию железа и основности – с 73,6 до 61,5 % и с 86,6 до 78,3 %; по содержанию марганца и монооксида железа – с 96,2 до 92,1 % и с 91,0 до 89,8 % соответственно.

Динамика химического состава агломерата (см. табл. 7) связана с изменением базовых показателей (содержания железа, основности) по агломерату, состава и качественных характеристик компонентов аглошихты.

В дальнейшем, поступательное совершенствование технологии обжига известняка, а также проведенная модернизация комплекса агломашин № 7 [4] позволили стабилизировать качество профилактированного концентрата по химическому и гранулометрическому составам, снизить влажность материала.

Таким образом, впервые в отечественной практике внедрена и отработана технология комбинированного ввода извести в аглошихту: на первой стадии – в концентрат ММС на ГО-Ке с последующей закладкой известкованного концентрата в штабель смеси концентратов на складах аглофабрики; на второй стадии – в поток смеси концентратов, подаваемой со складов аглофабрики.

**Выводы.** Профилактированный известью концентрат характеризовался нестабильным химическим составом и содержанием влаги по партиям, что приводило к ухудшению усреднения агломерата по содержанию железа, его монооксида, марганца и основности. Введение в аглошихту профилактированного известью абагурского концентрата позволяет повысить удельную производительность агломашин на 1,95 %. Незначительный прирост удельной производительности, несмотря на увеличение общего расхода извести с 25,86 до 50,58 кг/т агломерата, объясняется низким качеством извести, полученной на конвейерной машине. В связи с пониженным качеством извести, получаемой на конвейерной машине, данный способ производства агломерационной извести целесообразен только при наличии избыточных мощностей аглофабрик.



## Гранулометрический состав местных концентратов ММС

Период	Содержание, %, класса крупности материала, мм												
	0 – 0,05	0,05 – 0,063	0,063 – 0,074	0,074 – 0,1	0,1 – 0,16	0,16 – 0,2	0,2 – 0,315	0,315 – 0,4	0,4 – 0,63	0,63 – 1,0	1,0 – 5,0	5,0 – 12,0	<0,074
<i>Абагурский профилактированный</i>													
Ноябрь	23,71	14,43	12,38	12,37	13,4	6,19	6,19	2,06	2,06	1,03	4,12	2,06	<b>50,52</b>
Декабрь	23,86	17,05	10,23	13,64	14,77	6,82	5,68	1,14	1,14	1,14	3,4	1,13	<b>51,14</b>
Январь	25,24	18,45	8,74	10,68	12,62	7,77	6,80	2,91	–	0,97	2,91	2,91	<b>52,43</b>
Февраль	19,64	13,39	11,61	9,82	14,29	9,82	8,93	3,57	0,89	0,89	3,57	3,58	<b>44,64</b>
Март	21,55	14,66	9,48	11,21	13,79	7,76	8,62	4,31	–	0,86	2,58	4,31	<b>45,69</b>
Апрель	21,29	15,74	12,04	14,81	13,89	8,33	6,48	1,85	–	0,93	1,86	1,85	<b>49,07</b>
Май	18,10	17,14	12,38	16,19	15,24	7,62	5,71	0,95	–	–	1,90	4,77	<b>47,62</b>
<b>Среднее</b>	<b>21,91</b>	<b>15,84</b>	<b>10,98</b>	<b>12,67</b>	<b>14,00</b>	<b>7,76</b>	<b>6,92</b>	<b>2,40</b>	<b>1,36</b>	<b>0,97</b>	<b>2,91</b>	<b>2,94</b>	<b>48,73</b>
<b>Максимум</b>	<b>25,24</b>	<b>18,45</b>	<b>12,38</b>	<b>16,19</b>	<b>15,24</b>	<b>9,82</b>	<b>8,93</b>	<b>4,31</b>	<b>2,06</b>	<b>1,14</b>	<b>4,12</b>	<b>4,77</b>	<b>52,43</b>
<b>Минимум</b>	<b>18,10</b>	<b>13,39</b>	<b>8,74</b>	<b>9,82</b>	<b>12,62</b>	<b>6,19</b>	<b>5,68</b>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	<b>0,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,13</b>	<b>44,64</b>
<i>Абагурский</i>													
<b>Среднее</b>	<b>23,93</b>	<b>17,44</b>	<b>14,21</b>	<b>14,96</b>	<b>13,57</b>	<b>8,18</b>	<b>6,48</b>	<b>1,23</b>	–	–	–	–	<b>55,58</b>
<i>Мундыбаишский</i>													
<b>Среднее</b>	<b>21,65</b>	<b>19,61</b>	<b>13,46</b>	<b>14,52</b>	<b>14,53</b>	<b>8,66</b>	<b>6,65</b>	<b>0,93</b>	–	–	–	–	<b>54,72</b>



## Содержание концентратов в железорудной части шихты

Концентрат	Среднее содержание, % за период		Отклонение, %
	опытный	базовый	
Коршуновский	18,28	20,03	- 1,75
Михайловский	7,29	1,18	6,11
Лебединский	10,41	-	10,41
Высокогорский профилактированный	0,94	-	0,94
Абагурский	13,03	45,21	- 32,18
<b>Абагурский профилактированный</b>	<b>27,02</b>	-	27,02
Мундыбашский	15,47	20,86	- 5,39
Карельский	-	3,96	- 3,96
<b>Абагурский + абагурский профилактированный</b>	<b>40,05</b>	45,21	- 5,16
<b>Абагурский + мундыбашский</b>	<b>55,52</b>	66,07	- 10,55
<b>Итого концентратов:</b>	<b>93,18</b>	91,38	1,80

Т а б л и ц а 6

## Основные показатели процесса спекания

Показатель	Среднее значение за период		Отклонение
	опытный	базовый	
Производство агломерата, т, в том числе:			
план	633 157	620 750	12 407
факт	631 445	625 388	6 057
отклонение ±, т	- 1 712	4 638	- 6 350
отклонение, %	- 0,57	0,63	- 1,20
Удельная производительность агломашин, т/(м <sup>2</sup> ·ч)	1,0102	0,9713	0,0389
Простои, %:			
общие	9,8	7,9	1,9
текущие	5,3	3,3	2,0
Температура слоя шихты, °С:			
верхнего	46	59	- 13
нижнего	49	61	- 12
Разрежение в газовом коллекторе, мм вод. ст.	792	867	- 75
Содержание возврата в шихте, %	29,4	32,2	- 2,8
Температура отходящих газов, °С	144	139	5
Высота спекаемого слоя, мм	389	382	6
Удельный расход, кг/т агломерата:			
собственной извести	22,82	25,86	- 3,04
общей извести	50,58	25,86	24,72
известняка	67,24	93,36	- 26,12
твердого топлива	56,46	56,49	- 0,03

**Химический состав агломерата и  
его усреднение**

Элемент, оксид	Среднее значение за период		Отклонение
	опытный	базовый	
<i>Химический состав, % и основность</i>			
Fe	56,24	55,50	0,74
Mn	0,41	0,40	0,01
S	0,019	0,019	0,000
P	0,042	0,046	-0,004
CaO	9,66	9,20	0,46
SiO <sub>2</sub>	6,19	6,51	-0,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,82	2,16	-0,34
MgO	2,09	2,23	-0,14
FeO	12,22	12,48	-0,26
K <sub>2</sub> O	0,102	0,110	-0,008
Na <sub>2</sub> O	0,069	0,083	-0,014
TiO <sub>2</sub>	0,165	0,187	-0,022
ZnO	0,042	0,054	-0,012
CaO/SiO <sub>2</sub>	1,56	1,42	0,14
<i>Усреднение, %</i>			
± 0,5 Fe	61,5	73,6	-12,1
± 0,1 Mn	92,1	96,2	-4,1
± 0,05 осн.	78,3	86,6	-8,3
± 1,5 FeO	89,8	91,0	-1,2

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 501 с.
2. Минаков Н.С., Кретилин В.И., Горбачев В.П. и др. Исследование влияния различных способов ввода извести в шихту на показатели процесса агломерации // Сталь. 1988. № 9. С. 5 – 8.
3. Крижевский А.З., Сальников И.М., Иванов А.К. Влияние качества извести на производительность агломашин // Металлург. 1977. № 4. С. 10 – 12.
4. Береснев И.С., Клейн В.И., Зарщиков П.И. и др. Производство извести на агломерационной машине МАК-90 // Сталь. 2013. № 4. С. 2 – 5.

© 2013 г. А.А. Одинцов, В.А. Долинский  
Поступила 17 сентября 2013 г.

*С.В. Риб, А.М. Никитина, Д.М. Борзых*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПРОВОДИМЫХ ПО ПЕРВОМУ СЛОЮ ПЛАСТА III В УСЛОВИЯХ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ И ПЛИКАТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ С ДРОБЛЕННЫМИ И ОБВОДНЕННЫМИ ПОРОДАМИ В УСЛОВИЯХ ОАО «ШАХТА «СИБИРГИНСКАЯ»

Статистика применения анкерной крепи показывает, что основной проблемой в безопасном поддержании горных выработок, находящихся под влиянием горно-геологических нарушений, является низкий уровень исследований, направленных на установление закономерностей изменения геомеханических параметров в неоднородном углепородном массиве до и после крепления горных выработок анкерной крепью.

В этой связи необходимо изучить влияние основных природных и техногенных процессов на проявления горного давления в зонах геологических нарушений с учетом изменения параметров анкерной крепи в горной выработке.

В качестве объекта исследований рассматриваются закономерности распределения напряжений в породах кровли горной выработки.

Для установления закономерностей изменения геомеханических параметров пород в неоднородном углепородном массиве проведено математическое моделирование численным методом конечных элементов [1]. Этот метод реализовали с помощью программного обеспечения, адаптированного для решения поставленных задач. Адаптированный к задачам настоящей работы пакет программ FRMKERIB предназначен для моделирования процессов изменения смещений, напряжений и деформаций под влиянием природных полей напряжений и горных выработок в углепородном массиве. Авторские компьютерные программы выполнены на языке Фортран 90 в среде программирования Microsoft Developer Studio.

Алгоритм расчета параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива разработан на основе дифференциальных уравнений механики сплошной среды. Для расчета параметров НДС используется двумерная геометрическая модель размером 1000 м по горизонтальной оси  $OX$  и 450 м по вертикальной оси  $OY$ . Модель включает

угольные и породные слои различной мощности. Количество слоев в модели 100, а их мощность меняется от 0,05 до 100 м. Количество вертикальных линий на геометрической модели принимается 200 с расстоянием между ними от 0,01 до 100 м. Слои значительной мощности делятся на подслои для повышения точности расчета параметров НДС.

Геометрическая модель разделяется на множество конечных элементов (треугольников); глобальная нумерация треугольников последовательная от низа модели вправо - вверх. Глобальная нумерация узловых точек треугольника осуществляется против часовой стрелки. Вес пород в пределах каждого треугольника распределяется поровну на три вершины.

Для численного эксперимента использовались горно-геологические условия пласта III – сложного строения, общей мощностью 8,81 – 9,89 м (средняя 9,14 м). Марка угля ОС. Угол падения пласта 3 – 10°, коэффициент крепости изменяется от 0,2 до 1,4. В ходе работ были выявлены многочисленные мелкоамплитудные нарушения. Амплитуда нарушений не имеет четких границ и изменяется в среднем от 0,2 до 5,0 м. Преобладающее простирание плоскости сместителя СВ – ЮЗ. Нарушения с амплитудой 2 – 3 м часто трассируют субпараллельные нарушения с амплитудой 0,2 – 0,9 м. Основная кровля пласта представлена песчаником общей мощностью 17,5 м. Глубина расположения выработки по пласту III составляет 400 м; ширина горной выработки 6 м, высота 4 м.

Пакет программ FRMKERIB состоит из четырех программ и трех файлов исходных данных. Для каждого породного слоя или пласта ввод исходных данных по геологической скважине осуществляется из файла **Mkeckw.dat** с преобразованием в файл **Mke100.dat** с помощью программы **Mke2d101.for**, в котором затем корректировались исходные данные: форма и размеры гор-

ной выработки, параметры анкерной крепи (размеры скважины для стержня анкера, длина закрепления стержня химическим составом, диаметр стержня, количество анкеров) и др. Параметры анкерной крепи, принимаемые в модели [2], следующие: анкер сталеполимерный, диаметр стержня 20 мм, диаметр скважины 30 мм, длина химического закрепления 0,5 м, длина анкера 2,4 м. Схема расположения анкеров представлена на рис. 1 (расстояние между анкерами в ряду составляло 1,0 м).

За начало координат принята точка пересечения вертикальной оси выработки с кровлей обрабатываемого пласта. Автоматическая дискретизация массива производится в несколько этапов с выделением вначале четырехугольных зон по напластованиям с последующим делением на треугольники с помощью программы **Mke2d103.for**.

Для оценки качества дискретизации модели на конечные элементы в программе SURFER можно посмотреть результаты счета. На рис. 2 приведены фрагменты дискретизации модели на конечные элементы. В средней части модели размеры конечных элементов приняты с длиной стороны треугольника, равной 10 мм, поэтому на этих рисунках они не отобразились в масштабе. В программах расчета параметров НДС все конечные элементы, независимо от размеров, используются.

Вычисление напряжений, деформаций и смещений осуществляется в программе **Mke2d117.for**. В этой же программе задавалась растягивающая нагрузка на стержни анкеров и сжимающая на опорные шайбы.

Программа **Mke2dsur.for** содержит комплекс подпрограмм для расчета линейных и нелинейных полных вертикальных, горизонтальных и касательных напряжений, вертикальных и горизонтальных смещений, вертикальных и горизонтальных деформаций и др. с формированием файла выходных данных **mb.dat** для пакета

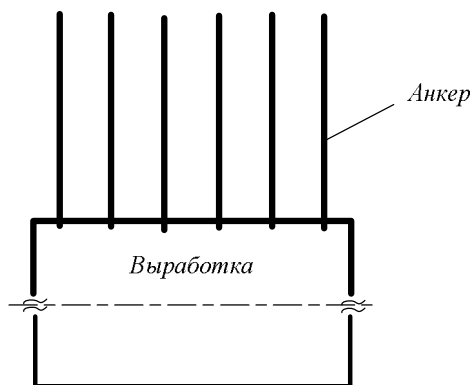


Рис. 1. Схема расположения анкеров в кровле по выработке

программ SURFER. В SURFER осуществляется обработка и визуализация результатов расчета.

Рассмотрены 5 вариантов модели:

- незакрепленная горная выработка, расположенная в кровле пласта;
- незакрепленная горная выработка, расположенная на расстоянии 1,8 м от кровли пласта;
- выработка, расположенная в кровле пласта (6 анкеров в кровле, длина анкера 2,4 м);
- выработка, расположенная на расстоянии 1,8 м от кровли пласта (6 анкеров в кровле, длина анкера 2,4 м);
- выработка, расположенная на расстоянии 1,8 м от кровли пласта (6 анкеров в кровле, длина анкера 3,5 м).

Выявлялись закономерности распределения вертикальных и горизонтальных напряжений в углеродном массиве. Исследовалось влияние анкеров в кровле горной выработки на характер распределения напряжений.

Для визуализации и обобщения результатов расчетов программно осуществлялся ввод из файлов координат точек и расчетных значений параметров, затем производилась их обработка с построением трехмерных карт в виде изолиний с помощью программы SURFER (рис. 3, а, б).

Учитывая множество расчетных вариантов, особенности моделей и большое количество получаемых по каждому конечному элементу напряжений, результаты были систематизированы в таблицы.

При сравнении расчетных параметров за базовые варианты приняты модели массива с горной выработкой без крепления (рис. 3, а).

По результатам математического моделирования численным методом конечных элементов установлены закономерности распределения напряжений в породах кровли горной выработки и разработаны следующие рекомендации.

1. Установленные анкера приводят к формированию в кровле выработки несущей опорной плиты, в пределах которой вертикальные напряжения близки к нулю, а прочность пород почти не меняется. Однако выше упрочненной породной плиты формируется зона ослабленных пород, в пределах которой возможно обрушение с вывалом упрочненных пород и выше их, что подтверждается результатами проведенных ранее исследований [3].

2. Для безопасного поддержания горных выработок в работоспособном состоянии необходимо соблюдать следующие параметры крепления:

– в нормальных условиях, вне зон влияния горно-геологического нарушения, крепление осуществляется при помощи сталеполимерных

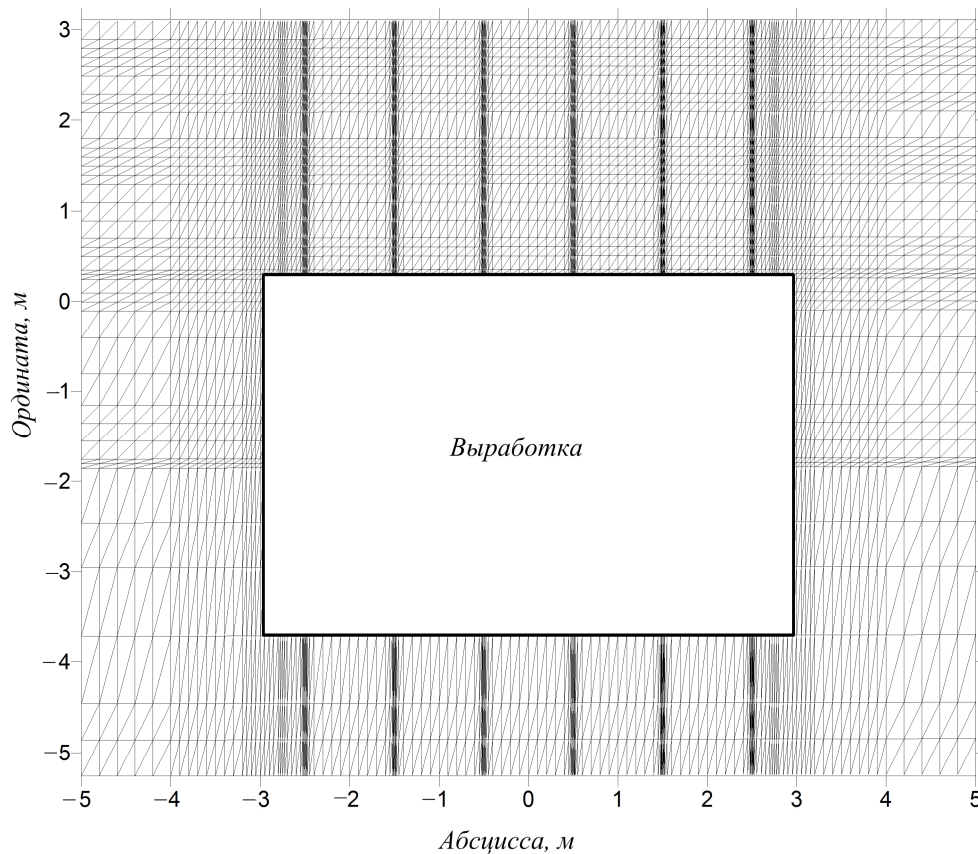


Рис. 2. Схема дискретизации фрагмента модели на конечные элементы (выработка расположена в верхнем слое пласта)

анкеров А20В длиной не менее 2,4 м с шагом крепления 1,2 м (согласно действующему паспорту крепления горных выработок [4]);

– в условиях влияния горно-геологического нарушения с амплитудой (разрыхленной породой в кровле) до 1,0 м крепление осуществляется при помощи сталеполимерных анкеров А20В длиной не менее 2,4 м с шагом крепления 1 м; в кровле устанавливаются 6 анкеров; в качестве опорного элемента допустимо применение подхватов металлических типа швеллер 8(10) или СВП; кровля и бока выработки перетягиваются решетчатой затяжкой типа ЗР;

– в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с амплитудой (разрыхленной породой в кровле) от 1,0 до 1,5 м крепление осуществляется при помощи сталеполимерных анкеров А20В длиной не менее 2,4 м с шагом крепления 1 м; в кровле устанавливаются 8 анкеров; в качестве опорного элемента допустимо применение подхватов металлических типа швеллер 8(10) или СВП; крайние анкеры в кровле выработки возможно устанавливать под шайбы габаритным размером не менее 180×180×5 мм; кровля и бока выработки перетягиваются решетчатой затяжкой типа ЗР;

– в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с амплитудой (разрыхленной породой в кровле) от 1,5 до 2,0 м крепление осуществляется при помощи сталеполимерных

анкеров А20В длиной не менее 2,4 м с шагом крепления 0,8 м; в кровле устанавливаются 8 анкеров, в качестве опорного элемента допустимо применение подхватов металлических типа швеллер 8(10) или СВП; крайние анкеры в кровле выработки возможно устанавливать под шайбы габаритным размером не менее 180×180×5 мм; кровля и бока выработки перетягиваются решетчатой затяжкой типа ЗР;

– в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с амплитудой (разрыхленной породой в кровле) от 2,0 до 2,5 м крепление осуществляется при помощи сталеполимерных анкеров А20В длиной не менее 3,0 м с шагом крепления 0,8 м; в кровле устанавливаются 8 анкеров; в качестве опорного элемента допустимо применение подхватов металлических типа швеллер 8(10) или СВП; крайние анкеры в кровле выработки возможно устанавливать под шайбы габаритным размером не менее 180×180×5 мм; кровля и бока выработки перетягиваются решетчатой затяжкой типа ЗР;

– в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с амплитудой (разрыхленной породой в кровле) от 2,5 до 3,0 м крепление осуществляется при помощи сталеполимерных анкеров А20В длиной не менее 3,5 м с шагом крепления 1 м; в кровле устанавливаются 8 анкеров; в качестве опорного элемента допустимо применение подхватов металлических типа швел-

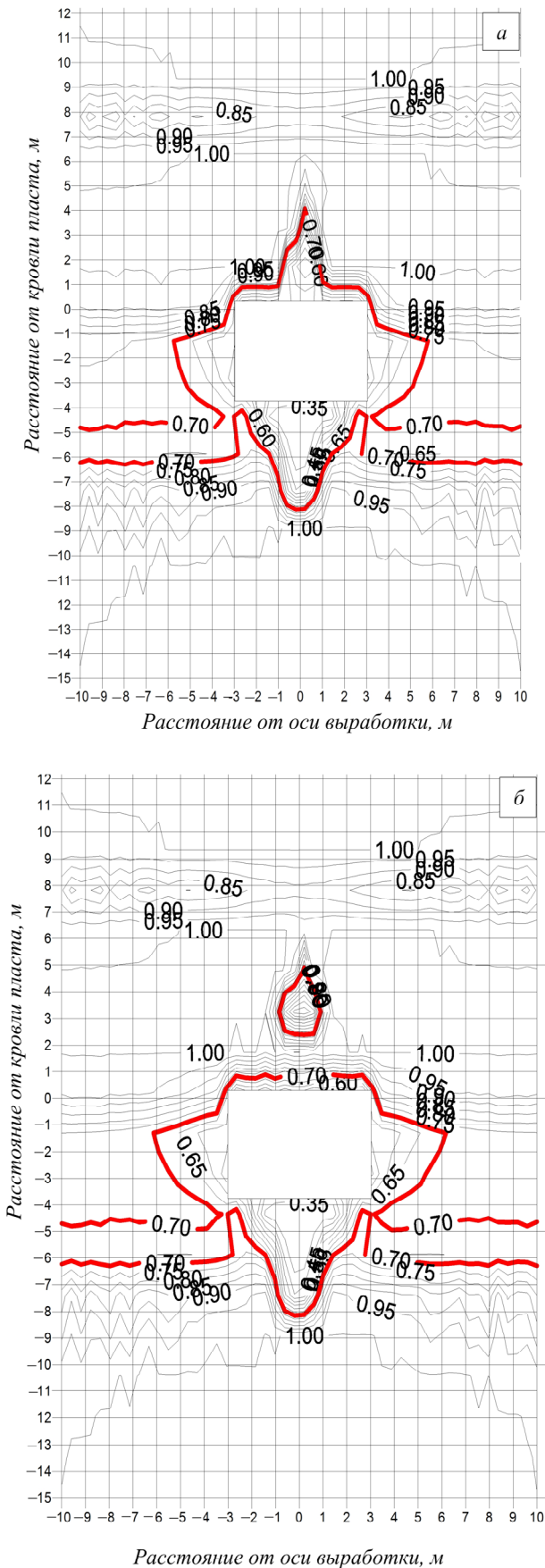


Рис. 3. Изолинии распределения отношения остаточной прочности горных пород к исходной в окрестности незакрепленной горной выработки (а) и закрепленной 6 анкерами длиной 2,4 м (б)

лер 8(10) или СВП; крайние анкеры в кровле выработки возможно устанавливать под шайбы габаритным размером не менее  $180 \times 180 \times 5$  мм; кровля и бока выработки перетягиваются решетчатой затяжкой типа ЗР;

– в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с амплитудой (разрыхленной породой в кровле) более 3,0 м осуществлять крепление горных выработок при помощи анкерной крепи; без дополнительных мер усиления крепи и упрочнения приконтурного массива не допустимо.

