



УДК 539.43.669

**Л.А. Горбачев, А.И. Недобитков**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДА НА СТРУКТУРУ СЕРОГО ЧУГУНА  
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

В многочисленных работах установлено, что от 80 до 90 % автомобилей, тракторов, установок и агрегатов выходит из строя в результате износа. Увеличение долговечности, например двигателей внутреннего сгорания, в два раза выгоднее, чем удвоение выпуска этих двигателей, так как при этом экономится металл, электроэнергия, труд, оборудование [1]. На современном этапе развития науки известно, что существуют скрытые ускорители износа, способные в отдельных случаях в десятки раз увеличивать износ и даже приводить к разрушению поверхностного слоя [1].

Но продукцию машиностроения невозможно представить без участия металлургии. Причем, учитывая специфику производства черных металлов, особое место в решении проблемы повышения качества продукции металлургии занимает вопрос нейтрализации вредного влияния технологических примесей: газов, серы, фосфора и др. В ряду этих элементов особое место занимает водород, что связано с его аномально высокой подвижностью в металле при низких температурах [2]. Как показано в работе [2] при 20 °C коэффициент диффузии водорода в  $10^{12}$  превосходит соответствующую величину для углерода или азота. Сочетание с ничтожной растворимостью при невысоких давлениях и сильнейшим влиянием на свойства металлов делает его уникальным элементом, с большим трудом поддающимся экспериментальным исследованиям [2].

Необходимо отметить, что любой эксперимент представляет собой ту или иную модель объективно существующего физического явления и имеет, по определению, ряд каких-либо допущений или условий, которые естественным образом сказываются на его результатах и их трактовку. Например, как показано в работе [2], В.П. Чернобровкин вначале обнаружил увеличение размеров включений графита при обогащении расплава водородом в результате продувки жидкого чугуна водородом. Форма графита при этом оставалась пластиночной и практически не изменялась. Примерно к таким же результатам пришли В.П. Мигай, Охира и Икава, Девсон, Бак и Смит [2]. Но впоследствии, В.П. Чернобровкин, несмотря на практически одинаковую методику и материалы по сравнению с предыдущими исследованиями, приходит к выводу, что после продувки жидкого чугуна водородом и увеличения его содержания в 1,5 раза графит резко измельчается и появляется междендритный графит, а форма его не изменяется [2]. Аналогичные результаты были получены в работах других исследователей (Н.Г. Гиршовича, Л.И. Феломенкиной, Хосена и др.). В.И. Шаповалов в работе [2] прямо указывает, что причиной вышеупомянутого противоречивого экспериментального материала являются методические погрешности, которые не позволили из влияния множества факторов выделить один – фактор влияния водорода на форму и размеры графита в сером чугуне.

Даная работа основана на результатах исследования причины разрушения гильзы

130-1002021-А2 двигателя ЗиЛ (рис. 1).



Рисунок 1 - Разрушение буртика исследуемой гильзы: а – совмещение разрушенных фрагментов по месту излома, б – кольцевой фрагмент буртика гильзы

Разрушение гильзы произошло в условиях эксплуатации, то есть специально эксперимент не проводился, исследуется естественное протекание физического процесса. Согласно техническим условиям завода-изготовителя гильза выполняется из серого чугуна и отливается методом центробежного литья.

Определим условия нагружения буртика гильзы. В общем случае, для предотвращения прорыва газов и охлаждающей жидкости между головкой и блоком цилиндров их стыковочная зона уплотняется прокладками (рис. 2).

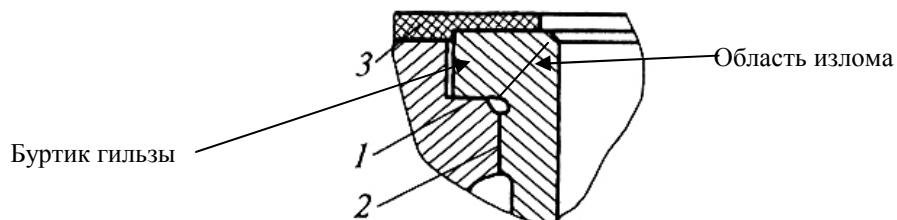


Рисунок 2 - Уплотнение газового стыка: 1 - опорная плоскость, 2 - центрирующий пояс, 3 - прокладка

Работоспособность газового стыка двигателя оценивают по его герметичности при реализации рабочего процесса и по уровню напряженно-деформированного состояния его элементов – шпильки или болта, прокладки и блока [3].

Основными расчетными нагрузками на газовый стык являются (рис. 3):

- сила предварительной затяжки;
- нагрузка от газовой силы;
- термическая сила, образующаяся при прогреве двигателя вследствие различных коэффициентов линейного расширения элементов стыка.

Тогда, как показано в работе [3], минимальная сила, действующая на буртик гильзы, определится как:

$$P_{\delta \min} = P_{p \min} \cdot i. \quad (1)$$

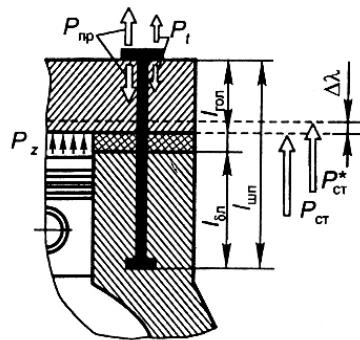


Рисунок 3 - Расчетная схема оценки надежности элементов газового стыка

В работе [3] максимальная сила, действующая на буртик гильзы, определяется по формуле:

$$P_{\delta \max} = P_{p \max} \cdot i. \quad (2)$$

Таким образом, сила, действующая на буртик гильзы, изменяется от значения  $P_{\delta \min}$  до значения  $P_{\delta \max}$ .

Перейдем от силы  $P$ , действующей на буртик, к  $q$  – внешнему давлению на верхнюю поверхность буртика гильзы, которое определяется в зависимости от затяжки болтов головки блока цилиндров из условия герметичности газового стыка. Расчетная схема приведена на рис. 4.

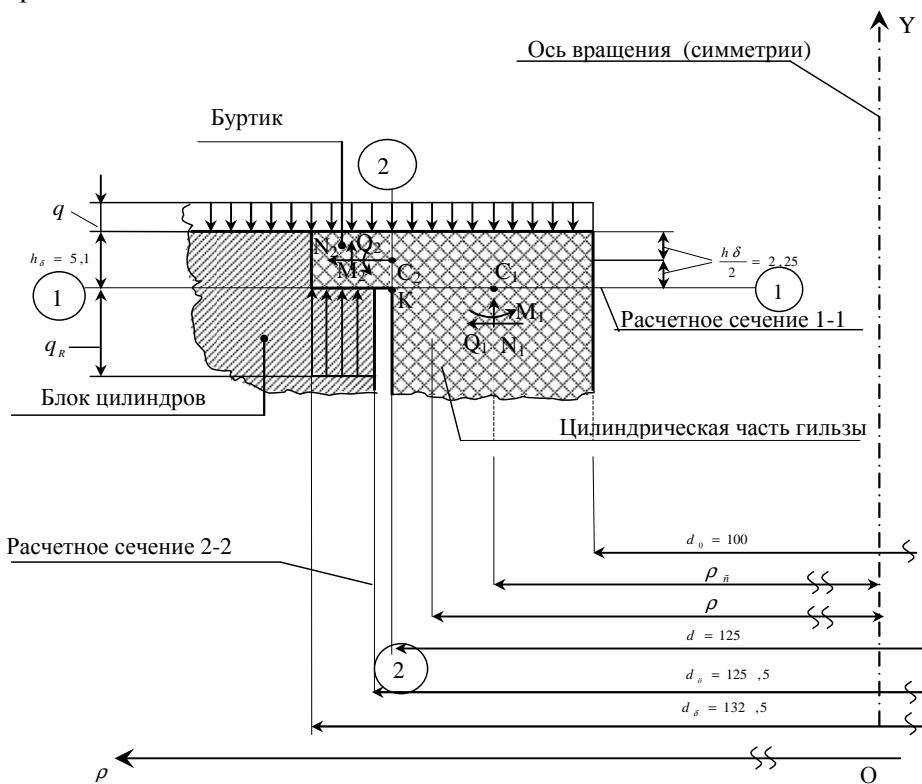


Рисунок 4

Размеры  $d_o$ ,  $d_u$ ,  $d_b$  – соответствуют размерам гильзы 130-1002021-А2 двигателя ЗиЛ-130;  $\rho$  – радиальная координата произвольной точки гильзы в цилиндрической системе координат  $\rho OY$ ;