Амплитуда и зона влияния горно-геологического нарушения определяются геологом шахты.

3. В случае, когда фактическая ширина горных выработок будет составлять 5,5 м, крепление кровли выработки возможно осуществлять на один анкер меньше в отличие от условий при ширине 6,0 м, с соблюдением всех параметров, указанных выше.

4. Во всех рассмотренных случаях горно-геологического нарушения крепление боков выработки необходимо осуществлять на анкеры длиной не менее 1,8 м с шагом крепления 1 м. В качестве основной крепи боков допустимо применение стеклопластиковых анкеров типа АСВШ. Анкеры устанавливаются под опорные шайбы габаритным размером не менее  $180 \times 180 \times 5$  мм или отрезки из СВП.

5. Закрепление анкерных стержней в шпуре следует осуществлять в кровле выработки на две ампулы длиной не менее 400 мм; в боках выработки – на одну ампулу длиной не менее 400 мм.

6. Для контроля за расслоениями пород кровли в горных выработках, проходящих через горно-геологическое нарушение, необходима установка индикаторов смещения кровли. Установку контрольного датчика смещения кровли следует выполнить на метр выше длины анкерных стержней.

7. Для постоянного контроля за смещениями заанкерванной толщи пород в зоне пересечения нарушений силами производственного участка, а также технической службой шахты должен осуществляться визуальный контроль за смещениями кровли выработки по индикаторам смещения, установленным в кровле выработки с анкерным креплением, с периодичностью не реже одного раза сутки в зоне влияния опорного давления и не реже одного раза в месяц вне зоны влияния опорного давления.

8. В случае проявления горного давления и фиксации смещений по индикаторам смещения кровли до 50 мм необходимо дополнительное усиление крепи и приконтурного массива. Дополнительное усиление возможно при

помощи упрочнения кровли и боков выработки, также возможно усиление крепи при помощи анкеров глубокого заложения.

9. Упрочнение приконтурного массива горной выработки возможно методом нагнетания композиционных и химических составов (смола).

10. Нагнетание состава необходимо осуществлять при помощи инъекционных скважин, пробуренных между анкерами основного крепления (анкерами А20В).

11. В качестве крепи усиления возможно применение анкеров глубокого заложения с несущей способностью одного анкера не менее 210 кН.

12. Параметры крепи усиления, химический состав смол, сетка упрочнения и глубина инъекционных шпуров выбираются службами шахты.

13. В целях увеличения эффективности обеспечения безопасности горных работ на участках с горно-геологическими нарушениями необходимо осуществлять мониторинг анкерной крепи путем испытаний закрепления анкерных стержней в шпуре.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

2. Ремезов А.В., Харитонов В.Г., Мазикин В.П. Анкерное крепление на шахтах Кузбасса и дальнейшее его развитие: учебное пособие. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2005. – 471 с.
3. Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М. К вопросу определения закономерностей распределения напряжений в породах кровли горной выработки, закрепленной по различным схемам анкерования // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Труды Международной научно-практ. конф. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. С. 80 – 84.
4. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03). Серия 05. – М.: ФГУП «Научно-технический центр по безопасности Госгортехнадзора России», 2004. – 296 с.
5. Методика шахтных испытаний отдельных положений «Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Кузбасса – Первая редакция». – СПб.: ВНИМИ, 2010. – 12 с.

© 2013 г. С.В. Риб, А.М. Никитина,  
Д.М. Борзых

Поступила 19 сентября 2013 г.

УДК 551.311.7

**Я.М. Гутак<sup>1</sup>, В.И. Крупчатников<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>ОАО «Горно-Алтайская экспедиция» (п. Малоенисейск, Алтайский край)

### ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ В РАЗРЕЗАХ ТУЕКТИНСКОЙ СВИТЫ (СРЕДНИЙ ДЕВОН) ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ

Туюктинская свита установлена в ходе проведения геолого-съёмочных работ начала шестидесятых годов. По возрасту она отвечает верхней части живецкого яруса среднего девона и содержит в себе кораллы и брахиоподы, в том числе такие, как *Euryspirifer cheehiel* (Kon.), *Spinocyrtia martianovi* (Stuck.) и др. Отложения свиты представлены, главным образом, темно-серыми и черными алевролитами и аргиллитами с редкими слоями песчаников и органогенных известняков. По этим характеристикам она близка к ташантинской свите Юстыдского прогиба. Вместе с тем, в разрезе свиты большим распространением пользуются

вулканические образования кислого состава (риолиты). Собственно, их появление здесь и послужило основой для выделения стратиграфического подразделения.

Наличие в разрезе туюктинской свиты тел риолитов не вызывает сомнения и не оспаривается, однако трактовка последних как вулканических потоков и покровов вызывает серьезные возражения. Обычно всегда и всюду подчеркивается, что кислая лава малоподвижна, насыщена летучими, что вулканические аппараты такого типа характеризуются взрывными извержениями. Несмотря на это, встречая в поле тело риолитов в осадочной толще,



сразу констатируем, что имеем дело с вулканическими (стратифицированными) образованиями. Случай с туектинской свитой еще более интересный, поскольку риолиты должны были «изливаться» в морской бассейн (взрывные процессы при этом были бы многократно сильнее наземных извержений).

В свое время [1] мы уже касались проблемы вулканоподобных образований в туектинской свите и считали последние тектоническими отторженцами от образований куратинской формации. Новые наблюдения, сделанные нами в ходе изучения отложений туектинской свиты в верховьях рек Кайярлык и Каракол, позволили внести в эти представления существенные изменения. Мы и сейчас не считаем магматические образования кислого состава частью туектинской свиты. Однако это и не тектонические пластины. Скорей всего, это малоглубинные интрузивные тела более молодого, чем туектинская свита, возраста. Такой вывод вытекает из следующих наблюдений.

1. Во всех местах нами наблюдались контакты осадочных пород туектинской свиты (темно-серые и черные алевролиты и аргиллиты, редко – слои песчаников) с магматическими образованиями кислого состава (риолитами). Последние повсеместно носили рвущий интрузивный характер с интенсивными изменениями (окварцевание, проявления флюоритовой минерализации) вмещающих пород.

2. На большинстве участков в зоне контакта наблюдались слои с окаменелостями (кораллы табулята и ругоза, редкие брахиоподы и криноидеи). Однако в одном случае это слой органогенного известняка (бассейн реки Кайярлык), в других – известковистые аргиллиты с брахиоподами и кораллами (г. Ниж. Шибе). Это означает, что с магматическими породами контактируют разные горизонты туектинской свиты.

3. Комплекс окаменелостей во всех обнаруженных местах указывает на принадлежность осадков среднему девону (верхняя часть живетского яруса по современной региональной схеме расчленения девонской системы).

4. Внедрение риолитовых тел проходило согласно региональному кливажу (рис.1, 2). И если ошибочно принять его за первичную слоистость, то может сложиться впечатление согласного внедрения кислых лав. Однако кливаж осевой плоскости залегает гораздо круче слоистости (с одной стороны, это указывает на нормальное залегание слоев, а с другой, – если риолиты согласны кливажу, значит они дискордантны первичной слоистости и являются более поздними интрузивными телами).



Рис. 1. Соотношение слоистости и регионального кливажа в отложениях туектинской свиты (левобережье реки Кайярлык)

ми). Кстати, региональный кливаж в породах туектинской свиты часто достигает такой интенсивности, что превращает исходную породу в глинистый агрегат с тончайшей сланцеватостью (рис. 3).

5. Напротив устья реки Каракол, за автомобильной дорогой Новосибирск – Ташанта, обнажен фрагмент разреза туектинской свиты, в котором наглядно видно, как осадки прорываются телами кислого состава, сминая первые в узкую синклиналиную складку (рис. 4).

Естественно, возникает вопрос об относительном возрасте магматических образований кислого состава. Мы достоверно знаем о прорыве ими отложений среднего девона – туектинской свиты. Такими же телами прорываются и породы вышележащей бичиктубомской свиты (она датируется верхами живетского века среднего девона – возможно, низами франского века позднего девона). Следовательно, относительный возраст прорывающих образований более молодой, чем франкий век позднего девона. В этом плане наблюдения напоминают ситуацию в юго-восточной части Горного Ал-



Рис. 2. Дайка риолитов в отложениях туектинской свиты (внедрение согласно простирания регионального кливажа). Левобережье реки Кайярлык



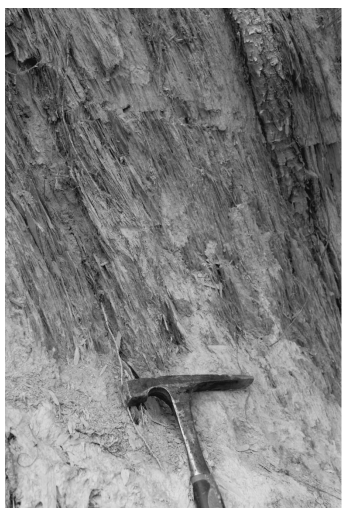


Рис. 3. Туектинская свита (клинаж осевой плоскости).  
Правый борт реки Башкудюр

тая (Юстыдский прогиб). Там интрузивная природа тел кислых вулканитов в осадочных породах ташантинской свиты (живетский век среднего девона) не вызывает сомнений (штоки в приустьевой части реки Кам-Тытыгем и приграничной части южнее погранзаставы Ташанта). Более того, интрузивный характер имеют и кислые породы Северо-Чуйского хребта (про-

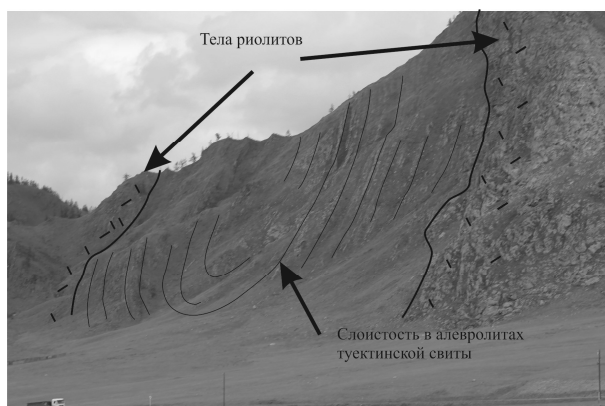


Рис. 4. Синклиальная складка в отложениях туектинской свиты, осложненная телами риолитов (Чуйский тракт, напротив устья реки Каракол)

рывают отложения живетского яруса среднего девона) [2]. В глубинных частях этого интрузивного тела в районе водораздела Джело-Карагем обнажены граниты.

**Выводы.** В случае подтверждения высказанных в настоящей работе предположений геологическая карта Горного Алтая будет нуждаться в серьезной корректировке. Кроме того, сказанное выше подтверждает тезис о том, что на современной стадии изучения геологии района значительно возрастает роль прикладных аналитических исследований и это требует резкого увеличения их доли в сметах финансирования геолого-съемочных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Г у т а к Я.М., Г у с е в Н.И., С е р г е е в В.П. Материалы к стратиграфии Онгудайского грабена (Горный Алтай). – В кн.: Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской области. – Новокузнецк: изд. НПК, 1995. С. 68 – 71.
2. Г у т а к Я.М., К р у п ч а т н и к о в В.И., Ф е д а к С.И. Постдевонский вулканизм Горного Алтая. – В кн.: Материалы II Всероссийского симпозиума «Вулканизм и геодинамика». – Екатеринбург: изд. ИГиГ УрО РАН, 2003. С. 254 – 258.
3. М у х и н А.С. Эпиконтинентальные отложения карбона в ЮВ Алтае // Вестник Западно-Сибирского геологического треста. 1936. Вып. 1 – 2. С. 67 – 70.
4. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области / С.П. Шокальский, Г.А. Бабин, А.Г. Владимиров и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 187 с.

© 2013 г. Я.М. Гутак, В.И. Крупчатников  
Поступила 21 сентября 2013 г.

*А.А. Жаркова*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ОБ ИТОГАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ РЕФОРМЫ В РОССИИ В КОНТЕКСТЕ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

Целями реформирования российского железнодорожного транспорта были повышение производительности, качества предоставляемых услуг, обеспечение стабильного притока инвестиций, внедрение инноваций. Такие цели во всех странах общие. Выбранные правительствами инструменты, призванные способствовать реализации общих целей, следующие: развитие конкуренции, улучшение корпоративного управления железнодорожными предприятиями, государственное финансирование (субсидирование) железных дорог. В сравнении с зарубежным опытом предпосылки и условия реформирования существенно различались, а потому различались и способы реформирования, и целевое состояние железнодорожного рынка.

В Европе реформирование железнодорожного транспорта было направлено на увеличение его доли в общих объемах транспортировки грузов и пассажиров. Для этого реализовывался комплекс мер, направленных на унификацию инфраструктуры, отделение инфраструктуры от перевозок, развитие конкуренции железнодорожных компаний по мере открытия национальных рынков и упрощения процедур организации движения по территории разных стран. Общий вектор реформ был направлен на активизацию бизнеса различных компаний на общеевропейской инфраструктуре. Результатом проведенной в большинстве стран Европейского Союза реформы железнодорожного транспорта стал контроль государства над инфраструктурой, в то время как конкурентным стал рынок перевозок.

В России, напротив, доля железнодорожных перевозок высока, объемы перевозок стабильно растут с 1998 г., на инфраструктуре – дефицит пропускных способностей. Поэтому очевидно, что применить европейскую модель реформирования и мировой опыт в целом не представлялось возможным.

В мире существуют два основных типа организационной структуры железнодорожного транспорта: железнодорожный транспорт в странах Северной Америки представлен частными, вертикально интегрированными компа-

ниями, являющимися локальными перевозчиками на участках инфраструктуры, находящейся у них в собственности. В Европейских странах перевозчик и владелец инфраструктуры финансово, а зачастую и юридически разделены.

Многие страны пришли к сочетанию законодательно закрепленного доступа к путевой инфраструктуре с тем или иным вариантом разделения между управлением инфраструктурой и перевозками, однако почти никто не решился оборвать связь между ними полностью.

В некоторых случаях такое разделение носит сугубо финансовый характер. Так, Греция и Люксембург ограничились разделением финансовой отчетности между подразделениями одной компании, отвечающими за пассажирские перевозки и инфраструктуру.

Другой вид разделения – структурный, когда создаются достаточно автономные подразделения по роду деятельности внутри группы (Холдинга). В Италии Группа FS включает RFI (инфраструктура) и Trenitalia (перевозки), в Германии различные акционерные общества, отвечающие за сеть железных дорог, грузовые и пассажирские перевозки, входят в Холдинг «Железные дороги Германии» (Deutsche Bahn AG); или когда управлением инфраструктурой и перевозками занимаются различные компании или ведомства, причем как распорядитель инфраструктуры, так и перевозчик находятся в государственной собственности. Такое разделение присуще Португалии, Норвегии, Нидерландам, Дании и Финляндии [1].

Дальше всего процесс отделения перевозочной деятельности от инфраструктурной зашел в Великобритании и Швеции, где распорядителям инфраструктуры запрещено заниматься перевозочной деятельностью. Кроме того, распорядители инфраструктуры не имеют при этом финансовой «привязки» ни к одному иному железнодорожному предприятию. При этом опыт Великобритании всеми экспертами оценен как провальный.

Мировой опыт показывает, что большая часть государств делает ставку на развитие

конкуренции в перевозках между железнодорожными операторами в условиях регулируемого доступа к инфраструктуре (конкуренция «на рынке» и «за рынок»). При этом доступ независимых операторов к инфраструктуре действительно способен обеспечить эффективную реализацию целей реформирования: потребители получают перевозочные услуги в большем объеме, по доступным ценам при росте инвестиций и внедрении инноваций на железнодорожном транспорте.

Анализ реформирования железнодорожной отрасли за рубежом показывает, что отделение инфраструктуры от перевозочной деятельности не привело к каким-либо очевидным позитивным результатам. Большинство экспертов связывают это с тем, что железнодорожный транспорт имеет важнейшее отличие от других видов транспорта – инфраструктура и перевозки в железнодорожном транспорте гораздо более тесно связаны, нежели в автомобильном, воздушном или морском транспорте.

Мнения касательно реформирования железнодорожной отрасли в нашей стране разделились надвое. Одни считают, что реформа отразилась на железных дорогах положительно и привела к либерализации рынка предоставления вагонов, обновлению и росту парка грузовых вагонов, но при этом в сфере инфраструктуры и в сфере услуг локомотивной тяги никаких изменений не произошло.

Анализируя современное состояние железнодорожного транспорта, сторонники положительных результатов реформ отмечают следующие основные проблемы:

- незаконченность реформы и, как следствие, высокая степень государственного регулирования;

- проблемы функционирования железнодорожного транспорта, связанные с незавершенностью проводимых реформ, а также несистемностью отдельных решений (когда в одном сегменте уже действуют рыночные силы, а в соседнем – архаичное государственное регулирование);

- необходимость дальнейшего развития железнодорожного транспорта должна заключаться в либерализации недореформированных сегментов, реформировании формы собственности на инфраструктуру железнодорожного транспорта и формировании рынка железнодорожных грузовых перевозок как наиболее эффективного механизма балансирования спроса и предложения на транспортные услуги [2].

Те же, которые считают реформу несостоявшейся ввиду накопившихся в отрасли проблем считают наиболее эффективным решени-

ем в области улучшения работы железнодорожной отрасли был бы возврат к структуре и системе МПС в модернизированном варианте в соответствии с нынешними реалиями; они предлагают:

- возродить инвентарный парк грузовых вагонов, а недостающие до нормы рабочего парка вагоны (сверх инвентарного парка) брать в управление ОАО «РЖД» у собственников и операторских компаний по договорам на основе тендера;

- вернуть дирекциям по управлению перевозками функции оперативного планирования всей эксплуатационной работы, включая погрузку и ее обеспечение порожними вагонами и выгрузку, а также функции по управлению работой вагонного парка, и перейти к централизованному распределению порожних вагонов под погрузку независимо от их принадлежности;

- восстановить ответственность грузоотправителей и грузополучателей за выполнение норм простоя вагонов рабочего парка под погрузкой и выгрузкой, а также ответственность центральной дирекции управления перевозками за выполнение оборота вагонов [3].

В целом обе стороны отмечают незавершенность реформы и необходимость принятия мер по улучшению ситуации.

**Выводы.** При рассмотрении особенностей работы железнодорожного транспорта в странах Северной Америки и Евросоюза, а также проблемы взаимодействия участников железнодорожных перевозок после проведенных реформ в России, отмечены разные подходы к итогам реформы в России, основные недоработки законодательной базы и некоторые положительные результаты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К и с е л е в С. Не стоит слепо копировать европейский опыт. URL: [http://www.ng.ru/regions/2013-05-20/5\\_rzd.html](http://www.ng.ru/regions/2013-05-20/5_rzd.html) (дата обращения 28.08.2012 г.).
2. Х у с а и н о в Ф. И. Реформа железнодорожного транспорта России: итоги и задачи //Транспорт Российской Федерации. 2011. № 5 (36). С. 20 – 23.
3. К у д р я в ц е в В.А. В тупике. Альтернативный взгляд на итоги реформирования железнодорожного транспорта. URL: <http://www.rostransport.com/article/51/> (дата обращения 28.08.2012 г.).

© 2013 г. А.А. Жаркова  
Поступила 23 мая 2013 г.

*В.И. Багрянцев, С.А. Казимиров, А.И. Куценко, А.П. Подольский,  
А.А. Рыбушкин, М.В. Темлянец*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

В условиях ежегодного роста цен на энергоносители и электроэнергию особую актуальность приобретают изыскания, направленные на поиск новых, более дешевых видов топлива. Весьма перспективными в этом плане являются нетрадиционные, возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра, солнца и т.п. Однако для большинства регионов России вследствие их климатических особенностей и географического положения они не находят широкого практического применения. Традиционно к основным видам топлива для теплоэнергетических агрегатов относят уголь, мазут и природный газ. При этом экономическая эффективность их применения в значительной степени предопределена близостью месторождений полезных ископаемых и затратами на транспортирование топлива. В таких условиях многократно возрастает интерес к местному топливу, а особенно к дешевому, на основе техногенных отходов.

Проведем анализ видов и объемов запасов углеродсодержащих техногенных отходов на примере Кузбасса и соседних регионов.

### Отходы углеобогащения

Кузбасс является одним из основных угледобывающих регионов страны. В настоящее время в Кузбассе накоплено около 3 млрд. т твердых техногенных и бытовых отходов, основной объем которых составляют отходы обогащения угля. Такие значительные объемы именно этих видов отходов связаны с тем, что при реализации действующих на углеобогачительных фабриках технологий в отходах углеобогащения содержание угля может достигать 25 % и более. Большинство имеющихся отходов углеобогащения можно охарактеризовать как высокозольные, окисленные, повышенной влажности, мелкодисперсные. В силу невысокой удельной теплоты сгорания и низкой газопроницаемости угольные отходы такого рода

не пригодны для сжигания традиционным способом, например в топках слоевого сжигания. И как следствие такие отходы направляются в отвалы, образуют отчуждение больших полезных территорий для хранения твердых отходов и под санитарно-защитные зоны угледобывающих предприятий.

Многочисленные попытки ученых разработать на основе отходов углеобогащения новые виды топлива шли в основном по пути окомкования (создания топливных гранул) или брикетирования (создания топливных брикетов) дисперсных материалов. В обоих случаях получаемое топливо ориентировано на сжигание в топках с плотным слоем, которые имеют ряд существенных недостатков: относительно высокий химический и физический недожег, значительные выбросы в атмосферу вредных веществ и др. При окомковании и брикетировании решающую роль играют выбор связующего и технологии, определяющие стоимость и прочностные характеристики получаемого топлива. С теплотехнической точки зрения окомкование и брикетирование по отношению к мелкодисперсному сжиганию являются нежелательными процессами, поскольку, консолидируя дисперсное топливо, они уменьшают его поверхность реагирования, соответственно снижают интенсивность процессов теплогенерации.