$q$  – внешнее давление на верхнюю поверхность буртика гильзы, которое определяется в зависимости от затяжки болтов головки блока цилиндров из условия  $q > P_z$  (где  $P_z$  – максимальное давление в цилиндрах);

$\rho_0$  – радиус срединной поверхности цилиндрической части гильзы,

$$\rho_0 = \frac{d_0 + d}{2} = 112,5 \text{ мм}; \quad (3)$$

$M_1, M_2, N_1, N_2, Q_1, Q_2$  – распределенные по окружностям радиусами  $\rho_0$  и  $d/2$ , соответственно, изгибающие моменты ( $M_1, M_2$ ), продольные ( $N_1, N_2$ ) и поперечные ( $Q_1, Q_2$ ) силы в сечениях 1-1, 2-2, проходящих через точку «К» с типичным концентратором напряжений в виде резкого (ступенчатого) изменения формы гильзы, обусловленного наличием буртика;

$\sigma_{H1}, \sigma_{H2}$  – экстремальные номинальные напряжения на главных площадках 1-1 и 2-2 в окрестностях точки «К»;

$a_\sigma$  – коэффициент концентрации нормальных напряжений  $\sigma_{H1}, \sigma_{H2}$ ;

$\tau_H, \tau_{max}$  – номинальное и наибольшее касательные напряжения;

$\sigma_{\text{экв}(H)}, \sigma_{\text{экв}(M)}$  – номинальное и максимальное эквивалентные напряжения в опасной точке «К».

Вполне очевидно, что значение  $q$  меняется во времени так же, как и значение  $P_z$ , обусловленное рабочим циклом двигателя внутреннего сгорания.

Как показано в работе [4], при работе двигателя внутреннего сгорания его гильзы подвергаются периодическим ударным нагрузкам со стороны поршневой группы. В результате этого возникают вынужденные упругие колебания гильз. Кроме того, в работе [4] выведено выражение для определения прогиба оболочки-гильзы, окруженной слоем жидкости, при ударных импульсных воздействиях на ее внутреннюю поверхность со стороны поршня, возникающих при прохождении им верхней мертвоточки

$$B = \frac{R^2 \omega^2}{c^2 \psi} \cdot \frac{\rho R_2}{\rho_0 h_0 R_e} \left[ \frac{1}{\sigma^2} \cdot \frac{256}{105} - \frac{256}{315} - \frac{1}{\sigma^4} \cdot \frac{128}{5} + \frac{384Q}{\sigma^6} \right], Q = 1 - \frac{3}{\sigma} \operatorname{ctg} \sigma + \frac{3}{\sigma^2}. \quad (4)$$

В работе [4] также показано, что амплитуда колебаний будет максимальной, если ударные нагрузки приложены в центре гильзы, а при их приближении к торцам, амплитуда колебаний спадает вплоть до нуля на торцах.

Таким образом, можно указать на следующие факторы, характеризующие напряженно-деформированное состояние буртика гильзы:

- динамико-циклический характер давления  $q(t)$  (рис. 5);
- воздействие нестационарного положительного температурного поля;
- колебания гильзы двигателя, окруженной слоем охлаждающей жидкости, при воздействии на ее внутреннюю поверхность периодических ударных нагрузок.

При исследовании поверхности излома с помощью микроскопа МБС-2 было установлено наличие разнородных по своему микрорельефу участков:

- 1) зона, имеющая небольшую высоту микронеровностей и характерную «заглаженность» поверхности, – зона развития усталостной трещины;
- 2) зона, имеющая значительно более грубый микрорельеф и крупнокристаллическое строение, – зона окончательного разрушения (зона долома).

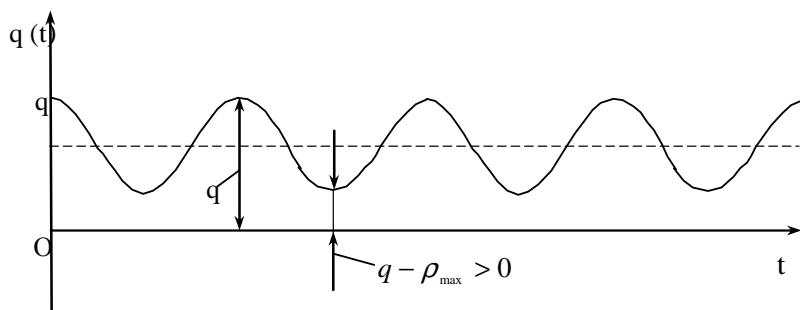


Рисунок 5

Наличие двух зон свидетельствует о медленном развитии трещины за достаточно большое число циклов нагружения. Её раскрывающиеся края успевают претерпеть во взаимном контакте значительную пластическую деформацию смятия, нивелирующую неровности.