Достаточно апробированным направлением является изготовление на основе отходов углеобогащения водоугольного топлива (ВУТ), водоугольных суспензий (ВУС) или кавитационного водоугольного топлива (КаВУТ) [1, 2]. Оно основано на создании жидкого топлива, углеродсодержащим компонентом которого являются угольные шламы, образующиеся при обогащении, гидродобыче углей, или измельченные (сухим или мокрым способом) до крупности 0 – 100 мкм угольные частицы. Транспортирующей жидкой фазой является вода, для увеличения доли твердой фазы, жид-

коподвижности ВУТ и предотвращения его расслоения (осадка дисперсных частиц, образования водяных прослоек и линз) в состав топлива вводят специальные присадки и добавки. Эффективным способом снижения содержания воды в суспензиях при сохранении их вязкостных характеристик, достаточных как для хранения, так и для перекачки суспензий по трубопроводам, является введение в них специальных химических добавок – поверхностно-активных веществ. Основное свойство последних – способность прочно связываться с поверхностями частиц, покрывая их мономолекулярным слоем. Добавки поверхностно-активных веществ не только снижают вязкость суспензий, но и переводят влагу в угольных частицах из связанного в свободное состояние и позволяют, тем самым, проводить более глубокое обезвоживание суспензий.

КаВУТ имеет ряд особенностей [2]. Его приготовление характеризуется высоким уровнем местного динамического компрессионного и температурного воздействия на обрабатываемый материал. Твердые частицы измельчаются до высокой степени дисперсности, а суспензия приобретает целый ряд новых свойств, в частности, стабильность на протяжении длительного времени и высокую пластичность при содержании твердой фазы до 70 %. Высушенное топливо переходит в состояние устойчивой суспензии при добавлении воды, причем без механического воздействия; топливо не увеличивает объем при замерзании, а после размораживания восстанавливает свои исходные свойства.

Полученное ВУТ сжигают по аналогии с жидким топливом с применением специальных форсунок. Вследствие высокой влажности и зольности водоугольные суспензии имеют ограниченную область применения. Их используют в основном как топливо для теплоэнергетических агрегатов, водогрейных и паровых котлов.

Сжигание ВУТ является интенсивно развивающимся направлением, технологии, агрегаты и устройства для его приготовления и сжигания непрерывно совершенствуются. В частности, в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) разработаны новые технические решения по приготовлению топлива на основе процессов пневмокавитации, обеспечивающих повышение реологических свойств топлива, гомогенность и некоторое улучшение его энергетических характеристик. Созданы новые конструкции форсунок внешнего смешения, менее требователь-

ные к качеству топлива и повышающие эффективность его сжигания.

ВУТ и КаВУТ имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с пылеугольным топливом. Топливо пожаро- и взрывобезопасно, наличие в его составе воды соответствующим образом влияет на кинетику процессов горения, интенсифицируя ее. Для ВУТ характерны гораздо меньшие, по сравнению со сжиганием топлива в плотном слое, выбросы в атмосферу вредных веществ, в том числе оксидов азота и монооксида углерода. К недостаткам ВУТ, приготовленного по традиционной схеме, обычно относят: сложную и дорогостоящую систему топливоподготовки; необходимость реализации специальных мероприятий по повышению износостойкости форсунок и топливоподводящей системы (высокое содержание твердых частиц в ВУТ приводит к интенсивному износу элементов перекачивающих насосов, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, а также сопел форсунок); сложность транспортирования на большие расстояния в условиях отрицательных температур и др. [1, 2].

Перспективным направлением является сжигание пылеугольного топлива в открытом факеле или кипящем слое (пузырьковом или циркулирующем) [2]. Эти технологии позволяют сжигать мелкодисперсный, не обводненный углеродсодержащий материал. Для них характерна развитая поверхность реагирования топлива, как следствие – интенсификация горения. Движение твердых частиц в газовом потоке способствует его турбулизации и повышению степени черноты, это значительно интенсифицирует процессы конвективного и радиационного теплообмена, снижает химический и механический недожег.

По данным работ [2, 3] особенностью сжигания углеродсодержащего топлива в кипящем слое является то, что количество твердых частиц в нем составляет всего 5 – 10 % от общей массы слоя, это делает его своеобразным муфелем, термически инерционным и стабильным. В таких условиях изменение свойств и теплотехнических характеристик топлива в меньшей степени сказывается на работе теплоэнергетического агрегата по сравнению, например, с плотным слоем. В связи с этим технологию кипящего слоя применяют для сжигания низкосортных топлив и отходов угледобычи и углеобогащения. При использовании такого топлива температура слоя обычно не превышает 800 – 900 °С, это практически исключает образование термических оксидов азота. Для связывания оксидов серы (актуаль-

но при сжигании высокосернистых углей) возможно добавление сорбента (как правило известняка) [2].

В то же время при сжигании пылеугольного топлива в зависимости от условий сжигания могут возникать проблемы с взрыво- и пожаробезопасностью, что требует разработки специальных защитных мероприятий.

Особенностью способа является то, что зола топлива переходит в продукты сгорания и при отсутствии аппаратов пылеочистки уносится через дымовую трубу в окружающую среду, загрязняя атмосферу. Поэтому при сжигании пылевидного топлива обязательно должны устанавливаться пылеочистные сооружения сухой и/или мокрой очистки газов, что в зависимости от способа очистки удорожает весь технологический процесс [1]. Одним из перспективных направлений снижения выбросов твердых частиц в атмосферу является применение вихревых пылеуловителей. В СибГИУ разработан пылеуловитель вихревой для очистки запыленных газов, улавливания сухой мелкодисперсионной пыли. Конструкция пылеуловителя проста в изготовлении, надежна в работе благодаря отсутствию приводных механизмов и фильтрующих материалов. Пылеуловитель имеет высокие рабочие характеристики, в частности нижний предел сепарируемых (осаждаемых) частиц составляет  $\alpha_{\min} \approx 5$  мкм. Опытный образец пылеуловителя установлен в котельной г. Киселевск. Общий вид пылеуловителя показан на рис. 1.

Технология сжигания пылеугольного топлива в кипящем слое весьма чувствительна к фракционному составу частиц. Так при чрезмерно тонком помоле частицы уносятся продуктами сгорания, а при чрезмерно грубом оседают, образуя аналог плотного слоя. Топки для сжигания топлива в кипящем слое имеют

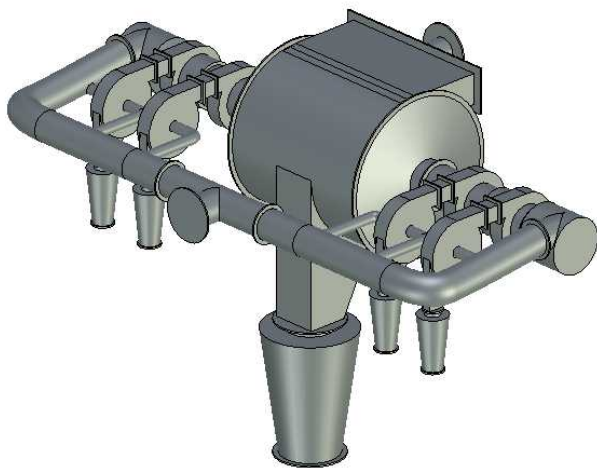


Рис. 1. Общий вид вихревого пылеуловителя

достаточно развитое рабочее пространство. При создании котлов большой мощности с кипящим слоем имеются определенные сложности, которые связаны с необходимостью организации равномерной подачи топлива в кипящий слой большой площади. Для таких котлов характерна относительно низкая тепловая нагрузка на единицу площади пода из-за малых скоростей подачи воздуха под решетку, связанных с высоким уносом твердых частиц [2].

### Золошлаковые отходы котельных и ТЭЦ

В основном золу и шлаки котельных и ТЭЦ рассматривают как сырье для производства строительных материалов, однако такие отходы могут представлять определенный интерес как топливо или его компоненты. В зависимости от конструкции котельного агрегата, используемого вида топлива и технологии сжигания золы и шлаки могут содержать до 10 – 15 % (а в некоторых случаях и более) углерода. При слоевом сжигании твердого топлива часть его может проваливаться через колосниковую решетку, мелкие частицы уносятся продуктами сгорания, поверхность кусков ошлаковывается, при этом прекращается доступ кислорода к центральной углеродсодержащей части куска. Все эти явления формируют механический недожег, который и является причиной высокого содержания углерода в золошлаковых отходах. Несмотря на достаточно большие объемы этого типа отходов их масштабное использование в качестве топлива затруднено вследствие высокой нестабильности состава, а конкретно – содержания углерода, низкой теплоты сгорания, необходимости дробления шлаков и др.

### Коксовая пыль (мелочь)

Коксовая пыль образуется в процессе производства кокса. Она характеризуется высокой теплотой сгорания и содержанием углерода, однако объемы ее образования относительно невелики. Оптимальной технологией утилизации коксовой пыли считается брикетирование [4]. Получаемые брикеты впоследствии используются в качестве топлива и восстановителя в металлургическом производстве.

### Отходы лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности

К углеродсодержащим отходам лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности обычно относят древесные опилки,

стружку, неделовую древесину и т.п. Интерес к подобному роду отходам предопределен рядом факторов. По данным [5] Россия обладает 25 %-ми мировых запасов древесины, при этом выход отходов при деревообработке в отдельных случаях может достигать 50 – 80 %. Среднестатистическая лесопилка превращает около 60 % древесины в доски, при этом около 12 % уходит в опил, 6 % – в концевые обрезки и 22 % – в горбыль и обрезки кромок [6]. Объем опила и стружки при деревообработке достигает 12 % от исходного сырья [6].

Сфера утилизации отходов лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности весьма широка. В нее входит производство древесно-волоконистых и древесно-стружечных плит, древесно-слоистых пластиков, древесно-цементной массы, целлюлозно-бумажная промышленность, сельское хозяйство (удобрение, кормовые добавки, подстилка и пр.) и др. Особым направлением является использование таких отходов в качестве топлива. Преимуществами древесины как топлива является низкая зольность (в большинстве случаев менее 1 %) и отсутствие серы (повышенной сернистостью обладает только кора хвойных деревьев) [1, 5]. Этот вид топлива гораздо более экологичен чем уголь, мазут и дизельное топливо. В то же время для древесины характерна высокая влажность, опилки характеризуются склонностью к самовоспламенению и малой насыпной плотностью. Учитывая последнее, их перевозка на расстояния более 20 – 40 км и использование в качестве топлива экономически не выгодно [6]. Для повышения насыпной плотности опилок их гранулируют с помощью специальных технологий, получая древесные гранулы (пеллеты) или брикеты [5].

### Сельскохозяйственные отходы

К углеродсодержащим сельскохозяйственным отходам относят солому, лузгу подсолнечника, проса, риса и др. [7].

Солома и лузга обладают еще меньшей насыпной плотностью, чем опилки. Поэтому логистические и экономические требования к использованию отходов сельского хозяйства в качестве топлива для энергетических объектов, удаленных от места их сбора и хранения, однозначно предопределяют необходимость их гранулирования [7].

В отличие от древесных отходов сжигание отходов сельского хозяйства сопряжено с рядом трудностей, обусловленных их химическим составом. Так, содержащийся в соломе азот увеличивает эмиссию  $\text{NO}_2$ . Большое со-

держание хлора в соломе овса, ячменя и рапса приводит к повышенной коррозии теплообменного оборудования. Значительное содержание калия снижает температуру плавления золы, что способствует образованию шлаковых агломератов, которые препятствуют нормальной работе котлов. Анализ химического состава показывает, что агломераты состоят из легкоплавкой эвтектики  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ , образованию которой способствует также накопление калия в слое [7].

Фактически все перечисленные технологии сжигания топлива из углеродсодержащих отходов находят определенное практическое применение, однако их недостатки ограничивают область распространения, а самое главное снижают тепловую эффективность агрегатов, экономичность и экологичность их работы. В связи с этим разработка более универсальных видов и технологий сжигания твердого углеродсодержащего топлива по-прежнему остается актуальной научно-практической задачей, имеющей большое значение для регионов со значительными объемами образования техногенных отходов.

На основе проведенного анализа можно выделить ряд перспективных направлений, обеспечивающих повышение тепловой и экономической эффективности использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов:

- 1) максимальное сокращение транспортных расходов посредством использования топлива по месту образования отходов;
- 2) обеспечение развитой реакционной поверхности топлива, отказ от окомкования и брикетирования;
- 3) переход на более совершенные технологии, чем сжигание твердого топлива в плотном слое;
- 4) реализация мероприятий, интенсифицирующих теплообменные процессы, повышающих эффективность сжигания низкокалорийного топлива.

Коллективом ученых и инженеров СибГИУ разработаны агрегаты и технологии сжигания различных видов углеродсодержащего топлива из техногенных отходов с целью генерации тепловой энергии. Для сжигания дисперсных углеродсодержащих отходов создан агрегат, основу которого составляет топка внешнего сжигания. Принцип работы топки основан на сжигании смеси воздуха и твердых частиц в потоке высокоинтенсивного газо-пламенного вихря, вращающегося вокруг горизонтальной оси с большой скоростью.



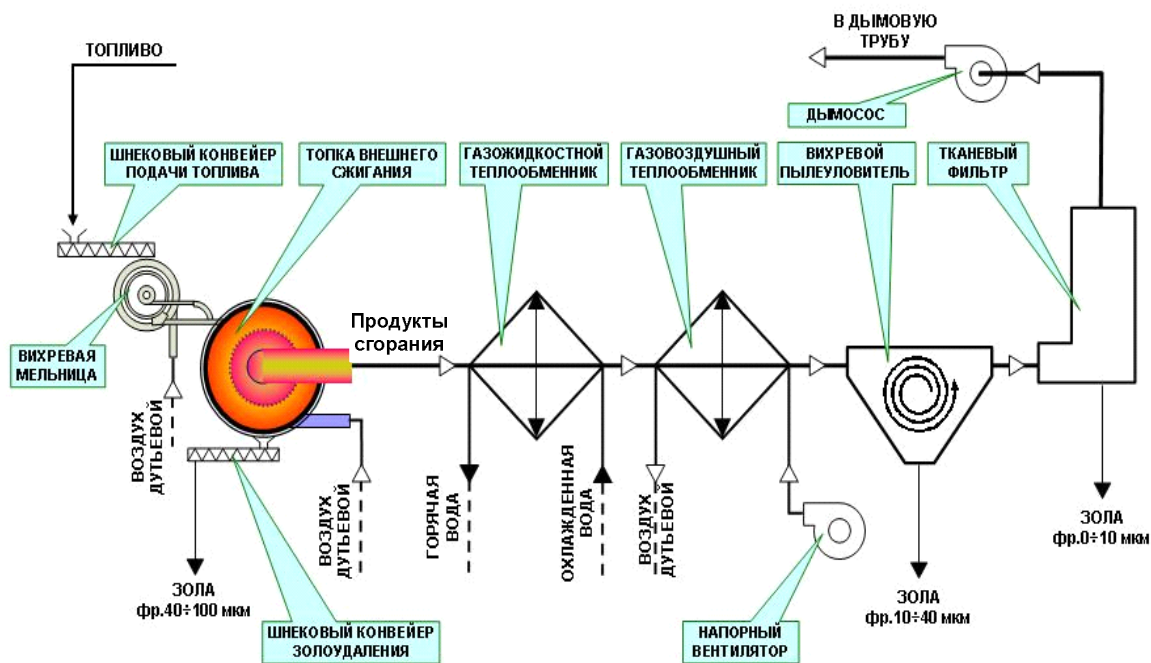


Рис. 2. Схема экспериментальной установки сжигания некондиционного топлива в вихревой топке

Схема экспериментальной установки сжигания некондиционного топлива в вихревой топке показана на рис. 2.

Топливо в топку подается потоком воздуха из вихревой мельницы. Закрученный газовый поток создается неподвижными лопатками закручивающего аппарата при прохождении через них потока дутьевого воздуха. Дутье обеспечивает специальный напорный вентилятор. С целью повышения КПД топки и сокращения расхода топлива предусмотрен подогрев воздушного дутья до 100 °С. Потоки смеси воздуха и твердых частиц направлены в одну сторону. Высокая интенсивность тепло- и массообменных процессов в системе газ – твердое топливо обеспечивает высокие скорости горения с эффективностью сжигания не менее 95 %.

Продукты сгорания с температурой более 1000 °С эвакуируются из топки по двум газоходам, расположенным с торцов топки. С продуктами сгорания из топки во взвешенном состоянии удаляется мелкая (летучая) зола (фракции до 40 мкм). Ее доля в общей массе золы составляет до 70 %. Более крупная зола (фракции 40 – 100 мкм) концентрируется по периферии вихревого потока и удаляется через щелевой канал по специальным течкам на шнековый конвейер золоудаления в узел утилизации золы.

В качестве топлива возможно использование отходов: углеобогащения, золошлаковых, лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, сельскохозяйственных.

Основные требования к топливу при сжигании отходов углеобогащения следующие: гранулометрический состав представлен фракцией 0 – 10 мм (содержание фракции 0 – 5 мм не менее 70 %), влажность и зольность на рабочую массу не более 17 и 45 % соответственно, выход летучих не менее 11 %; низшая теплота сгорания не менее 4000 – 5200 ккал/кг (16,6 – 21,6 МДж/кг).

В зависимости от дисперсного состава и вида применяемого топлива топка комплектуется дополнительными устройствами для осуществления его помола, сушки, при сжигании опилок и лузги – специальным загрузочным устройством.

**Выводы.** На основе проведенного анализа обобщены и систематизированы сведения о различных видах твердых техногенных углеродсодержащих отходов, используемых в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов, рассмотрены достоинства и недостатки технологий их сжигания. Выделены наиболее перспективные направления, обеспечивающие повышение тепловой и экономической эффективности использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисиенко В.Г., Щелочков Я.М., Ладыгин М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологиче-



- ское использование: Справочное издание в 3-х кн. Кн. 1 / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 608 с.
2. Б у р д у к о в А.П., М а т у з о в С.В. Сжигание отходов углепереработки в котле кипящего слоя // Уголь. 2012. № 12. С. 69 – 72.
  3. К о р ч е в о й Ю.П., М а й с т р е н к о А.Ю., Т о п а л А.И. Экологически чистые угольные энерготехнологии. – Киев: Наукова думка, 2004. – 186 с.
  4. Ш у в а л о в Ю.В., Н и ф о н т о в Ю.А., Н и к у л и н А.Н. Брикетирование нетрадиционных видов топлив // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 9. С. 161 – 166.
  5. Д у б и н и н В.С., Л а в р у х и н К.М., С т е п а н о в а Т.А. и др. Использование древесины и растительных отходов с целью получения искусственного экологиче-
  - ски чистого твердого топлива для децентрализованного энергоснабжения России // Промышленная энергетика. 2006. № 9. С. 44 – 47.
  6. Ф и л и н а Н.А., А л и б е к о в С.Я. Технология утилизации древесных и нефтесодержащих отходов с целью получения тепловой энергии // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 10. С. 32 – 37.
  7. И с ь е м и н Р.Л., К у з ь м и н С.Н., В и р ь с о в Д.М. и др. Котел для бесплакового сжигания сельскохозяйственных отходов // Промышленная энергетика. 2011. № 11. С. 55 – 58.

© 2013 г. В.И. Багрянцев, С.А. Казимиров, А.И. Куценко, А.П. Подольский, А.А. Рыбушкин, М.В. Темлянцев  
Поступила 20 сентября 2013 г.

УДК 621.313.2

*А.Н. Савельев<sup>1</sup>, М.В. Кипервассер<sup>1</sup>, Д.С. Аниканов<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>ООО «ЛНУ ОК «СШС»

## ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РАСПОЗНАВАНИЮ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВКАХ

Клетевые и скиповые шахтные подъемы относятся к основным технологическим агрегатам, обеспечивающим работу подземных горнодобывающих предприятий. От их надежной и безотказной работы зависят безопасность и производительность предприятия в целом.

Узлы и агрегаты подъемных установок в процессе работы подвергаются значительным нагрузкам, действие которых приводит к постепенному износу и выходу из строя механизма по тем или иным причинам. Доступ к быстро изнашивающимся узлам и деталям агрегата у персонала установки ограничен, что исключает непрерывную оценку их состояния. По этой причине возникающие неисправности и аварии выявляются несвоевременно, а их характер устанавливается зачастую неверно, что многократно увеличивает потери производства. В этой связи своевременное и точное определение места и характера повреждения является важной для производства задачей. В

сложившихся условиях для постоянной оценки состояния клетевых и скиповых шахтных подъемов может быть использован метод энергетической оценки работы привода [1].

Рассмотрим работу одного из основных механизмов, обеспечивающих технологический процесс рудной шахты, – скипового подъема [2]. Этим термином объединяется довольно сложный комплекс узлов и агрегатов, включающий:

- коренную часть подъема (барабан, тормозные устройства, опорные подшипники и т.д.) (рис. 1);
- подъемные сосуды (скипы) с прицепными устройствами и канатами;
- загрузочные устройства (дозаторы), шахтный ствол с направляющими проводниками, разгрузочные «кривые»;
- электрический двухдвигательный привод постоянного тока со схемой управления.

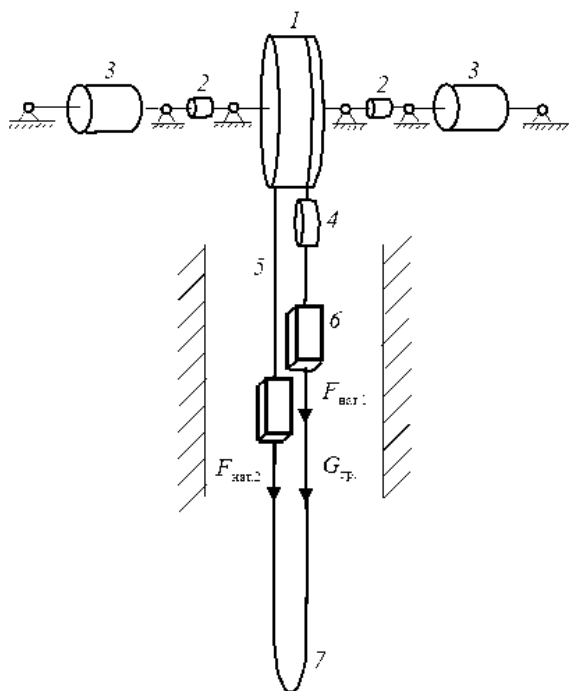


Рис. 1. Кинематическая схема скипового подъема со шкивом трения:

1 – шкив; 2 – муфты; 3 – приводные двигатели постоянного тока; 4 – отклоняющий шкив; 5 – канаты; 6 – скипы; 7 – уравнивающие резинотросовые ленты

В течение технологической смены механизм не обслуживается и не наблюдается технологическим персоналом за исключением машиниста скипового подъема, наблюдающего за всем комплексом механизмов шахтного подъема с пульта управления. При этом существуют несколько схем, приборов и устройств, контролирующих отдельные узлы или аварийные ситуации подъемной установки. Так, для контроля проскальзывания канатов используются схемы, сравнивающие скорости вращения канатоведущего и отклоняющего шкивов. Иногда дополнительно измеряются скорости скипов [3]. Схемы предполагают использование значительного количества оборудования, но контролируется при этом лишь часть возможных неисправностей.

Контроль аварийных режимов движения скипа обычно выполняют разного рода датчики: переподъема 1-го и 2-го положения скипа, массы груза в скипе, износа тормозных колодок, превышение скорости и пр. Общее количество датчиков на скиповом подъеме достигает двадцати. Подобное количество датчиков весьма усложняет принципиальную и монтажную схемы электрооборудования. Сами датчики не очень надежные в эксплуатации, располагаются в труднодоступных, иногда опасных зонах, и также могут служить причиной отказа. С другой стороны, сравнительно с количеством возможных причин неисправностей и

отказов такое количество регистраторов явно не достаточно. Для сравнения: число аварийных режимов только в самом электроприводе, который контролирует схема защиты электропривода, составляет более сорока. Причем в большинстве случаев для регистрации аварийной ситуации используется информация всего о четырех параметрах электропривода: токе якорной цепи двигателей, токе обмоток возбуждения, напряжении якоря двигателей и их частоте вращения. Было бы весьма удобно, опираясь на результаты работ [1, 4], модернизировать действие схем защиты электродвигателей на механическую часть скипового подъема.

Работа скипового подъема сопровождается процессом преобразования одного вида энергии в другой. Электрическая энергия источника (электрической сети) преобразуется в энергию вращательного движения на валу электродвигателя и далее используется в механизме для совершения полезной работы. Для механизма скипового подъема рудной шахты этапы перехода энергии из одной формы в другую выглядят следующими: электрическая энергия трехфазной сети переменного тока – механическая энергия синхронного двигателя – электрическая энергия регулируемого генератора постоянного тока на его зажимах – энергия вращательного движения на валу приводного электродвигателя постоянного тока – потенциальная энергия поднятого полезного груза. Количество энергии, преобразованной из одной формы в другую, согласно закону ее сохранения с учетом потерь, должно быть одинаковым в любой интервал времени. Величины мощностей различных процессов описываются следующими известными выражениями:

– активная мощность трехфазной сети переменного тока

$$P_c = \sqrt{3}U_c I \cos \varphi, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $U_c$  – линейное напряжение сети, В;  $I$  – фазный ток сети, А;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности;

– мощность (электрическая) на зажимах постоянного тока преобразователя и цепи якоря приводного двигателя

$$P_3 = U_a I_a, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где  $U_a$  – напряжение якорной цепи, В;  $I_a$  – ток якорной цепи, А;

– механическая мощность на валу двигателя

$$P_m = M\omega, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $M$  – механический момент электродвигателя, Н·м;  $\omega$  – угловая частота вращения вала,  $\text{с}^{-1}$ ;  
– суммарная мощность движущихся и вращающихся частей механизма

$$P_{\Sigma} = (F_{\text{нат1}} - F_{\text{нат2}})v + J_{\text{пр}}\omega\varepsilon, \quad (4)$$

где  $F_{\text{нат1}}, F_{\text{нат2}}$  – силы натяжения канатов, Н;  $v$  – линейная скорость скипов;  $\omega$  – частота вращения вала двигателя;  $J_{\text{пр}}$  – приведенный момент инерции;  $\varepsilon$  – угловое ускорение привода.

Как уже говорилось выше, в качестве привода механизма используются два двигателя постоянного тока независимого возбуждения, у которых величина механического момента на валу описывается выражением

$$M = c_m \Phi I_a, \quad (5)$$

где  $c_m$  – конструктивная постоянная;  $\Phi$  – магнитный поток, создаваемый в статоре.

Магнитный поток в процессе работы не регулируется и остается практически постоянным. Следовательно, величина момента на валу прямо пропорциональна току якорной цепи, и, контролируя последний, по ней можно точно судить о механических нагрузках в приводе подъема.

Механический момент на валу шкива скипового подъема (рис. 1) складывается из двух основных составляющих: момента статического и момента динамического. Статический момент определяется усилиями натяжения канатов и описывается выражением

$$M_{\text{стат}} = R_{\text{ш}} F_{\text{нат1}} - R_{\text{ш}} F_{\text{нат2}} = R_{\text{ш}} G_{\text{гр}}; \quad (6)$$

здесь  $R_{\text{ш}}$  – радиус шкива;  $G_{\text{гр}}$  – масса груза в скипе.

Динамический момент возникает при разгоне и замедлении привода. В общем случае он описывается выражением

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{пр}} \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dt} [R_{\text{ш}}^2 (2m_{\text{ск}} + m_{\text{гр}} + m_{\text{кан}}) + 2J_{\text{дв}} + J_{\text{шк}}], \quad (7)$$

в котором  $m_{\text{гр}}, m_{\text{ск}}$  и  $m_{\text{кан}}$  – массы груза, скипов и канатов;  $J_{\text{дв}}$  – приведенные к валу шкива моменты инерции двигателей;  $J_{\text{шк}}$  – приведенные к валу моменты инерции канатоведущего и отклоняющего шкивов;  $d\omega/dt$  – угловое ускорение (замедление) привода.

Полный механический момент на валу шкива в любой момент времени является суммой статической и динамической составляющих:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{стат}} + M_{\text{дин}}.$$

Анализируя величины, входящие в механический момент, можно отметить, что одни из них являются переменными, а другие постоянными. При этом переменные параметры в нормальных условиях эксплуатации скиповых подъемов являются закономерными и стабильными во времени. Так, масса груза в скипе зависит от состава и количества руды. Перед каждым подъемом масса груза с достаточной точностью определяется приборами замера, установленными на дозирующих устройствах. Динамические параметры привода (величины разгона и замедления) зависят от его настроек и характера тахограммы. Имея информацию о запрограммированной тахограмме и положении сосудов, можно судить о величине ускорения (замедления) привода в каждый момент времени, а следовательно, о величине электрических параметров привода.

Любая из аварийных ситуаций приводит к отклонению величины механического момента на валу электродвигателей подъема от штатного, нормального значения [1]. Как следствие, меняется ток якоря приводного электродвигателя. На рис. 2, а, б показаны зависимости тока якоря приводного электродвигателя соответственно при нормальных условиях и при нарушении целостности проводников. На обоих графиках присутствуют характерные участки, соответствующие движению электропривода по стандартной тахограмме: 1 и 5 – трогание и

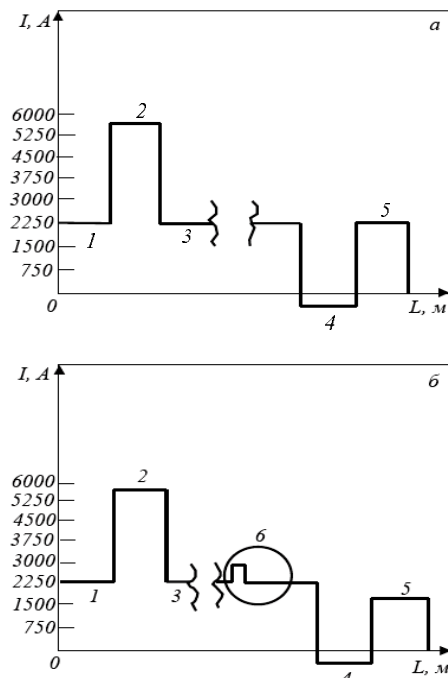


Рис. 2. Токограмма движения скипов при нормальных условиях (а) и при наличии неисправностей (б)

дотягивание скипов в разгрузочных кривых; 2 и 4 – разгон и замедление привода; 3 – движение с установившейся скоростью в стволе.

Кроме того, на рис. 2, б имеется явно выраженное отклонение величины тока от нормальных значений (участок б). Это отклонение связано с повреждениями проводников шахтного ствола.

Нарушение геометрии проводников не приводит к прекращению движения скипов. Явления, связанные с возникшим отклонением, мало заметны на фоне работающих механизмов и не могут служить информацией для определения места и характера неисправности. Вместе с тем очевидно, что с течением времени состояние проводников будет только ухудшаться и в итоге приведет к серьезной аварии и остановке агрегата. Возникшее на диаграмме тока отклонение от нормальных значений дает четкую информацию о месте возникновения неисправности и ее характере. Величина отклонения тока показывает степень нарушения геометрии проводников. Отклонения тока якоря приводных электродвигателей от нормальных значений в абсолютных и относительных единицах для скипового подъема рудника «Шерегеш» приведены в таблице.

При выполнении дополнительных исследований возможна идентификация других видов неисправности механической части агрегата, так как характер отклонения тока от нормальных значений связан с типом неисправности вышеупомянутой механической части.

На базе электрических параметров привода скипов возможно создавать специальные защитные устройства. Так, из всех перечисленных выше аварийных ситуаций на шахтных

подъемных установках одной из самых опасных является проскальзывание каната. Такого рода аварийная ситуация происходит в результате застревания спускаемого сосуда в стволе. Итогом этого является проскальзывание канатов по шкиву, которое приводит к выходу из строя футеровки, значительным динамическим ударом в механопроводе и рассогласованию между положением путевого программного аппарата и фактическим положением подъемных сосудов. Для предупреждения этого опасного явления устройство защиты, основанное на контроле электрических параметров, должно иметь блок-схему, приведенную на рис. 3.

Такого рода устройство способно распознавать начальный этап аварийного режима по колебанию контролируемой величины тока. Принцип работы устройства основан на контроле действующих значений тока при помощи токоизмерительного шунта. Далее выходной сигнал из измерительного блока поступает на входы первого и второго блоков задержки, служащих для обеспечения выдержки времени при пуске механизма. При помощи логических схем и электронных блоков контролируются пусковые значения тока и отклонения, появляющиеся в результате наличия аварийной ситуации (проскальзывания каната). В результате при появлении аварийного режима работы устройство своевременно отключает питание двигателей.

**Выводы.** Имеются все основания и все возможности, чтобы осуществлять достаточно полный контроль за состоянием работоспособности элементов и узлов скипового подъема рудных шахт.

### Отклонение значений тока в аварийных ситуациях

Вид неисправности (аварии)	Отклонение тока на участках тахограммы	
	Трогание – разгон – установившееся движение – торможение – дотяжка	
Нарушение армировки целостности направляющих проводников	от 150 до 300	
	от 5,03 до 7,90	
Неисправности подшипников шкива коренной части подъемной установки	от 100 до 200	
	от 2,6 до 5,3	
Обрыв одного из уравновешивающих канатов	от 600 до 800	
	от 15,8 до 21,1	
Проскальзывание канатов при зависании сосудов	до 1000	
	до 2,6	
Обрыв головного каната	от 500 до 600	
	от 13,5 до 15,8	

Примечание. В числителе – абсолютное отклонение тока, А; в знаменателе – относительное, %.

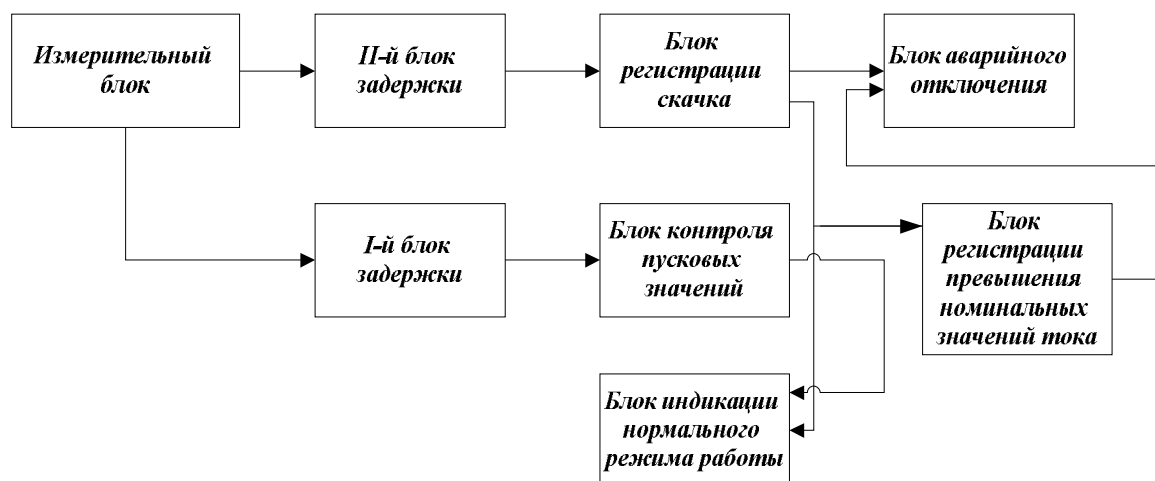


Рис. 3. Блок-схема устройства защиты от проскальзывания каната

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Анников Д.С. К обоснованию комплексного метода оценки работоспособности современных технологических объектов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 37 – 41.
2. Шахтный подъем / В.Р. Бежок, В.И. Дворников, И.Г. Манец, В.А. Пристром. – Донецк: Юго-Восток, 2007. – 626 с.
3. Сидоров В.А., Кравченко В.М., Седушин В.Я. Техническая диагности-

ка механического оборудования. – Донецк: Новый мир, 2003. – 125 с.

4. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Инжелевская О.В. Распознавание аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 6. С. 42 – 45.

© 2013 г. А.Н. Савельев, М.В. Кипервассер,  
Д.С. Анников

Поступила 16 сентября 2013 г.

*И.В. Ноздрин, В.В. Руднева, Г.В. Галевский*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ И СВОЙСТВА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ЦИНК – БОРИД ХРОМА $\text{CrB}_2$

Среди защитных металлических и неметаллических покрытий цинковые являются одними из наиболее эффективных и распространенных. Широкое применение антикоррозионных цинковых покрытий для защиты стальных и чугуновых изделий обусловлено следующими причинами:

- высокая природная стойкость самого цинка вследствие образования на нем в коррозионной среде защитных пленок из продуктов коррозии;

- высокая анодность защиты стали цинкованием в атмосферных условиях и в пресной воде при температурах до 343 К; при более высоких температурах цинковое покрытие защищает сталь в агрессивных средах только механически, превращаясь из анодного покрытия в катодное;

- цинкование реализуется во многих технологических вариантах, обеспечивающих различные механизмы образования, физико-химические и эксплуатационные характеристики покрытий;

- процессы цинкования технологически относительно просты, механизированы и автоматизированы, имеют высокие технико-экономические показатели.

Благодаря этому цинковые покрытия по объему и номенклатуре защищаемых от коррозии изделий не имеют равных среди других металлических покрытий. Исходя из механизма образования и физико-химических характеристик в настоящее время можно выделить шесть видов цинковых покрытий:

- гальванические, получаемые в растворах электролитов из солей цинка под действием электрического тока;

- металлизационные, получаемые путем распыления расплавленного цинка струей воздуха или горячего газа;

- горячецинковые, получаемые погружением в расплавленный цинк;

- диффузионные, получаемые путем химико-термической обработки в смесях на основе порошка цинка;

- цинконаполненные, представляющие собой композиции, состоящие из цинкового порошка и связующего (синтетических смол);

- комбинированные, представляющие собой комбинацию цинкового покрытия любого вида и лакокрасочного или полимерного покрытия.

При этом способ нанесения цинковых покрытий определяет такие их эксплуатационные свойства, как прочность сцепления с поверхностью покрываемого металла, твердость, пористость, коррозионная стойкость, а также сферы преимущественного применения. Можно констатировать, что ни один из перечисленных способов не является универсальным и в силу разных причин имеет присущие ему технологические ограничения. Так, цинковые покрытия, полученные гальваническим способом, отличаются высокой чистотой, плотностью и однородностью структуры, вследствие чего обладают удовлетворительной механической прочностью и химической стойкостью. В качестве преимуществ такого процесса цинкования можно отметить следующие:

- электроосаждение осуществляют при сравнительно низких температурах (298 – 343 К) и плотности тока (2 – 30 А/дм<sup>2</sup>);

- возможность регулирования толщины цинкового покрытия, скорости его электроосаждения, нанесение на изделие с жесткими допусками по геометрическим размерам;

- возможность применения для защиты резьбы муфт и труб, в том числе нефтяного сортамента, тонкостенных труб, тогда как применение других высокотемпературных способов вызывает значительную деформацию их профиля; незаменимость при нанесении на внешнюю и внутреннюю поверхности покрытий различной толщины, либо на одну из них;

- сокращение расхода цинка по сравнению с другими в 3 – 4 раза.

Наряду с отмеченными преимуществами этот способ цинкования имеет недостатки, вообще присущие гальванической технологии: чувствительность к изменению состава электролита, возможность наводороживания и, как

следствие, охрупчивания защищаемого металла с образованием в нем микротрещин и пористости, необходимость очистки растворов от механических примесей и регенерации, образование высокотоксичных сточных вод, определенные трудности в утилизации жидких и твердых отходов.

Одним из направлений улучшения эксплуатационных свойств гальванических цинковых покрытий может быть модифицирование электроосаждаемой цинковой матрицы специально вводимыми в электролит нанодисперсными добавками, значительный положительный опыт применения которых в процессах электролитического хромирования, золочения, серебрения, железнения накоплен в России и за рубежом. В связи с этим исследованы электроосаждение, коррозионная стойкость и микротвердость гальванических композиционных покрытий (ГКП) цинк – нанопорошок борида хрома  $\text{CrB}_2$ . Содержание  $\text{CrB}_2$  в нанопорошке составляет 95,12 % (по массе), а размерный диапазон наночастиц соответствует интервалу 20 – 90 нм. Микрофотографии и дисперсный состав нанопорошка борида хрома представлены на рис. 1 и 2. Средний и максимальный размеры наночастиц борида хрома составляют 42,0 и 90,0 нм. Цинковые ГКП осаждались из щелочного цинкового электролита, содержащего соответственно 10, 100 и 4  $\text{кг/м}^3$   $\text{ZnO}$ ,

$\text{NaOH}$  и органической добавки, при температуре 298 К, катодной плотности тока 0,2  $\text{кА/м}^2$ , концентрации нанопорошка борида 6 – 8  $\text{кг/м}^3$ . В качестве анодов использовались цинковые пластинки размером 0,08×0,1 м, в качестве катодов – стальные образцы (из стали 3) с площадью поверхности  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

Для приготовления электролита – суспензии к навеске борида добавляли небольшое количество чистого электролита, перемешивали до полного смачивания порошка, количественно переносили в электролизер и разбавляли до требуемой концентрации. Корректировка  $\text{pH}$  производилась с помощью растворов  $\text{NaOH}$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Свежеприготовленный электролит прорабатывался в течение 2 ч при катодной плотности тока 0,01 – 0,02  $\text{кА/м}^2$ . В условиях лабораторных исследований осаждение покрытий проводилось в стеклянных термостатированных электролизерах емкостью 0,001  $\text{м}^3$  при перемешивании суспензии магнитной мешалкой. Скорость движения электролита составляла 0,25 – 0,75 м/с. Содержание борида хрома в композиционном покрытии определялось весовым методом после растворения покрытия в 10 %-ном растворе  $\text{HCl}$ . Процент включения  $\text{CrB}_2$  в матрицу рассчитывался как отношение массы нерастворимого остатка к массе покрытия.

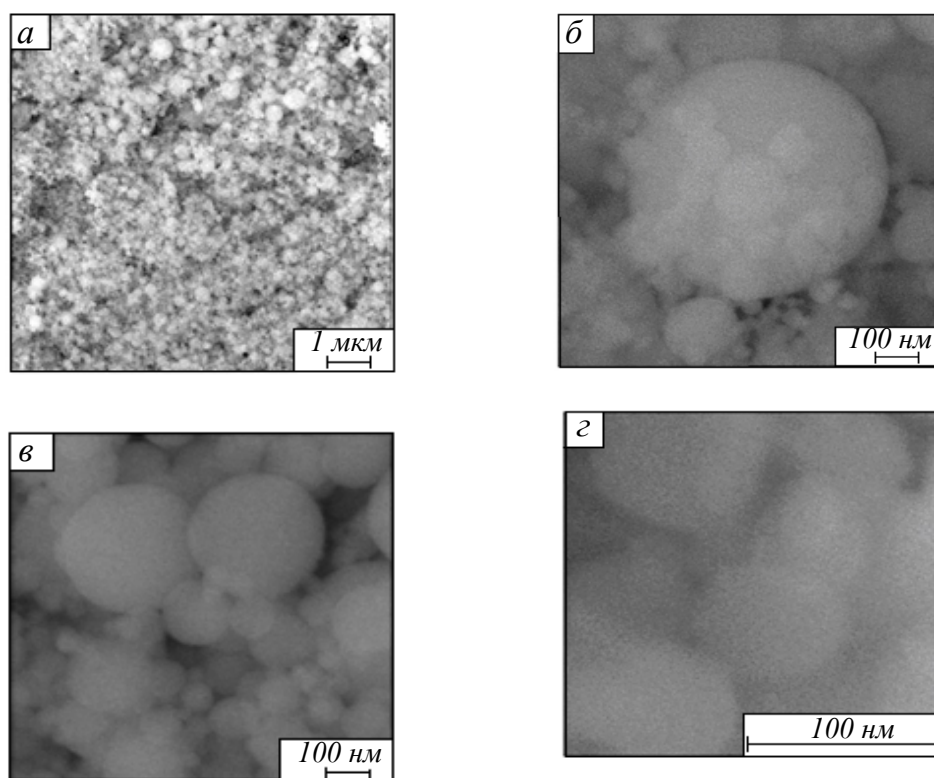


Рис. 1. Микрофотографии нанопорошка борида хрома: *а* – в состоянии поставки; *б* – морфологическая картина агрегата; *в* – ансамбль частиц и агрегатов; *г* – отдельные частицы

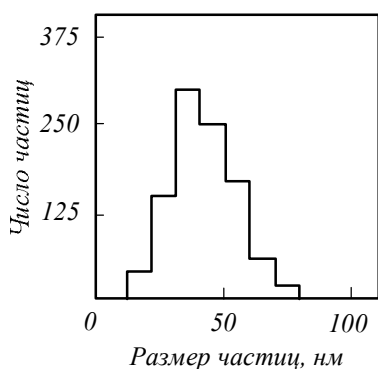


Рис. 2. Дисперсный состав нанопорошка борида хрома (число частиц 738)

Коррозионная стойкость покрытия определялась по ГОСТ 9.308 – 85 методом испытания по воздействию нейтрального соляного тумана стальных образцов с осажденным композиционным покрытием толщиной 6 мкм при температуре 35 °С. Для распыления и получения солевого тумана использовался 5 %-ный раствор хлорида натрия. Коррозионную стойкость покрытий оценивали по первым признакам коррозии основы. Продолжительность испытаний составляла 240 ч. Микротвердость определялась на образцах с покрытием толщиной 10 мкм. При определении микротвердости статическая нагрузка при измерениях составляла 0,2 Н. Выход цинка по току определялся весовым методом с помощью последовательно подключенного к электролизеру медного кулонометра.

Результаты исследования коррозионной стойкости покрытий приведены на рис. 3. Содержание борида хрома в ГКП составило 0,64 % (по массе). Цинковое и композиционное покрытия подвергались для повышения коррозионной стойкости пассивации – хроматированию и фосфатированию. Хроматирование проводили в растворе, содержащем соответственно 35, 15 и 7 кг/м<sup>3</sup> Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и HNO<sub>3</sub>, при температуре 295 К в течение 20 с. Фосфатирование проводили в растворе, содержащем соответственно 10, 50 и 10 кг/м<sup>3</sup> ZnO, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и NaNO<sub>3</sub>, при температуре 345 К в течение 30 мин. Можно видеть, что введение в цинковое покрытие нанопорошка борида хрома увеличивает его коррозионную стойкость в 2,3 раза. После хроматирования коррозионная стойкость композиционного покрытия возрастает в 1,8 раза, а после фосфатирования – в 2,2 раза. На цинковых покрытиях пассивирующий эффект проявляется в меньшей мере: коррозионная стойкость возрастает соответственно в 1,5 и в 1,3 раза. Следовательно, фосфатирование композиционных покрытий оказывается более эффективно, чем хроматирование, что весьма важно и с экологической точки зрения.

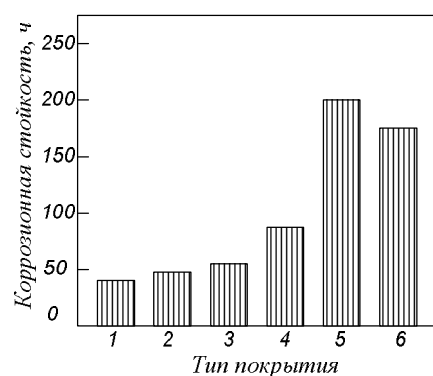


Рис. 3. Коррозионная стойкость гальванических цинковых покрытий:

1, 2, 3 – цинковые покрытия до и после фосфатирования и хроматирования; 4, 5, 6 – композиционное покрытие цинк – борид хрома до и после фосфатирования и хроматирования

Микротвердость цинковых покрытий составляет  $1,00 \pm 0,10$  ГПа, композиционных покрытий  $1,20 \pm 0,10$  ГПа, т.е. выше в 1,2 раза.

Анализ полученных результатов позволяет выделить следующие основные факторы повышения эксплуатационных свойств ГКП цинк – борид хрома. Наночастицы борида хрома имеют форму, близкую к сферической или овальной, без острых кромок, обладают высокой химической и адсорбционной активностью, образуют устойчивые к седиментации и коагуляции электролиты – суспензии; благодаря малой массе эффективно переносятся к покрываемой поверхности. При электроосаждении цинка взвешенные в электролите наночастицы борида благодаря гидродинамическим, молекулярным и электростатическим силам взаимодействуют с поверхностью растущего осадка, что приводит к образованию композиционного покрытия. При этом наночастицы борида выступают в качестве центров кристаллизации, от которых начинается кристаллизация цинка. Благодаря большому количеству наночастиц борида, участвующих в процессе, кристаллизация носит массовый многозародышевый характер, а образующиеся покрытия имеют малые размеры структурных фрагментов, характерный матовый цвет и практически беспористы. Сочетание безинерционного массопереноса наночастиц борида и массовой кристаллизации цинка обуславливает равномерное осаждение покрытий на эквипотенциальных поверхностях. Малый размер частиц борида и кристаллитов цинка обеспечивает точное копирование микрорельефа поверхности, что увеличивает общую поверхность и прочность сцепления композиционного покрытия с основой. Повышение качества ГКП – коррозионной стойкости и микротвердости – достигается при малом содержании



борида в покрытии – 0,6 – 0,7 % (по массе), что делает процесс экономичным.

**Выводы.** Из-за малого размера частиц борида хрома и их невысокого содержания в покрытии повышение комплекса физико-механических свойств ГКП не может быть связано только с особыми свойствами борида. Следовательно, в отличие от микропорошков нанопорошок борида является не только наполнителем или второй фазой, а выступает в качестве сильного структурообразователя в

процессе электрокристаллизации цинка и обеспечивает его массовую кристаллизацию, что приводит к образованию высокодисперсной беспористой структуры покрытия с повышенными коррозионной стойкостью и микротвердостью.

© 2013 г. *И.В. Ноздрин, В.В. Руднева,  
Г.В. Галевский*  
Поступила 20 сентября 2013 г.

*Е.П. Волынкина<sup>1</sup>, С.Н. Кузнецов<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Администрация г. Новокузнецка

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ И РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ

Возрастающее количество и усложнение морфологического состава твердых бытовых отходов (ТБО) привело человечество к осознанию необходимости управления потоками отходов. Термин «Waste Management» (рус. – «управление отходами»), широко используемый в зарубежной практике, означает организацию обращения с отходами с целью снижения их влияния на здоровье человека и состояние окружающей среды [1]. Данное определение содержит четкую формулировку цели управления отходами. В отечественной научной литературе и нормативной документации определение термина «управление отходами» отсутствует, а на практике используется термин «обращение с отходами», определение которого дано в федеральном законе РФ № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»: деятельность по сбору, накоплению, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов» [2]. Это определение не указывает на необходимость какого-либо управления данной деятельностью. Более близкое к термину «управление отходами» определение термина «обращение с отходами» дано в межгосударственном стандарте ГОСТ 30772 – 2001 [3], целью которого является гармонизация терминов с международной, региональной и отечественной правовой нормативной документацией: «обращение с отходами – виды деятельности, связанные с документированными организационно-технологическими операциями регулирования работ с отходами, включая предупреждение, минимизацию, учет и контроль образования, накопление отходов, а также их сбор, размещение, утилизацию, обезвреживание, транспортирование, хранение, захоронение, уничтожение и трансграничные перемещения». Это определение указывает на то, что обращение с отходами включает помимо непосредственных технологических работ с отходами (сбора, размещения и пр.) организационно-технологичес-

кое регулирование этих работ, в том числе предупреждение, минимизацию, учет и контроль их образования. Цель регулирования в данном определении не сформулирована.

В связи с отсутствием какой-либо теоретической и законодательной базы в области управления отходами в России термин «управление отходами» чаще всего просто заменяет термин «обращение с отходами» и обозначает процессы распоряжения отходами, включая сбор, транспортировку, переработку или захоронение (сегодня любой водитель мусоровоза или дворник может сказать, что он участвует в системе управления отходами). Однако результаты, достигнутые в этой области в европейских странах, для России продолжают оставаться недостижимыми.

Необходимость создания системы управления отходами осознается сегодня учеными, политиками и практиками всех стран мира. В принятой 15 июля 1975 г. Директиве № 75/442/ЕЭС (так называемой «Рамочной директиве»), являющейся первым законодательным документом в области управления отходами, впервые сформулированы и законодательно закреплены принципы обращения с отходами в виде Иерархии управления отходами.

Иерархия управления отходами (универсальная модель обращения с любым видом отходов) представляет собой классификацию действий с отходами по степени их приоритетности с точки зрения минимизации негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека и построена на следующих принципах:

- предотвращение или снижение образования отходов;
- разделение отходов у источника их образования;
- вторичное использование отходов путем возврата в производственный процесс;
- рециклинг (обработка отходов с целью получения из них новых видов сырья или продукции);

- обезвреживание отходов с целью снижения их опасности для природной среды;
- захоронение отходов (наименее предпочтительная альтернатива управления отходами).

При составлении международных и национальных планов и стратегий обращения с отходами законодательство ЕС предписывает руководствоваться данной иерархией отходов. Развитие специальных технологий переработки и утилизации отходов позволило расширить и конкретизировать эту иерархию в отношении твердых бытовых отходов, называемых за рубежом муниципальными (рис. 1).

Европейский опыт показывает, что управление обращением с бытовыми отходами – сложный процесс со многими привлеченными сторонами, который включает в себя правовые, технические, экономические и экологические аспекты. Эффективное управление обращением с отходами, обеспечивающее достижение поставленных целей, должно осуществляться в соответствии с теорией управления, согласно которой управление – это система различных форм и методов воздействия субъекта управления на объект управления для достижения поставленных целей [4]. В системе управления отходами объектом управления являются все процессы обращения с отходами, определенные выше. Субъектом управления (т.е. управляющей системой) являются уполномоченные государственные, региональные и муниципальные органы, обеспечивающие процесс управления. Системой управления отходами можно назвать такой процесс взаимодействия объекта управления и управляющей системы, который приводит к достижению поставленной цели управления. Приоритетной целью управления отходами является минимизация негативного воздействия отходов на окружающую среду и

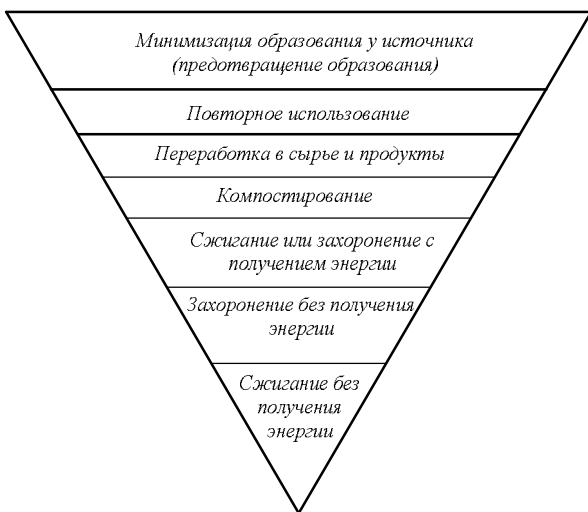


Рис. 1. Иерархия управления муниципальными отходами

здоровье человека. Однако система управления бытовыми отходами включает также важные экономические вопросы: затраты и окупаемость для инвесторов, затраты и тарифы для органов власти и населения. Поэтому еще одной немаловажной задачей является минимизация затрат.

В федеральном законе ФЗ-89 определены полномочия субъектов управления отходами в России (управляющих систем) на каждом уровне управления. В частности, полномочия РФ (т.е. федерального уровня) включают, прежде всего, разработку и принятие федеральных законов и иных нормативных актов и осуществление государственного надзора в области обращения с отходами. В полномочия субъектов РФ входят разработка и реализация региональных программ в области обращения с отходами и государственный надзор на объектах регионального экологического надзора. Основные же полномочия в области организации обращения с отходами переданы органам местного самоуправления: организация сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов.

Для эффективного функционирования система управления отходами должна базироваться, прежде всего, на правовой основе, которая должна быть обеспечена на федеральном уровне управления. В развитых странах правовой основой управления отходами является целый пакет законодательных и нормативно-правовых документов (рис. 2).

Как видно из представленной схемы, для создания современной системы управления отходами в России необходимо разработать и принять целый ряд законов и нормативных документов, которые можно разделить на четыре основные группы:

- базовые законы;
- законы и правила по отдельным видам отходов;
- законы, регулирующие процессы переработки и захоронения отходов;
- законы по надзору и контролю за перемещением отходов.

Эти законы должны обеспечивать достижение целей управления отходами – экологическую безопасность и экономическую эффективность.

Однако помимо законодательной базы необходимо организовать экономически эффективное и экологически безопасное управление отходами на территории каждого региона и населенного пункта.

В органах местного самоуправления организацией управления ТБО занимаются, как правило, отделы или комитеты, отвечающие

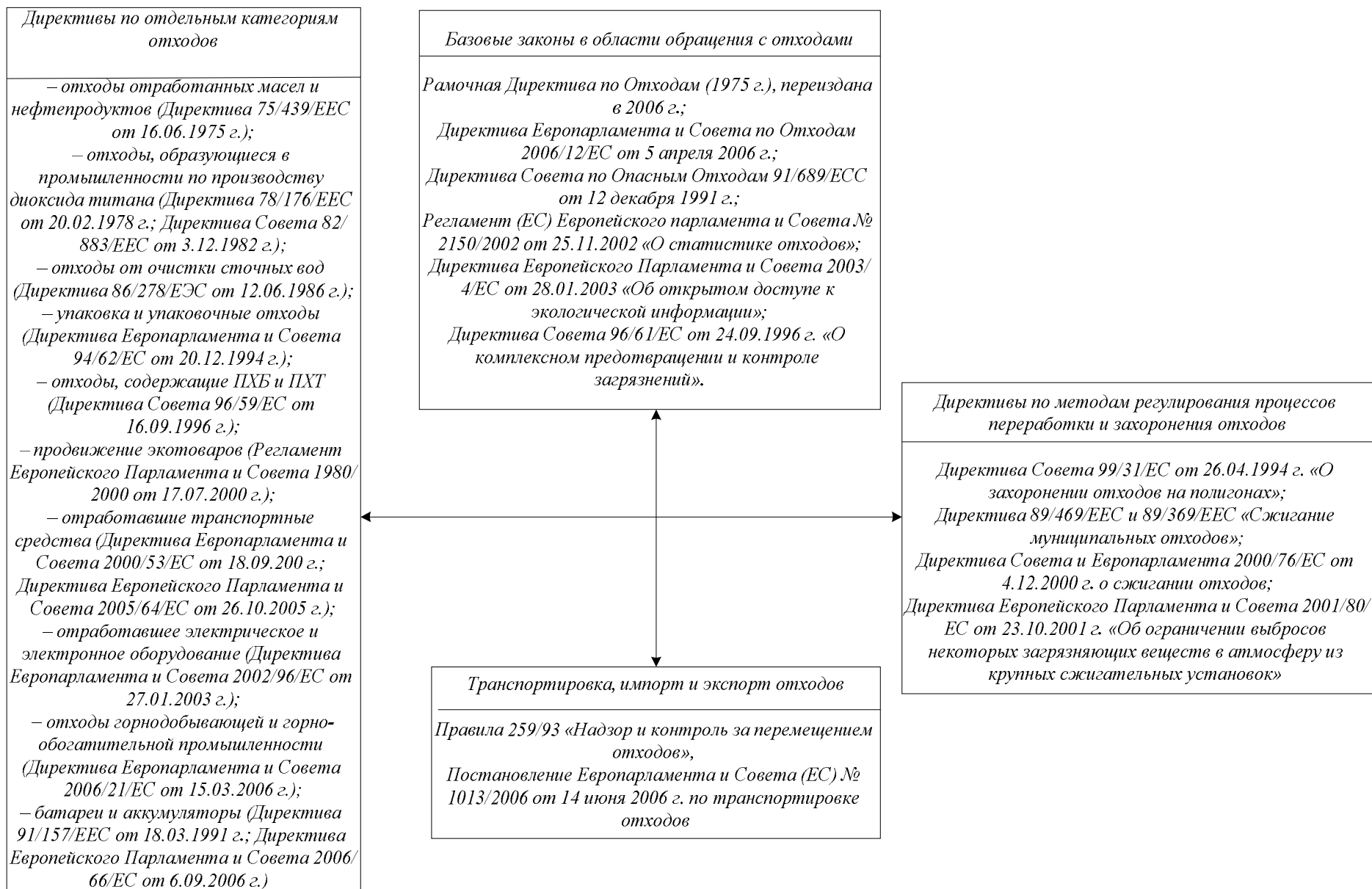


Рис. 2. Законодательные и нормативно-правовые документы ЕС в области обращения с отходами

в целом за ЖКХ, вынужденные решать множество других проблем в этой области и не имеющие достаточного времени и специалистов для создания эффективной и экологически безопасной системы управления ТБО на своей территории. Поэтому актуальной научной задачей является создание универсальных типовых моделей управления ТБО, которые могут быть использованы в любом регионе или населенном пункте.

Для разработки эффективных систем управления используется моделирование реальных процессов, при этом главной характеристикой модели является упрощение реальной жизненной ситуации, к которой она применяется.

Существующие в настоящее время модели управления ТБО можно разделить на три группы:

- организационно-административные (регулирующие);
- технологические;
- математические (экономико-математические, эколого-математические, интегральные (комплексные)).

В отечественной научной и специальной литературе основное внимание уделено разработке организационно-административных моделей управления ТБО, основанных на использовании организационных и распорядительных отношений между участниками процесса обращения с отходами. Примером такой модели является организационная и функциональная модель системы комплексного управления отходами (СКУО) на территории Ханты-Мансийского автономного округа [5], разработанная совместно с Берлинским техническим университетом (рис. 3). Эта модель включает субъекты, участвующие в управлении отходами, и их функции.

Автором работы [6] предложена государственно-концессионная модель управления сферой обращения с отходами, предполагающая сочетание государственной централизации управления с привлечением частных инвестиций (рис. 4). Эта модель включает четыре функциональных блока (регулирующий, технологический, консультационный и утилизационный), их функции, а также классифицирует

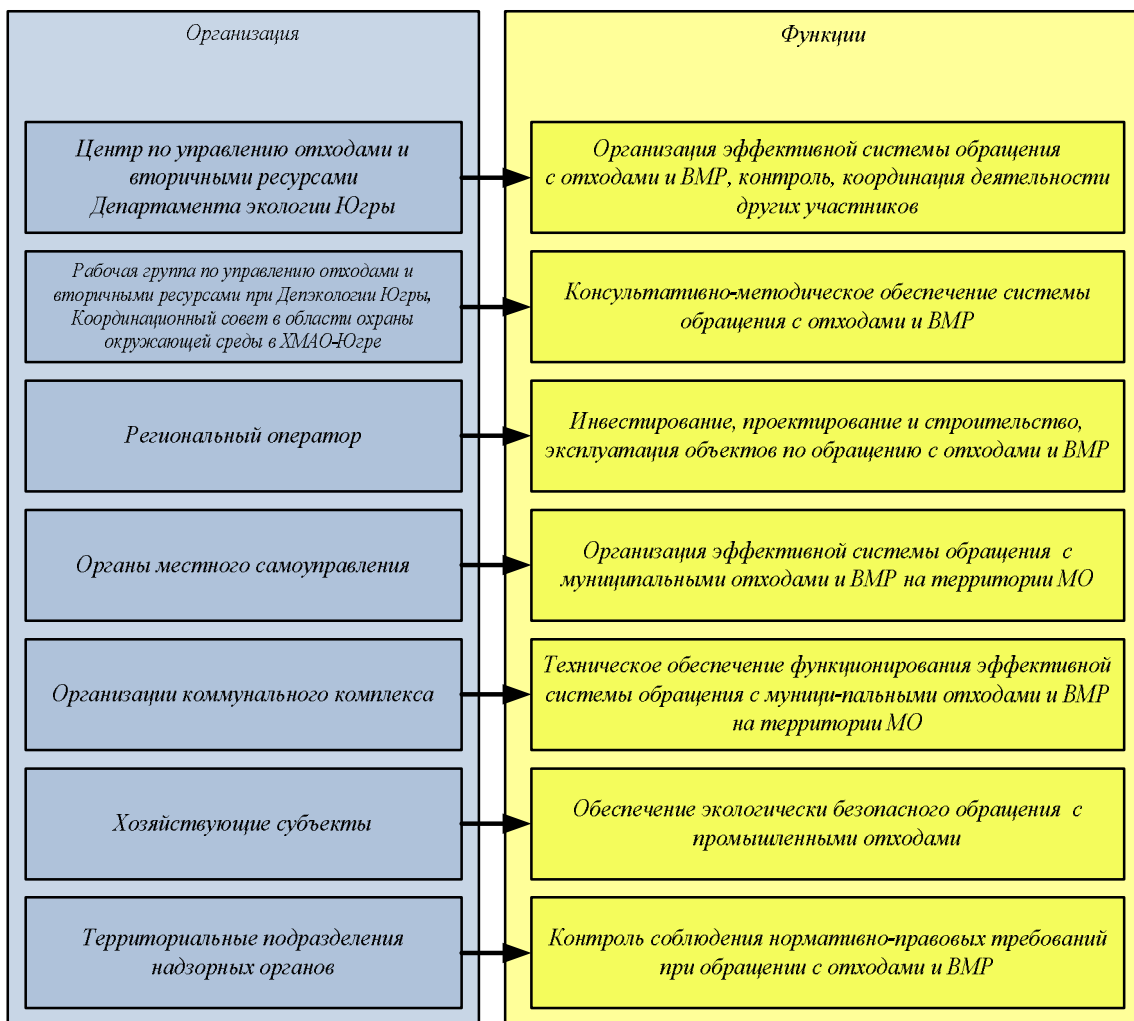


Рис. 3. Организационная и функциональная модель СКУО [5]

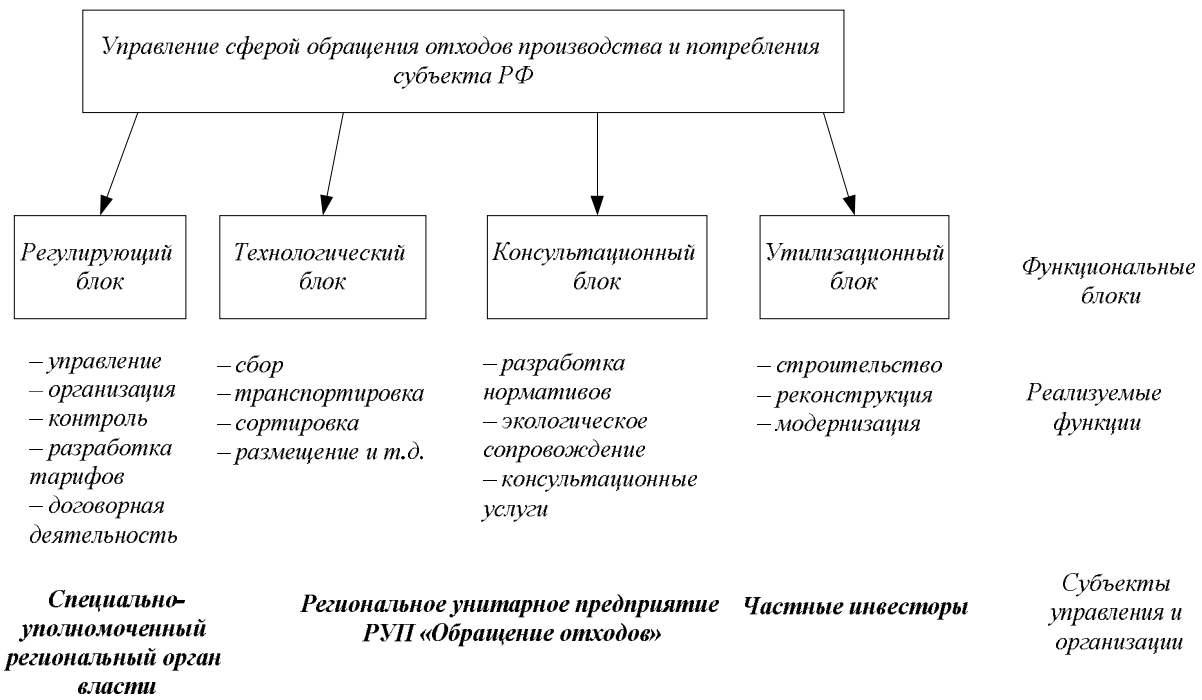


Рис. 4. Государственно-концессионная модель управления сферой обращения с отходами [6]

субъекты управления отходами на государственные региональные организации, унитарные и частные предприятия.

К организационно-административным моделям можно отнести и разработанную ФГУП «Федеральный центр благоустройства и обращения с отходами» [7] схему взаимодействия участников процесса обращения с отходами (рис. 5), в которой ключевую роль играет реализация комплекса организационно-управленческих мер.

Технологические модели включают комплекс технологических и технических решений в сфере обращения с отходами на различных этапах жизненного цикла отходов. Примером технологической модели является схема комплексного управления ТБО, разработанная авторами работы [8] (рис. 6). В качестве критериев оптимизации управления ТБО предложены степень утилизации отходов и суммарные затраты на сбор и транспортировку отходов.

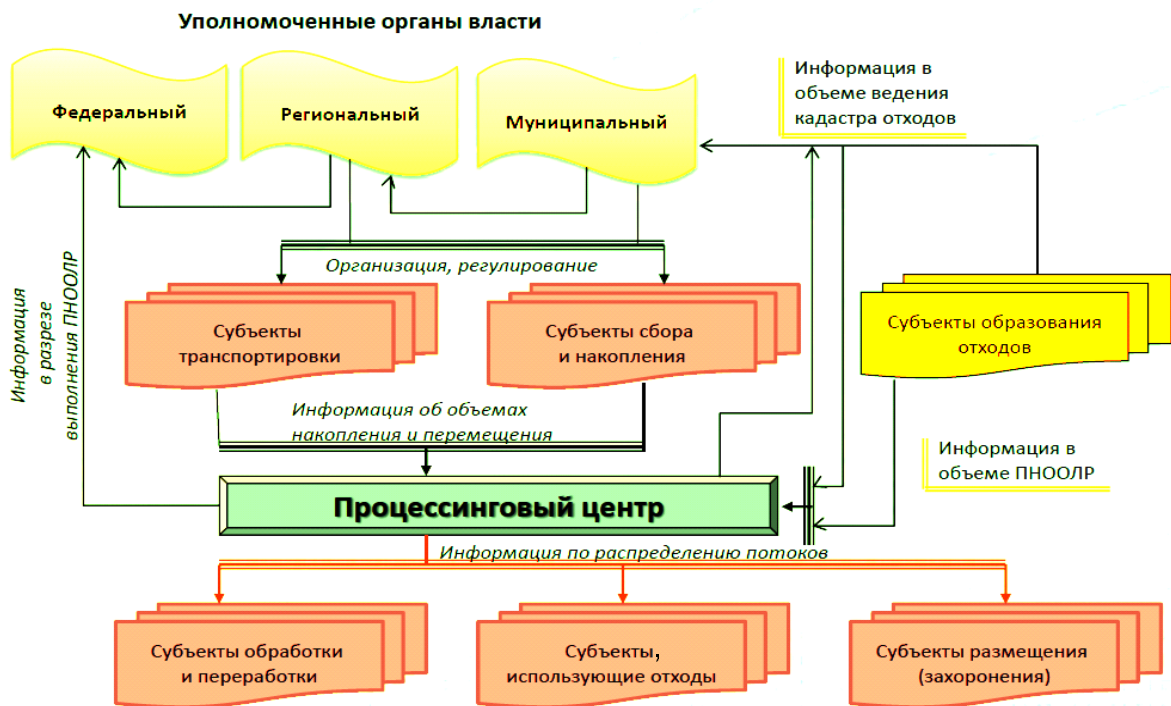


Рис. 5. Схема взаимодействия участников процесса обращения с отходами [7]

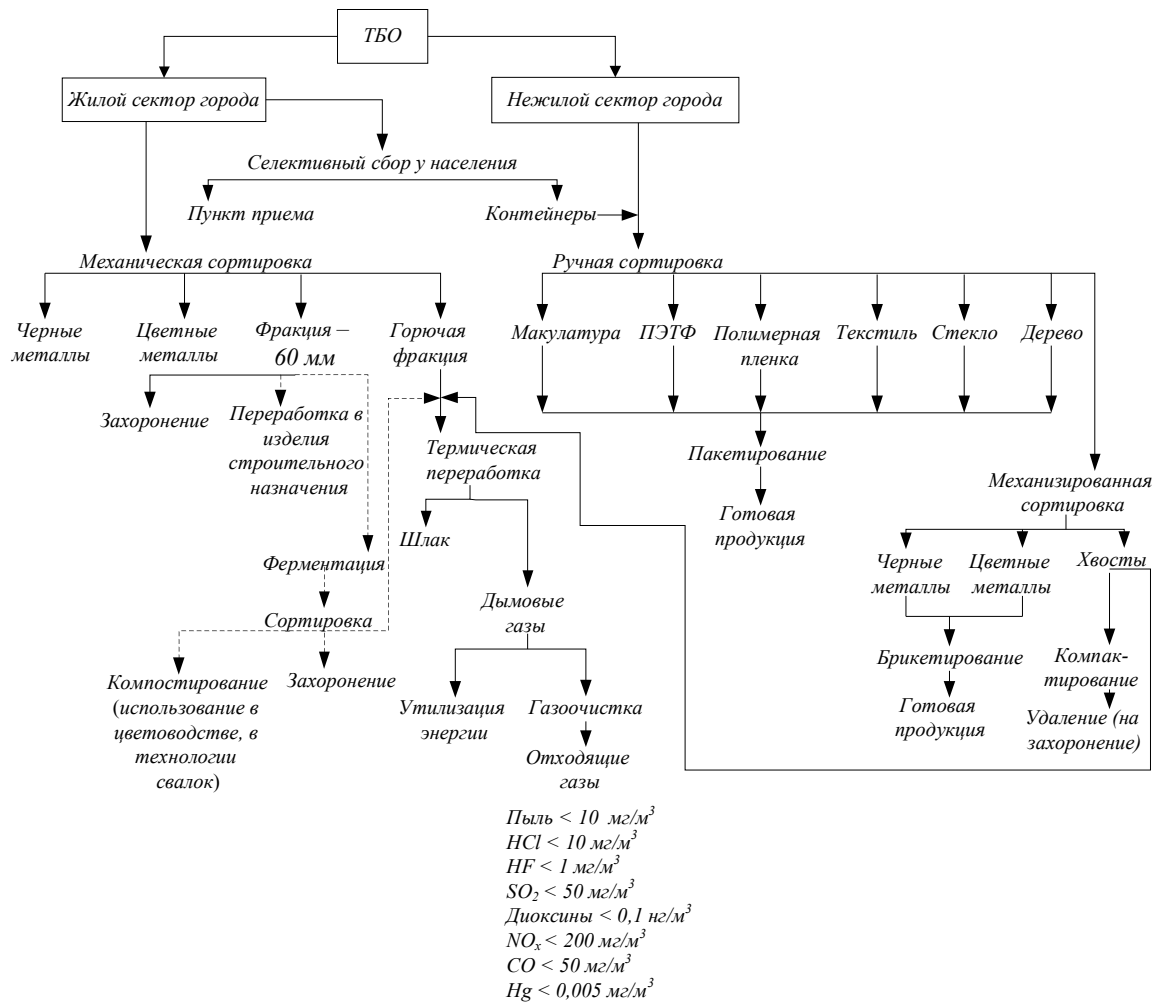


Рис. 6. Технологическая модель управления ТБО [8]

Организационно-административные и технологические модели являются информационными, помогают реализовать комплекс организационно-управленческих мер в регионе и получать информацию о некоторых технологиях утилизации отходов, но они не позволяют провести сравнение альтернативных схем управления отходами и выбор оптимальной схемы для конкретного региона с учетом количественно определенных экономических и экологических последствий. Этой цели можно достичь, используя ряд математических (аналитических) моделей, основанных на экономическом, экологическом или интегральном подходах.

Интегральная модель развития эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления (рис. 7) разработана в Саратовском государственном техническом университете, особое внимание в ней уделено оценке интегрированного эколого-экономического риска [9]. Эта модель включает формулы для расчета эколого-экономической эффективности систем обращения с отходами, но не включает целый ряд экологических и энергетические показатели, не позволяет принимающим

решения сделать всесторонне обоснованный выбор приемлемой стратегии обращения с отходами в регионе, включая выбор техники и технологий.

Авторами работы [10] на основе методологии жизненного цикла отходов разработана модель управления отходами в г. Иркутске. На рис. 8 схематически изображена концепция проведения оценки жизненного цикла (ОЖЦ) в виде системы с входными потоками (природные ресурсы и энергия) и выходными потоками (выбросы (сбросы), продукция). На основе предложенной модели были разработаны три сценария обращения с отходами в г. Иркутске и выполнена их сравнительная экологическая оценка.

В целом все отечественные модели являются автономными инструментами, не содержат инструментов количественной оценки параметров оптимизации и не могут быть эффективно использованы в повседневной практике управления отходами.

За рубежом разработан целый ряд экономико- и эколого-математических моделей управления муниципальными отходами. Целью боль-

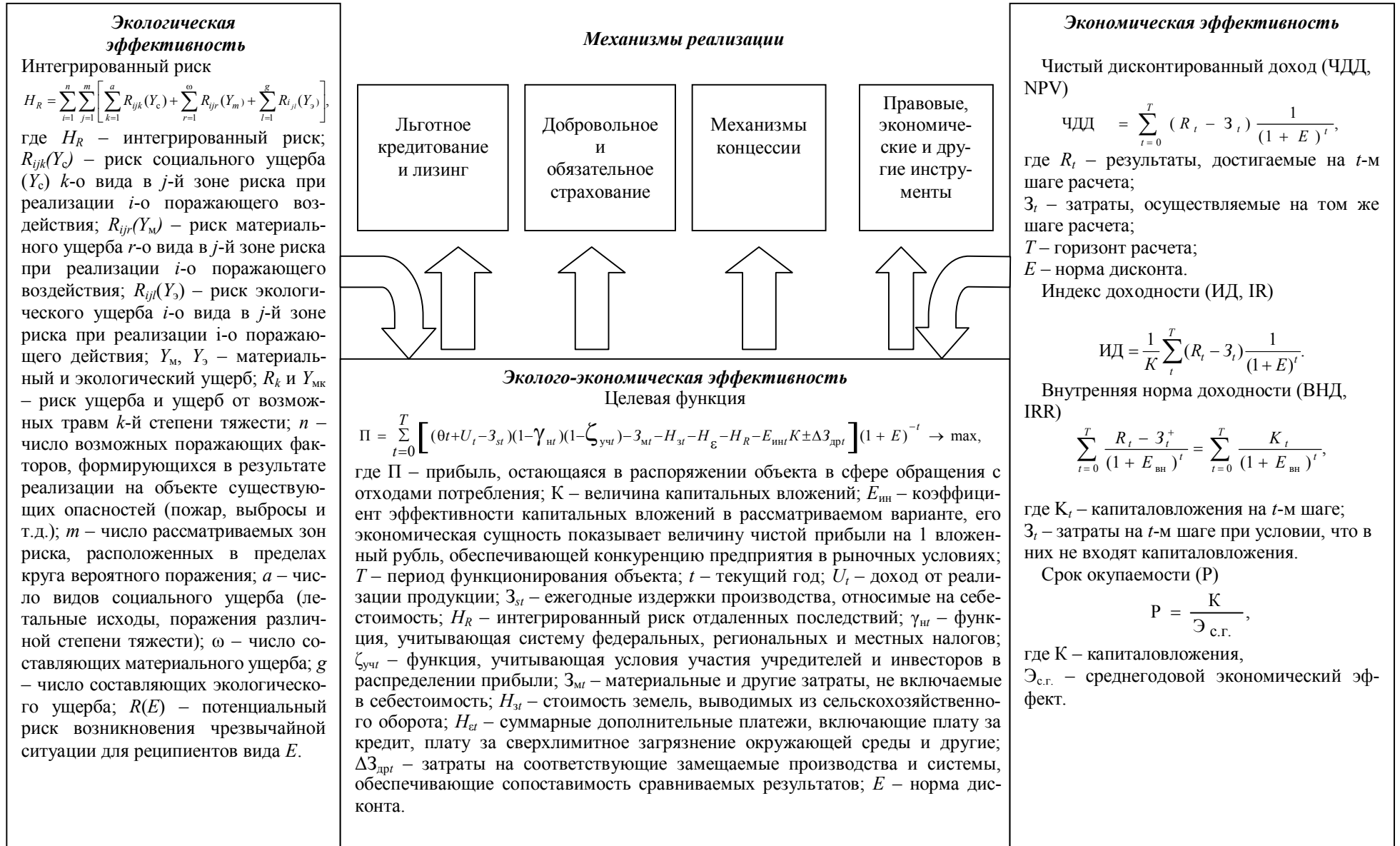


Рис. 7. Интегральная модель развития эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления [9]



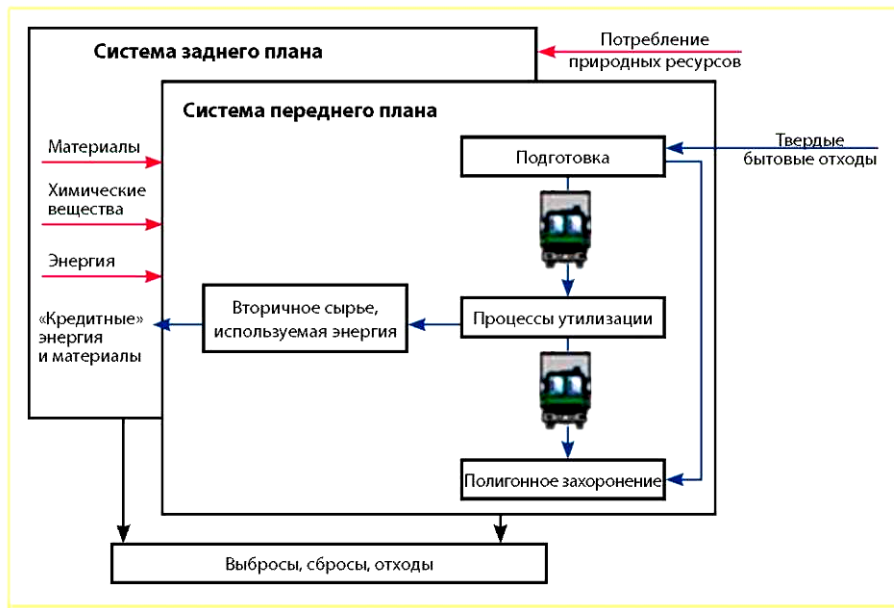


Рис. 8. Концепция ОЖЦ системы управления отходами [10]

шинства зарубежных моделей управления отходами является помощь принимающим решение. В большинстве случаев разработанные модели включают систему компьютерных интегрированных инструментов, способных помочь планирующему и принимающему решение на различных этапах проектных процедур. Такие модели являются по сути системой поддержки принятия решений на основании экономической и экологической целесообразности. Они позволяют количественно оценить с экологической и экономической точек зрения последствия принимаемого решения и сделать оптимальный выбор.

Наиболее известными за рубежом являются модели, разработанные Sprague и Watson (1996), Chang (1996), MacDonald (1996), Sudhir (1996), Bhargava (1997), Hasstrup и др. (1998), Boyle и Baetz (1998), Fiorucci (2003), Diaz и др. (2005), Simonetto и Brenstein (2007), Galante (2010) [11]. На рис. 9 показана используемая в данных моделях базовая структура системы принятия решений, включающая три основных компонента.

Стандартное экономическое моделирование позволяет найти минимально затратное решение, пренебрегая другими важными задачами, такими как экологические аспекты (например, полигон часто представляет наиболее удобное по затратному критерию решение, но, как правило, является наименее желательным с экологической точки зрения).

Chang разработал нелинейную модель, позволяющую учесть в расчете потоки отходов на нескольких этапах жизненного цикла, включая сбор, мусороперегрузочные станции, мусоросортировочные установки, полигоны и мусоросжигательные заводы [12]. Fiorucci предложена квадратичная модель, учитывающая морфологический состав отходов и позволяющая выбрать оптимальное место для установок переработки отходов с точки зрения минимизации суммарных эксплуатационных затрат [13]. Sudhir предложил модель сбора отходов, учитывающую экономические, экологические, технические и социальные аспекты [14]. Galante предложен интегральный подход для минимизации затрат и экологического влияния, измеренного выбросами [15].

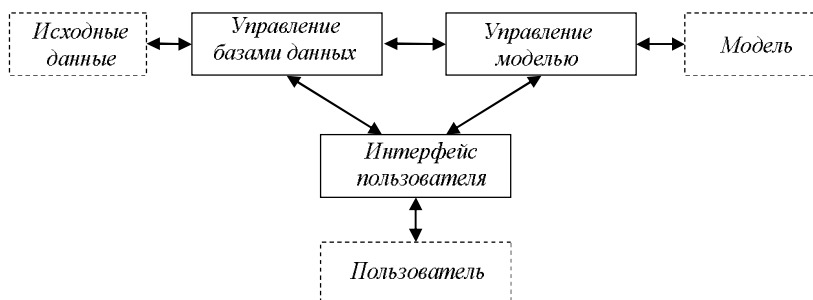


Рис. 9. Базовая структура системы принятия решений для управления отходами [11]

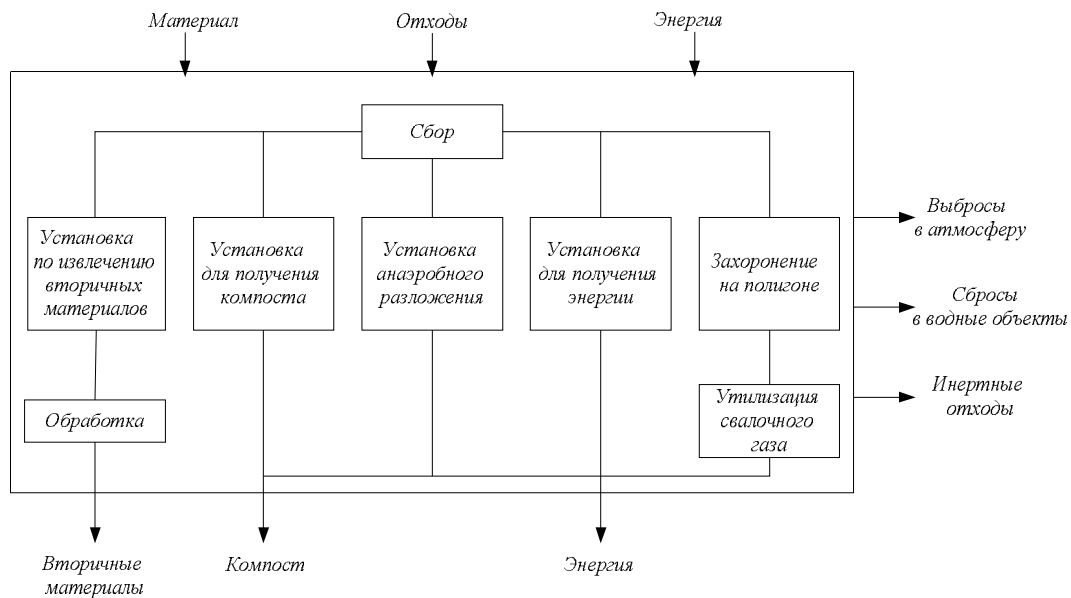


Рис. 10. Система связей интегрированной модели управления отходами [16]

Экологические модели анализа используют методологию жизненного цикла для количественной оценки потребления энергии и выбросов из указанного пользователем системы управления отходами. Разработана [16] интегрированная эколого-аналитическая модель управления отходами с использованием методологии жизненного цикла отходов для оценки количества потребленной энергии и выбросов в окружающую среду в реализованной системе управления отходами. В эту модель заложены различные варианты обращения с отходами: сортировка отходов, рециклинг, компостирование, анаэробное разложение, получение из отходов энергии, захоронение (рис. 10). Индикаторными параметрами модели являются потребление энергии, выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, включая парниковые газы, тяжелые металлы и стойкие органические загрязнители (диоксины и фураны). Модель реализована на персональном компьютере.

Для разработки полной модели управления отходами необходимы обширные знания и глубокий анализ всех аспектов обращения с отходами, включая характеристики и свойства отходов, технологии их переработки и утилизации, экономические и энергетические затраты. Обычно принимающий решение не имеет детального понимания всего цикла управления отходами и его последствий для окружающей среды и здоровья человека. Для решения этих задач должны быть задействованы компьютерные инструменты, а для разработки компьютерных программ должны быть разработаны соответствующие алгоритмы и методики расчетов.

Chang и Wang (1996), MacDonald (1996), Bhargava и Tettelbach (1997), Nastrup (1998),

Cheng (2003), Diaz (2005), Eugenio и Denis (2007), Paraskevopoulos (2008) использовали географическую информационную систему (ГИС) в разработанных моделях управления отходами [11]. В ГИС было использовано программное обеспечение для отображения на экране географической информации (местоположения объектов), а также для вывода на экран данных о количестве населения в регионе, маршрут транспортной сети по перемещению отходов, точечных источников загрязнения воздуха и воды. Разработанное программное обеспечение, интегрированное с ГИС, может помочь пользователю (принимающему решение представителю органов власти, инвестору или экологическому контролеру) в анализе и сравнении различных альтернатив сбора и утилизации отходов для выбора оптимального и наиболее экономически эффективного варианта.

Warangkana Sornil [17] разработана модель управления твердыми муниципальными отходами с использованием многоцелевого генетического алгоритма в качестве метода оптимизации (рис. 11). Автором предложена многоцелевая оптимизационная модель с различными источниками отходов и типами вторичного сырья, местной переработки, маршрутах транспортирования отходов для оценки каждого варианта с точки зрения себестоимости системы и объемов отходов, направляемых на захоронение на полигон. В модели предложены формулы и уравнения для расчета количества и затрат на каждом этапе жизненного цикла отходов: сбор и транспортировка, сортировка на мусороперегрузочной станции, переработка, компостирование, сжигание, захоронение. Выходными параметрами модели являются суммарные затраты

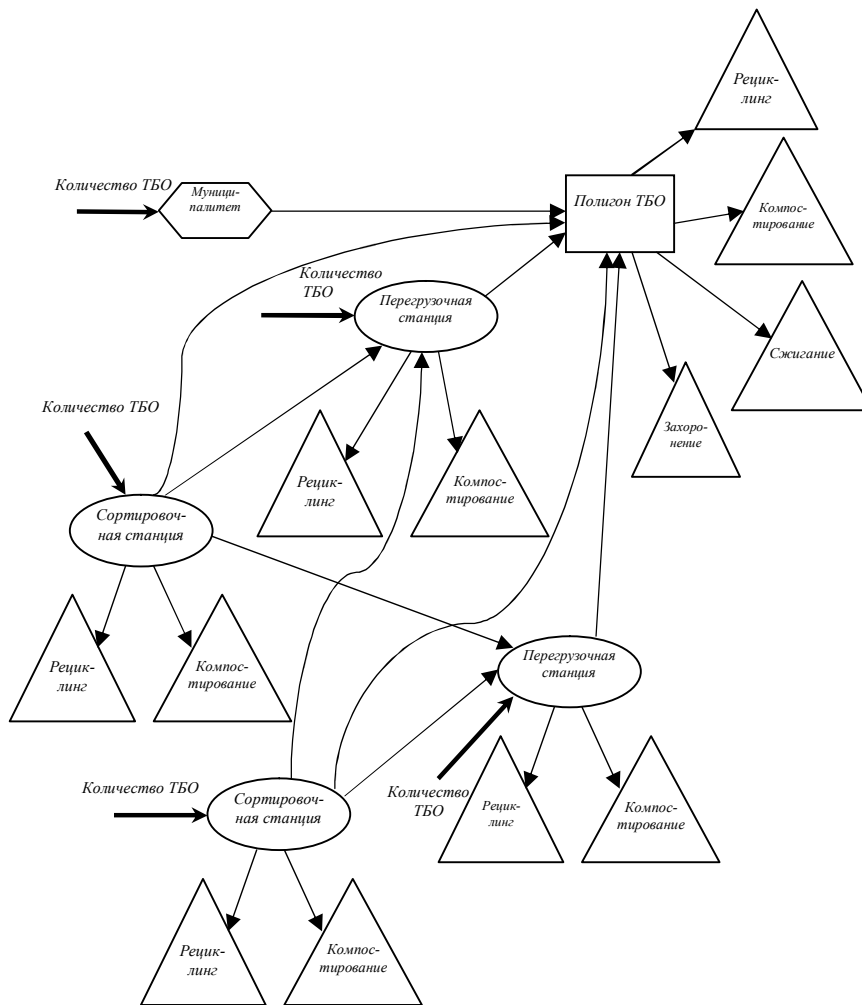


Рис. 11. Графическая модель управления ТБО на основе многоцелевого генетического алгоритма [17]

в конкретной системе управления отходами, суммарные доходы и себестоимость (тариф). Эта модель являлась первым шагом в разработке метода эколого-экономического моделирования, попыткой интегрированного анализа жизненного цикла отходов, оценки экологических и экономических показателей системы управления отходами в пределах географической информационной системы.

Генетический алгоритм использовался в управлении отходами и другими исследователями, однако разработанные модели учитывали только один или два этапа в жизненном цикле ТБО; например, модель Karadimas учитывала только сбор и транспортировку, а Chang – только размещение отходов на полигонах.

Авторами данной работы с учетом отечественных и зарубежных разработок в области моделирования регионального управления ТБО разработана интегрированная (комплексная) модель, учитывающая жизненный цикл отходов, Иерархию управления и многоцелевой генетический алгоритм в качестве метода оптимизации. Эта модель учитывает различные варианты обращения с отходами на каждом этапе жизненного цикла: сбор, транспор-

тировку, сортировку, перегрузку, переработку, компостирование, сжигание, захоронение с извлечением и без извлечения энергии. Структурная схема модели и система связей показаны на рис. 12.

Представленная модель является наиболее полной из всех известных и позволяет количественно оценить материальные, энергетические, экономические и экологические параметры при том или ином сценарии управления отходами. Выходными параметрами модели являются: количество полученных вторичных материальных ресурсов (ВМР), вторичного топлива (RDF) или компоста, суммарные затраты, доходы, количество затраченной и полученной энергии, суммарные выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод и количество остаточных отходов, направляемых на захоронение. Для проведения сравнительной оценки и выбора системы управления ТБО в регионе предложены следующие критерии оптимизации (расположены в порядке убывания приоритетности в соответствии с Иерархией управления отходами):

- минимальное количество захораниваемых

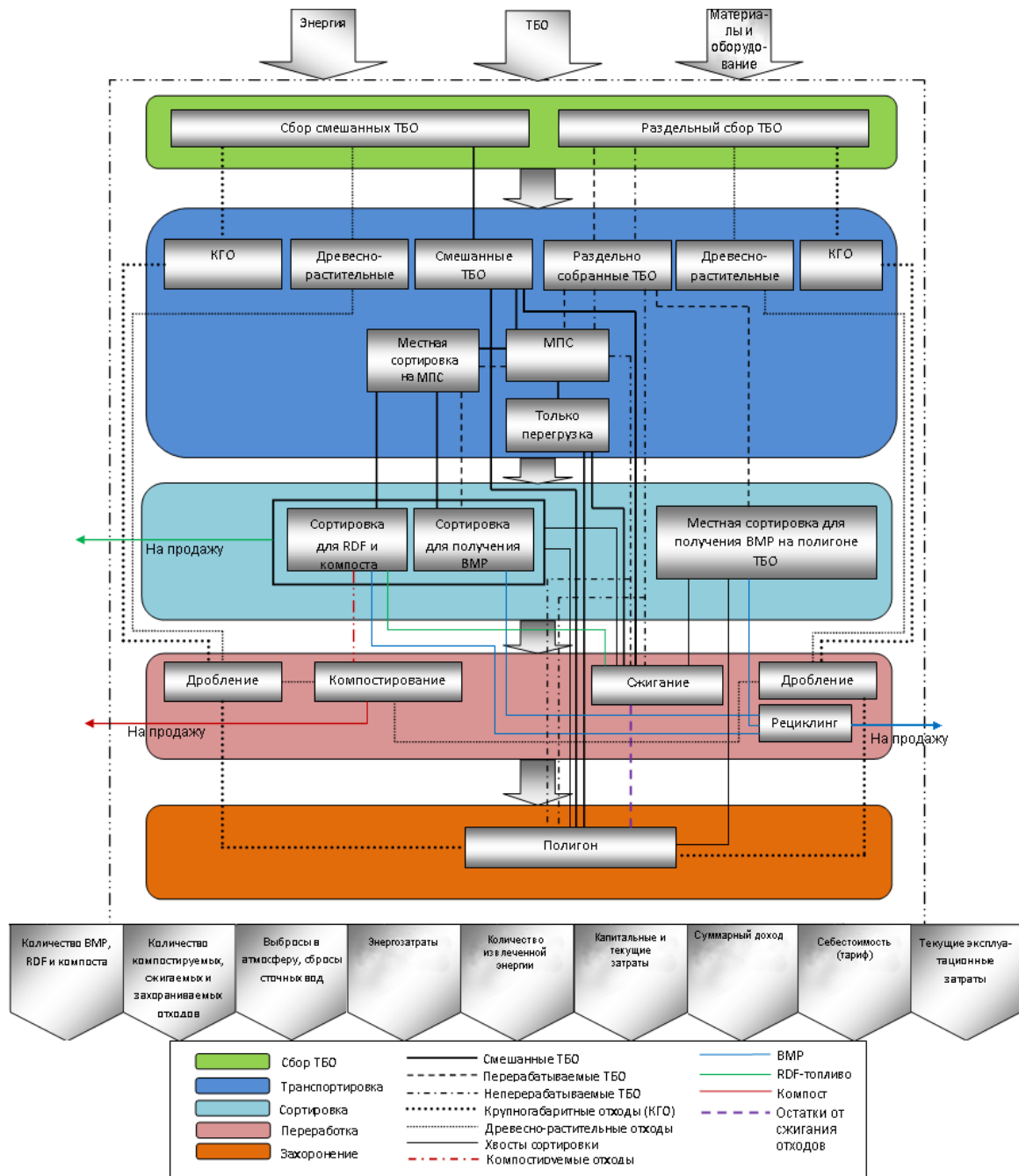


Рис. 12. Структурная схема и система связей модели регионального управления ТБО

отходов и максимальное вовлечение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот;

- максимальная энергетическая эффективность;

- минимальное количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов сточных вод;

- максимальная экономическая эффективность.

Предложенная модель описана алгоритмом, блок-схема которого представлена на рис. 13.

Модель может быть реализована в виде программного комплекса, доступного для обычного пользователя, что позволит администраторам, инвесторам или органам экологи-

ческого контроля быстро оценить интересующие их конечные показатели, сравнить существующие и планируемые схемы обращения с отходами, выбрать оптимальную схему и оценить ее количественные, экономические, энергетические и экологические параметры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В о л ы н к и н а Е.П. Комплексная система управления отходами металлургического предприятия // Вестник Российской академии естественных наук. 2006. Т. 6. № 3. С. 94 – 101.

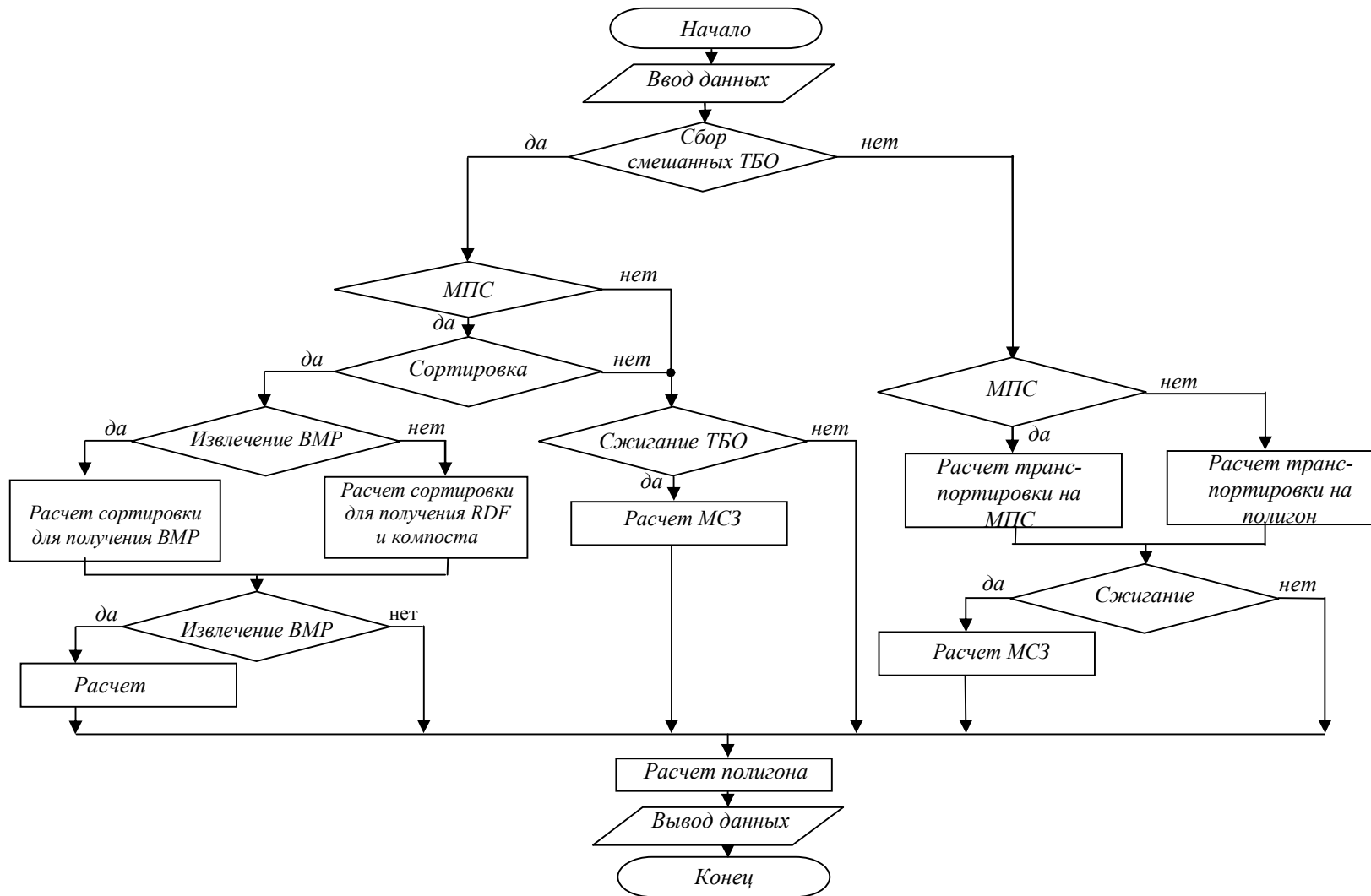


Рис. 13. Блок-схема алгоритма управления ТБО

2. Об отходах производства и потребления: федер. закон от 10 июня 1998 г., № 89-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2012. № 9.
3. ГОСТ 30772 – 2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения: Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
4. Т а р а с и к В.П. Математическое моделирование технических систем: учеб. пособие. – М.: Дизайн-ПРО, 2004. – 640 с.
5. Разработка постоянно действующей Концепции Обращения с Отходами (ККО) для Ханты-Мансийска, Россия. Итоговый доклад // Электронный ресурс: материалы конф. апр. 2012 г., Ханты-Мансийск. – Режим доступа: [http://www.ugrasu.ru/uploads/files/1\\_Final\\_Report\\_WMC&Ymplementatio n.pdf](http://www.ugrasu.ru/uploads/files/1_Final_Report_WMC&Ymplementatio n.pdf) (Дата обращения 10 июня 2013 г.).
6. Ч е п и г а П.Н. Совершенствование управления системой обращения с твердыми отходами в Российской Федерации // Проблемы современной экономики. 2010. № 4 (36). С. 22 – 30.
7. Формирование региональной отходоперабатывающей индустрии программно-целевым методом // Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://magichammer.ru/docs/prezent.pdf> (Дата обращения 10 июня 2013 г.).
8. Ш у б о в Л.Я., С т а в р о в с к и й М.Е., О л е й н и к А.В. Технологии твердых бытовых отходов: учебник / Под ред. Л.Я. Шубова – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2011. – 400 с.
9. К о л о т ы р и н К.П. Управление развитием эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления. Автореф. канд. дис. – Саратов. 2010. – 20 с.
10. Т у л о х о н о в а А.В., У л а н о в а О.В. Сценарии оптимизации управления отходами // Твердые бытовые отходы. 2012. № 11. С. 44 – 51.
11. B a n i M.S., R a s h i d Z.A., H a m i d K.H.K. et al. The Development of Decision Support System for Waste Management: a Review // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2009. № 25. P. 161 – 168.
12. C h a n g N.B., W a n g S.F. The development of an environmental decision support system for municipal solid waste management // Comput., Environ., and Urban Systems. 1996. Vol. 20. № 3. P. 201 – 212.
13. F i o r u c c i P., M i n c i a r d i R., R o b b a M., S a c i l e R. Solid waste management in urban areas development and application of decision support system // Resources, Conservation and Recycling. 2003. № 37. P. 301 – 328.  
S u d h i r V., M u r a l e e d h a r a n V., S r i n i v a s a n G. Integrated solid waste management in urban India: a critical operational research framework // Socio-Economic Planning Sciences. 2002. № 30 (3). P. 163 – 181.
14. G a l a n t e G., A i e l l o G., E n e a M., P a n a s c i a E. A multi-objective approach to solid waste management // Waste Management. 2006. № 30. P. 1720 – 1728.
15. Measuring the environmental impact of waste management system. Электронный ресурс: Integrated solid waste management tools / University of Waterloo, Canada. – April, 2004. – Режим доступа: [http://www.iwm-model.uwaterloo.ca/ISWM\\_Manual\\_July04.pdf](http://www.iwm-model.uwaterloo.ca/ISWM_Manual_July04.pdf) (Дата обращения 5 марта 2013 г.).
16. Warangkana Sornil. Solid Waste Management Planning Using Multi-Objective Genetic Algorithm. Электронный ресурс – Режим доступа: <http://qa.nida.ac.th/fismain/mis/research/attach/579857.Solid%20Waste...Algorithm.pdf> (Дата обращения 5 марта 2013 г.).

© 2013 г. Е.П. Волынкина, С.Н. Кузнецов  
Поступила 19 сентября 2013 г.

*Т.В. Петрова, Е.Я. Франк*

Сибирский государственный индустриальный университет

## СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО АККУМУЛИРОВАНИЮ СРЕДСТВ ЦЕЛЕВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ФОНДА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Постоянный рост антропогенного воздействия на окружающую среду и большие затраты на природоохранные мероприятия выявляют необходимость создания механизма устранения сложившейся негативной ситуации. В частности, обстановка в части нарушения земель обуславливает актуальность рассмотрения нерешенных вопросов финансирования работ по рекультивации земель. Для их решения согласно теории и практике управления организационными системами [1, 2] необходима разработка организационно-экономического механизма, обеспечивающего процесс аккумуляции денежных средств для проведения масштабных работ по рекультивации. За рубежом успешно применяются несколько способов финансовых гарантий выполнения крупных проектов: кредитное письмо, облигации с гарантией, страхование, самостоятельное гарантирование, целевые фонды. Согласно ГК РФ существуют шесть способов обеспечения исполнения обязательств: обеспечительный платеж, залог, поручительство, независимая гарантия, неустойка, задаток.

Анализ печатных изданий и электронных материалов по рассматриваемой теме показал, что в условиях Российской Федерации наиболее приемлемым способом обеспечения финансовых гарантий рекультивации земель является создание фонда.

В институте энергетических исследований РАН рассматривается вариант возможности финансирования работ по рекультивации через механизм формирования ликвидационного фонда, создаваемого в угольных организациях с целью проведения соответствующих работ [3]. Указанный вариант, на наш взгляд, с учетом острой необходимости рекультивации земель считается не достаточно приемлемым.

Другим вариантом является создание некоммерческого фонда рекультивации нарушенных земель как региональной общественной организации. «Сотрудничество фонда с горнодобывающими предприятиями строится на взаимовыгодной основе. Фонд освобождает

предприятия от необходимости заниматься несвойственной им рекультивацией и за перечисленные деньги через субподрядные организации самостоятельно выполняет весь объем работы» [4]. Работа фонда возможна на условиях получения лицензии на эксплуатацию месторождения только при внесении залогового платежа в фонд. Предлагается осуществлять залоговый взнос за каждый гектар нарушенных земель.

В варианте финансирования рекультивационных работ в рамках фонда ликвидации подробно определены источники и размеры денежных отчислений на ликвидационные работы. Во втором варианте источники и механизм накопления денежных средств не описаны, не учтены и различия в нарушении ландшафта, и, следовательно, – в величине затрат на его восстановление.

Предлагается следующий вариант создания целевого регионального фонда рекультивации земель (рис. 1). Денежные средства будут поступать в фонд от предприятий-недропользователей, потенциальных пользователей рекультивированных территорий и от общества как добровольные взносы и пожертвования.

Денежные средства предприятий-недропользователей будут поступать в виде периодических отчислений на время работы угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий с проектной мощностью и аккумуляроваться.

Источник «платежи потенциальных пользователей рекультивированных территорий» предполагает использование денежных средств юридических и физических лиц, заинтересованных в рекультивации земли. При этом возможны варианты предоставления территорий в пользование согласно имеющимся планам стратегического развития территорий на тендерной основе, а также продажи с обязательствами проведения рекультивации на территориях уже нефункционирующих предприятий.

Структурные (процессуальные) компоненты любой деятельности состоят из идентификации потребности, цели, задачи, технологии,



Рис. 1. Схема функционирования целевого регионального фонда рекультивации земель

действия и результата [1, 2]. Применительно к управлению созданием механизма, обеспечивающего процесс аккумулирования денежных средств, нужда в проведении качественной своевременной рекультивации определяется как потребность, необходимая для государства и общества в целом. Цель деятельности по достижению конечного результата (накопленные достаточные средства на проведение рекультивации) определяется самим субъектом управления (исполнительные органы государственной власти).

С учетом условий, требований и норм цель конкретизируется в набор задач. Задачей выступает создание регионального фонда рекультивации земель. Далее согласно данным работ [1, 2] определяется технология, посредством которой будет получен необходимый результат: накопленная сумма, необходимая для рекультивации, величина периодических отчислений и источник отчислений для аккумулирования финансовых средств фонда. Накопленная сумма по окончании функционирования предприятия должна быть равна сумме на рекультивацию работ, определенную в проекте рекультивации на первом этапе жизненного цикла предприятия с учетом инфляционных изменений. Величина отчислений определяется исходя из накопленной суммы и срока работы предприятия с проектной мощностью. Источником отчислений выступает себестоимость добычи или переработки угля. Выполнение действия, а именно постоянное аккумулирование денежных средств, обеспечит необходимый результат деятельности. Основные

структурные компоненты деятельности по аккумулированию средств для рекультивации показаны на рис. 2.

Оценить деятельность по аккумулированию средств можно на основе использования критериев



Рис. 2. Структурные (процессуальные) компоненты деятельности по накоплению достаточной суммы, необходимой для рекультивации



риев оценки соответствия результата поставленной цели. Если результат носит положительный характер (да) и удовлетворяет субъекта, то деятельность по достижению цели считается законченной. Если результат носит отрицательный характер (нет), то есть не удовлетворяет субъекта, то идет процесс коррекции путем изменения характеристик таких структурных компонентов деятельности по достижению цели, как «технология» и «действие». Результатом деятельности является накопленная достаточная сумма денежных средств на проведение рекультивационных работ на территориях, где в настоящее время ведутся работы по добыче угля, а также по ликвидации «экологического долга».

**Выводы.** Решена задача определения структурных компонентов деятельности по аккумулярованию денежных средств в целевом региональном фонде рекультивации земель.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б у р к о в В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / Под. ред. Д.А. Новикова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 264 с.
2. Н о в и к о в Д.А. Структура теории управления социально-экономическими системами [Электронный ресурс] Управление большими системами: сборник трудов – 2009. № 24: Режим доступа : [http : //cyberleninka.ru/article/n/struktura-teorii-upravleniya-sotsialno-ekonomicheskimi-sistemami](http://cyberleninka.ru/article/n/struktura-teorii-upravleniya-sotsialno-ekonomicheskimi-sistemami). Загл. с экрана (дата обращения 15.08.2013).
3. В о с к о б о й н и к о в М.П. Механизм финансирования ликвидационных работ угледобывающих организаций // Уголь. 2010. № 1. С. 11 – 16.
4. Некоммерческий фонд рекультивации нарушенных земель [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.sicenter.ru/catalog/Nauka/kemerovo/Tehnologii\\_i\\_razrabotki\\_SO\\_RAN/ecolchel](http://www.sicenter.ru/catalog/Nauka/kemerovo/Tehnologii_i_razrabotki_SO_RAN/ecolchel) (2001 – 2013). Загл. с экрана (дата обращения 10.07.2013).

© 2013 г. Т.В. Петрова, Е.Я. Франк  
Поступила 28 августа 2013 г.

*Ю.В. Ерыгин*

Сибирский государственный аэрокосмический университет

### **РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ А.И. МУСАТОВОЙ, В.Н. КАДЫКОВА «ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОКАТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ». – КЕМЕРОВО: КУЗБАССВУЗИЗДАТ, 2013. – 342 С.**

В настоящее время рыночная экономика выдвигает ряд первостепенных задач развития предприятия, которые должны решать руководители и специалисты на основе кардинального улучшения уровня профессиональной подготовки управленческих кадров. В связи с этим от специалистов, работающих на предприятиях и в организациях сферы материального производства, требуется широкий технический, организационный и экономический кругозор, умение ориентироваться в постоянно меняющейся рыночной среде и находить правильные организационные решения. Для выполнения указанных задач необходим выбор оптимальных управленческих решений, которые заключаются в ретроспективной оценке показателей хозяйственной деятельности промышленных предприятий (в том числе прокатных цехов), а также пути совершенствования организации и планирования производства. Эти требования составляют структуру рецензируемого учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Металлургия» при изучении дисциплины «Управление производством», при выполнении курсовой и выпускной квалификационной работы.

Учебное пособие состоит из четырех основных частей. В первой части излагаются теоретические основы управления производством, рассмотрены методологические основы выполнения работ на базе двух подходов: модельного и реального, в которых приводятся общие положения, требования и перечень информационных материалов. Во второй части учебного пособия приводится методика выполнения технико-экономического анализа работы действующего объекта, в третьей – методика планирования производственной программы прокатного цеха, основанная на моделировании технически возможных и нормативных тактов работы участков (подсистем) и системы (цеха) в целом. Рекомендуются организационно-технические решения, направленные

на ликвидацию «узких мест» с целью улучшения показателей производственной программы. В последней части рассчитываются проектные технико-экономические показатели цеха, излагаются методика пересчета себестоимости единицы продукции после разработанных мероприятий и методика определения точки безубыточности производства продукции, дается оценка экономической эффективности проектных решений, основанная на современных методах инвестирования, приводятся контрольные вопросы.

Авторы учебного пособия рассматривают новые формы интеграционных процессов на промышленных предприятиях и основные направления их реструктуризации, оценивают черную металлургию как отрасль сложной открытой производственно-хозяйственной системы. В работе отмечены преимущества в активном развитии прокатного производства. Рассмотрены особенности организации и нормирования производственных процессов на металлургических предприятиях. Показана роль анализа хозяйственной деятельности и использование графических и экономико-математических моделей в управлении производством для принятия обоснованных управленческих решений.

Положительной особенностью учебного пособия является представленная методика исследования организации производственных процессов и материальных потоков в прокатных цехах, приведены авторские схемы декомпозиции конкретных производственных операций с подробным алгоритмом их построения, а также в качестве примера показаны схемы организации материальных потоков в цехах. Следует отметить значительный уровень освещения актуальных в рыночной экономике практических вопросов, связанных с комплексным решением задач технического, технологического и организационного характера в рамках производственных условий. Реализация этих вопросов показана на примерах

конкретных объектов, что дает возможность студентам подробно изучить действующие системы для выявления и ликвидации «узких мест» с целью повышения эффективности управления производством, а также обоснованности принимаемых проектных решений.

Инновационный тактовый и декомпозиционный подходы, разработанные авторами, приведены в учебном пособии с целью совершенствования организации, планирования производства и оценки экономической эффективности оперативных и стратегических управленческих решений, выполнены на высоком методологическом уровне. Наряду с общепринятыми методиками в учебном пособии представлены авторские методики: расчета тактов работы основного и вспомогательного оборудования, выбора единого такта и интенсивного его использования (более 30 страниц),

нормирования производственной программы, расчета проектной себестоимости продукции. Методики сопровождаются формулами, таблицами, рисунками (с цифровыми значениями на конкретных примерах). Разработанный авторами методологический подход системного исследования организации производственных процессов, нормирования и планирования технико-экономических показателей работы прокатных цехов изложен в доступной форме. Пособие рекомендуется студентам технических и экономических специальностей, при выполнении самостоятельных и контрольных работ, в процессе выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ, при подготовке к зачетам и экзаменам для всех форм обучения.

© 2013 г. Ю.В. Ерыгин  
Поступила 8 сентября 2013 г.

## РЕФЕРАТЫ

---

УДК 669.046:622.615.001.57

Моделирование термогазодинамических особенностей торкретирования футеровки конвертеров карбонатными торкрет-массами / Калимуллин Р.Ф., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Жибинова И.А. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 4.

Для условий технологии ремонта футеровки конвертеров путем совместной раздувки конечного шлака с факельным торкретированием недефицитными торкрет-массами разработана модель диссоциации карбонатной пыли в торкрет-факеле. Результаты расчетов свидетельствуют о возможности замены частиц обожженной огнеупорной составляющей торкрет-массы пылью доломитизированного известняка, сырого доломита и магнезита. Наличие примесей в самом огнеупорном материале способствует снижению температуры их плавления и создает эффект прилипания частиц к футеровке. Ил. 3. Библ. 9.

**Ключевые слова:** футеровка, конвертер, гарнисаж, торкретирование, торкрет-массы, огнеупорные материалы, моделирование, газопорошковая раздувка.

Modeling thermo- and gazodynamics features shotcrete converter lining carbonate gunning masses / Kalimullin R.F., Protopopov E.V., Chernyatevich A.G., Zhibinova I.A. // Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 4.

Conditions for relining technology by co-blowing converters final slag with torch gunning not scarce gunning masses carbonate dissociation model developed in the shotcrete dust plume. The calculation results indicate the possibility of replacing the fired refractory particles component gunning mass dust and dolomitic limestone, dolomite and magnesite raw. The presence of impurities in the refractory material contributes to lower their melting point and has the effect of particle adhesion to the lining. Fig. 3. Ref. 9.

**Keywords:** lining, converter, skull, gunning, gunning mass, refractory materials, modeling, gaspowder blowing.

УДК 669.046:622.615.001.57

Изучение закономерностей распространения и формирования торкрет-факелов в процессе «горячего» ремонта футеровки конвертера / Калимуллин Р.Ф., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Жибинова И.А. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 9.

При реализации технологии ремонта футеровки 350-т агрегатов с использованием специальных конструкций торкрет-гарнисажных газоохлаждаемых фурм выполнено математическое описание закономерностей распространения торкрет-факелов в полости конвертера. Установлено, что для условий технологии совместного нанесения шлакового гарнисажа и торкретирования при известных распределении расходов кислорода и углеродсодержащего материала по сечению потока в начале основной зоны факела, распределении объемных расходов кислорода и частиц материала по сечению торкрет-факела можно оценить их отклонение в пристеночном потоке и рассеяние на поверхности футеровки в зависимости от массы частиц. Ил. 3. Библ. 5.

**Ключевые слова:** футеровка, конвертер, гарнисаж, торкретирование, торкрет-массы, торкрет-факелы, огнеупорные материалы, моделирование, газопорошковая раздувка.

Study of laws and distribution of forming gunning torch in the «hot» relining converter masses / Kalimullin R.F., Protopopov E.V., Chernyatevich A.G., Zhibinova I.A. // Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 9.

Conditions for implementation of the technology relining 350-ton units using special designs of skull sprayed gas cooled lances performed a mathematical description of the laws of propagation of shotcrete torches in the cavity of the converter. Found that the conditions for the application of technology co slag skull and gunning for a known cost-sharing oxygen and carbonaceous material across the stream at the beginning of the main zone of the torch, the distribution volume of the oxygen and the cross section of the material particles sprayed flame can assess their deviation in the wall flow and dispersion on the surface of the lining depending upon the weight of the particles. Fig. 3. Ref. 5.

**Keywords:** lining, converter, skull, gunning, gunning mass, gunning torches, refractory materials, modeling, gaspowder blowing.

#### УДК 669.715.017

Особенности изменения параметров микроструктуры и теплового расширения силуминов в зависимости от содержания в них кремния / Попова М.В., Кибко Н.В. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 14.

Исследовано влияние содержания кремния (3, 5, 7, 11 и 15 %) на параметры микроструктуры и температурный коэффициент линейного расширения силуминов. Установлено, что изменение содержания кремния в силуминах позволяет диспергировать структурные составляющие и увеличивать объемную долю эвтектики. Показано эффективное влияние повышения содержания кремния в силуминах с 5 до 15 % на снижение температурного коэффициента линейного расширения и устранение аномалии теплового расширения. Ил. 2. Библ. 7.

**Ключевые слова:** силумины, кремний, микроструктура, температурный коэффициент линейного расширения.

Features of parameter changes of a silumin microstructure and thermal expansion depending on the content of silicon / Popova M.V., Kibko N.V. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 14.

The influence of the silicon content (3, 5, 7, 11 and 15 %) on the parameters of a silumin microstructure and temperature coefficient of linear expansion has been investigated. As a result of the research it has been established that the change of the silicon content in silumin allows to disperse structural components and increase a volume fraction of an eutectic. The effective influence of increase of the silicon content in silumins from 5 to 15 % for decrease in temperature coefficient of linear expansion and elimination of anomaly of thermal expansion is shown. Fig. 2. Ref. 7.

**Keywords:** silumin, silicon, microstructure, temperature coefficient of linear expansion.

#### УДК 669.162.142

Опыт использования профилированного известью железорудного концентрата в агломерации / Одинцов А.А., Долинский В.А. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 16.

Приведены результаты промышленных исследований по использованию профилированного известью концентрата в агломерации. Проведенными исследованиями установлено, что концентрат характеризуется нестабильным химическим составом и содержанием влаги по партиям, что приводит к ухудшению усреднения агломерата по содержанию железа, его монооксида, марганца и основности. Введение концентрата в железорудную шихту позволяет повысить удельную производительность агломашин на 1,95 %. Ил. 1. Табл. 6. Библ. 4.

**Ключевые слова:** аглофабрика, агломерат, известкованный концентрат, известь.

The experience of using lime iron ore concentrate in agglomeration / Odintsov A.A., Dolinskiy V.A. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 16.

The results of the industrial research on the use of lime iron ore concentrate in the agglomeration are presented. The conducted researches indicate that the concentrate is characterized by an unstable chemical composition and moisture content on parties, leading to a deterioration of averaging agglomerate on the content of iron, its monoxide, manganese and basicity. The introduction of the concentrate into iron ore charge allows to increase a specific productivity of the sintering machine by 1,95 %. Fig. 1. Table 6. Ref. 4.

**Keywords:** sinter plant, sinter, lime iron ore concentrate, lime.

#### УДК 622.831(075)

Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по первому слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с дробленными и обводненными породами в условиях ОАО «Шахта «Сибиргинская» / Риб С.В., Никитина А.М., Борзых Д.М. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 24.

Рассмотрена проблема поддержания горных выработок в устойчивом состоянии, находящихся под влиянием горно-геологических нарушений. Проведено математическое моделирование численным методом

конечных элементов. Разработан алгоритм расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива на основе дифференциальных уравнений механики сплошной среды. Выявлены закономерности распределения вертикальных и горизонтальных напряжений в углепородном массиве. Исследовано влияние анкеров в кровле горной выработки на характер распределения напряжений. На основе проведенного исследования обоснованы параметры и разработаны рекомендации анкерного крепления горных выработок, проводимых по первому слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений в границах поля ОАО «Шахта «Сибиргинская». Ил. 3. Библ. 5.

**Ключевые слова:** горная выработка, горно-геологические нарушения, анкерное крепление.

The foundation of anchoring parameters of mine workings held on the 1st layer of coal bed III in the conditions of disjunctive and plicative dislocations with broken and watered rocks in JSC «Mine «Sibirginskaja» / Rib S.V., Nikitina A.M., Borzyh D.M. // Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 24.

The article presents the problem of maintaining of the mine workings in the steady state under the influence of mining-and-geological disturbances. The authors has conducted the mathematical modeling with the help of the numeric procedure of finite elements. The algorithm for calculating the parameters of the stress-strain state of rock mass on the basis of differential equations of continuum mechanics is developed. The regularities of the distribution of vertical and horizontal stresses in the rock mass are revealed. The effect of the anchors in the roof of a mine working on the distribution of stresses is investigated. On the base of the research the authors have substantiated the options and recommendations of anchoring of mine workings conducted on the 1st layer of coal bed III in disjunctive and plicative disturbances within the mine fields of JSC «Mine «Sibirginskaja». Fig. 3. Ref. 5.

**Keywords:** mine working, mining-and-geological disturbance, anchoring.

#### УДК 551.311.7

Вулканические образования в разрезах туектинской свиты (средний девон) центральной части Горного Алтая / Гутак Я.М., Крупчатников В.И. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 28.

Вулканические породы (риолиты) в отложениях туектинской свиты (средний девон центральной части Горного Алтая) в настоящее время трактуются как синхронные осадконакоплению проявления вулканической активности региона. Приведен ряд аргументов в пользу интрузивной природы этих тел (наличие активных контактов с вмещающими породами, выраженных окварцеванием, согласие риолитовых тел простираию регионального кливажа и прорывание ими первичной слоистости осадочных пород, контактами риолитовых тел с разными литогенными типами пород туектинской свиты). Считаю возраст этих образований последевонским. Обоснована необходимость их детального изучения с применением современных методов абсолютной геохронологии. В качестве возможного предполагается мезозойский возраст внедрения интрузивных тел. В региональном плане эти образования коррелируются с последевонскими интрузивными образованиями риолитового ряда юго-восточной части Горно-Алтайского региона (Ташанта, Кам-Тутугем, Северо-Чуйский хребет). В случае подтверждения высказанных предположений геологическая карта Горного Алтая и ее металлогеническая интерпретация будут нуждаться в серьезной переоценке. Ил. 4. Библ. 4.

**Ключевые слова:** Горный Алтай, девонская система, туектинская свита, риолиты, относительный геологический возраст, слоистость, кливаж, интрузивный магматизм.

Volcanic formations in the sections of Tuektinskaya formation (the Middle Devonian) the central part of Gorny Altai / Gutak Ja.M., Krupchatnikov V.I. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 28.

Volcanic rocks (rhyolite) in Tuektinskaya formation sediments (the Middle Devonian of the central part of Gorny Altai) are now interpreted as synchronous to sedimentation manifestations of volcanic activity in the region. The authors present a number of arguments in favor of intrusive nature of these bodies (occurrence of active contacts with enclosing strata expressed by silicification, accordance of rhyolite bodies to the course of regional cleavage and their break in primary interstratification of sedimentary rocks, contacts of rhyolite bodies with different lithogenic types of Tuektinskaya formation rocks). The authors consider the age of these formations as post Devonian and justify the need for detailed study with using modern methods of absolute geochronology. The Mesozoic age of intrusive bodies is supposed as possible. Regionally, these formations are correlated with post Devonian intrusive formations of rhyolite line of south-eastern part of Gorno-Altaysky region (Tashanta, Kam-Tutugem, North-Chuysky ridge). In case of confirmation of the assumptions made by the authors, geological map of Gorny Altai and its metallogenic interpretation requires serious re-evaluation. Fig. 4. Ref. 4.

**Keywords:** Gorny Altai, Devonian, Tuoktinskaya formation, rhyolite, relative geologic age, interstratification of rocks, cleavage, intrusive magmatism.

### УДК 656.3

Об итогах железнодорожной реформы в России в контексте зарубежного опыта / Жаркова А.А. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 31.

Представлен анализ проведенных реформ железнодорожного транспорта в России и за рубежом. Рассмотрены особенности работы железнодорожного транспорта в странах Северной Америки и Евросоюза, а также проблемы взаимодействия участников железнодорожных перевозок после проведенных реформ в России. Отмечены разные подходы к итогам реформы в России, основные недоработки законодательной базы и некоторые положительные результаты. Библ. 3.

**Ключевые слова:** реформа, железнодорожный транспорт, инфраструктура.

About the results of railway reform in Russia in the context of the foreign experience / Zharkova A.A. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 31.

The article is devoted to the analysis of the conducted reforms of railway transport in Russia and abroad. The features of the rail activity in the countries of European Union and North America are considered, as well as the problems of cooperation of participants of railway transportations after the conducted reforms in Russia. Different approaches to the results of the reform in Russia, basic drawbacks of legislative base and some positive results are marked. Ref. 3.

**Keywords:** reform, railway transport, infrastructure.

### УДК 662.8

Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов / Багрянцев В.И., Казимиров С.А., Куценко А.И., Подольский А.П., Рыбушкин А.А., Темлянцева М.В. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 33.

Критически проанализированы, обобщены и систематизированы сведения о различных видах твердых техногенных углеродсодержащих отходов. Рассмотрены достоинства и недостатки различных технологий их сжигания. Показаны наиболее перспективные технологии сжигания твердого топлива на основе техногенных отходов. Представлен опыт Сибирского государственного индустриального университета по разработке агрегатов и технологий сжигания различных видов углеродсодержащего топлива из техногенных отходов с целью генерации тепловой энергии. Ил. 2. Библ. 7.

**Ключевые слова:** твердые углеродсодержащие отходы, топливо, теплоэнергетика.

Practice and prospects for the use of solid carbon-containing waste as a fuel for heat and power units / Bagryantsev V.I., Kazimirov S.A., Kutsenko A.I., Podolsky A.P., Rybushkin A.A., Temlyantsev M.V. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 33.

Critically analyzed, summarized and systematized information about the different types of man-made carbon-containing solid waste. The advantages and disadvantages of various technologies to incineration. Showing the most promising technologies for burning solid fuels on the basis of industrial waste. An experience of the Siberian State Industrial University for the development of units and combustion technologies of various kinds of carbon-based fuels from industrial waste to generate heat. Fig. 2. Ref. 7.

**Keywords:** solid carbon-containing waste, fuel, heat power industry.

### УДК 621.313.2

Один из подходов к распознаванию аварийных ситуаций на шахтных подъемных установках / Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Аниканов Д.С. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 38.

Рассмотрена работа скипового подъема, обеспечивающего технологический процесс рудной шахты. Приводится логическое и математическое обоснование одного из подходов к распознаванию аварийных ситуаций на шахтных подъемных установках. Распознавание производится путем замера и анализа текущих значений электрических параметров двигателя, входящего в состав электропривода механизма. Возникающие аварийные ситуации приводят к отклонению величины механического момента на валу электродвигателя подъема от штатного, что вызывает изменения электрических параметров приводного электродвигателя. Ил. 3. Табл. 1. Библ. 4.

**Ключевые слова:** скиповый подъем, аварийные ситуации, электрические параметры.

One of the approaches to the recognition of emergency situations in a mine hoisting plant / Saveliev A.N., Kipervasser M.V., Anikanov D.S. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 38.

The article describes the work of skip hoisting providing the process of ore mine. Logical and mathematical foundations of one of the approaches to the recognition of emergency situations in a hoisting plant are proved. The detection is performed by measuring and analyzing the current values of the electrical parameters of the engine, which is a part of an electric drive of the mechanism. Emergency situations lead to a deviation value of the mechanical torque on the motor shaft of a hoisting plant from a standard one that causes changes in the electrical parameters of an electric motor. Fig. 3. Table 1. Ref. 4.

**Keywords:** skip hoisting, emergency situations, electrical parameters.

#### УДК 661.665

Электроосаждение и свойства гальванических композиционных покрытий цинк – борид хрома CrB<sub>2</sub> / Ноздрин И.В., Руднева В.В., Галевский Г.В. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 43.

Исследованы условия электроосаждения, коррозионная стойкость и микротвердость гальванических композиционных покрытий на основе цинка, содержащих в качестве модифицирующей добавки борид хрома CrB<sub>2</sub> в наносостоянии в количестве 0,64 % (по массе). Установлено, что введение в цинковое покрытие нанопорошка борид хрома увеличивает его коррозионную стойкость в 2,3 раза, микротвердость – в 1,2 раза. После фосфатирования коррозионная стойкость композиционного покрытия возрастает в 2,2 раза, хроматирования – в 1,8 раза. Достигнутые результаты свидетельствуют о том, что в процессе электрокристаллизации цинка нанопорошок борид хрома выступает не только в качестве модифицирующей добавки, но и эффективного структурообразователя. Ил. 3.

**Ключевые слова:** электроосаждение, коррозионная стойкость, микротвердость, нанопорошок, модификатор.

Electrolytic deposition and properties of electrodeposited composition coatings zinc – chromium boride / Nozdrin I.V., Rudneva V.V., Galevsky G.V. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 43.

The conditions of electrolytic deposition, corrosion resistance and microhardness of electrodeposited composition zinc-based coatings containing chromium boride CrB<sub>2</sub> as a modifying agent in nanostate in the amount of 0.64 wt% are investigated. It is established that the introduction in a zinc coating of chromium boride nanopowder increases the corrosion resistance in 2,3 times, microhardness – 1,2 times. After the phosphatizing the corrosion resistance of the composite coatings is increased in 2.2 times, chromate treatment – 1,8 times. The results indicate that in the process of electrocrystallization of zinc nanopowder chromium boride acts not only as a modifying agent but also as an effective structure-forming agent. Fig. 3.

**Keywords:** electrolytic deposition, corrosion resistance, microhardness, nanopowder, modifying agent.

#### УДК 628.474.76

Анализ моделей управления отходами и разработка интегрированной модели для регионального управления твердыми бытовыми отходами / Волынкина Е.П., Кузнецов С.Н. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 47.

Мировой опыт показывает, что управление отходами – сложный процесс, включающий правовые, технические, экономические и экологические аспекты. Для создания современной системы управления отходами в России необходимо разработать и принять целый ряд законов и нормативных документов, а также



организовать экономически эффективное и экологически безопасное управление твердыми бытовыми отходами (ТБО) на территории каждого региона и населенного пункта. Проведен анализ известных моделей управления ТБО и предложена их классификация на организационно-административные, технологические и математические. С учетом отечественных и зарубежных разработок в области моделирования регионально-го управления ТБО предложена интегрированная модель, учитывающая жизненный цикл отходов, Иерархию управления и многоцелевой генетический алгоритм в качестве метода оптимизации. Модель является наиболее полной из всех известных и позволяет количественно оценить материальные, энергетические, экономические и экологические параметры при том или ином сценарии управления отходами, сравнить существующие и планируемые схемы обращения с отходами и выбрать оптимальную. Ил. 13. Библ. 17.

**Ключевые слова:** модели управления твердыми бытовыми отходами, окружающая среда, эффективность, экологическая безопасность, программный комплекс.

The analysis of waste control models and the development of an integrated model for the regional solid domestic waste control / Volynkina E.P., Kuznetsov S.N. // Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 47.

The world experience shows that waste control is a complex process involving legal, technical, economic and environmental aspects. To create a modern waste control system in Russia it is necessary to develop and adopt a series of laws and regulations, as well as to organize cost-effective and environmentally sound control of municipal solid waste (MSW) on the territory of each region and locality. This article gives the analysis of the known models of solid domestic waste control and their classification on institutional, technological and mathematical ones. On the base of Russian and foreign developments in the field of modeling of regional solid domestic waste control an integrated model is proposed, which takes into account the life cycle of waste control, waste control hierarchy and multi-purpose genetic algorithm as the optimization method. This model is the most complete of all the known ones and gives the quantification of the material, energy, economic and environmental parameters in a given waste control scenario, to compare existing and planned waste control schemes and choose the best ones. Fig. 13. Ref. 17.

**Keywords:** models of solid domestic waste control, environment, efficiency, environmental safety, software package.

#### УДК 330:622

Структурные компоненты деятельности по аккумулярованию средств целевого фонда рекультивации земель / Петрова Т.В., Франк Е.Я. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 60.

Рассматривается решение задачи определения структурных компонентов деятельности по аккумулярованию денежных средств в целевом региональном фонде рекультивации земель. Негативная ситуация в части нарушения земель ставит не первое место вопросы финансового обеспечения дорогостоящих масштабных работ по рекультивации участков, на которых располагались предприятия, в частности угледобывающие. В настоящее время не определен организационно-экономический механизм финансирования работ по рекультивации. В связи с этим не обеспечивается проведение качественных и своевременных работ по восстановлению нарушенных земель. Ил. 2. Библ. 4.

**Ключевые слова:** рекультивация земель, финансирование, организационно-экономический механизм.

Structural components of the activity in accumulating the trust funds of land reclamation / Petrova T.V., Frank E.Ya. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 60.

The article considers the solution for the identification of structural components of the activity in accumulating the trust funds of land reclamation. The negative situation of violations of land in the first place puts the questions of financial provision of expensive large-scale land reclamation works, where the enterprises were located at, particularly the coal ones. Currently an organizational and economic mechanism of funding of the artificial revegetation has not been defined yet. Thereby, the conducting of the qualitative and timely remediation of disturbed lands is not provided. Fig. 2. Ref. 4.

**Keywords:** land reclamation, financing, organizational and economic mechanism.

**УДК 658.669.1 (075)**

Рецензия на учебное пособие А.И. Мусатовой, В.Н. Кадыкова «Технико-экономическое обоснование проектных решений в прокатном производстве» / Ерыгин Ю.В. // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3 (5). – С. 63.

Проводится анализ структуры и содержания учебного пособия. Отмечены достоинства в инновационном тактовом и декомпозиционном подходах, разработанными авторами, а также в методиках исследования, нормирования, планирования и прогнозирования технико-экономических показателей в прокатном производстве.

**Ключевые слова:** актуальность, задачи, системность, особенности, методологические основы, управленческие решения.

The review on the textbook «Technical-and-economic assessment of design decisions in the rolling process» by A.I. Musatova, V.N. Kadykov / Erygin Yu.V. // The Bulletin of SibSIU. – 2013. – № 3 (5). – P. 63.

The analysis of the structure and content of the textbook is carried out. The advantages in an innovative clock and decomposition approaches developed by the authors, as well as in the methods of studies, valuations, planning and forecasting of technical and economic performances in the rolling process.

**Keywords:** urgency of the problem, objective, consistency, features, methodological principles, management decisions.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Сибирского государственного индустриального университета» публикуются статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера по следующим направлениям:

1. Metallургия 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.

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 и один – на электронном; к статье должен быть приложен реферат и ключевые слова на русском и английском языках, а также фамилии авторов и название статьи на английском языке.

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 CD или FD. 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 75×75 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 пространственных программ MS Excel, MS Visio и др., следует представлять в формате исходного приложения (\*.xls, \*.vsd и др.). На обратной стороне ри-

сунка 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 адрес с почтовыми индексами, телефон и E-mail).

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 наименований. 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, название статьи, полное название журнала, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборников – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название сборника, место издания, издательство, год издания, кому принадлежит, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, в библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

К статье должна быть приложена аннотация в двух экземплярах объемом не более 1/2 страницы текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала.

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 направлять главному редактору по адресу: ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», 654007, г. Новокузнецк, Кемеровской обл., ул. Кирова, 42.