В работе [5] дается следующее определение усталости – процесс постепенного накопления повреждений металла под действием переменных напряжений, приводящих к изменению свойств, образованию трещин и разрушению. Таким образом, имеет место усталостное разрушение исследуемой гильзы.

При проведении металлографического исследования образца гильзы с поверхности излома было установлено, что твердость составляет  $HB=302$ . Шлифы приготавлялись по общепринятой методике. Исследование микроструктуры проводилось на микроскопе МИМ-7 и на растровом электронном микроскопе JSM-6290LV (рис. 6). До травления в микроструктуре чугуна отмечается графит шаровидной формы (рис. 6).

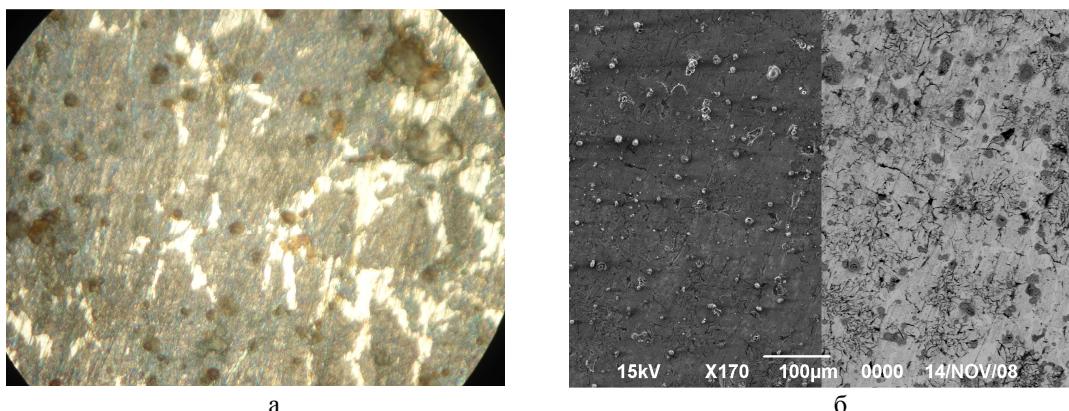


Рисунок 6 - Микроструктура образца: а - снимок, полученный на микроскопе МИМ-7, б - снимки в разных режимах съемки, полученные на растровом электронном микроскопе JSM-6290LV

После травления шлиф имеет следующую микроструктуру: перлит, графит, феррит в виде сетки, плюс фосфидная эвтектика. Согласно ГОСТ 1412-85 при толщине стенки отливки 8 мм твердость по Бринеллю должна быть от 224 до 240 единиц.

Необходимо отметить, что для серого чугуна характерна пластинчатая (лепестковая) форма графита. Именно такая форма графита имеет место на образцах, изъятых в нижней, не подвергавшейся циклической нагрузке части гильзы. При этом наличие фосфид-

ной эвтектики отмечается и на этих образцах (рис. 7).

Элемент	Весовой %	Атомный%
C K	1,50	5,85
Si K	0,83	1,38
P K	0,44	0,66
S K	16,45	23,99
Mn K	33,76	28,74
Fe K	47,03	39,39
Итоги	100,00	



Рисунок 7 - Включения серы и фосфора

В работе [2] отмечается, что в чистых сплавах Fe-C-H и Fe-C-Si-H, начиная с концентраций 27-30 см<sup>3</sup>/100 г, водород способствует усилению разветвлений графита, уменьшая число включений и делая их более компактными, а в пределе - шаровидными. Таким образом, эффект изменения формы графита в области излома гильзы объясняется воздействием водорода.

Как показано в работе [6] водород может проникать в металлы при литье слитков, обработке металлов, а также в процессе эксплуатации готовых изделий. Необходимо отметить, что конструктивно гильза получается литьем, в процессе эксплуатации омыается охлаждающей жидкостью, в составе которой имеется водород, а также контактирует с отработавшими газами и смазкой, в составе которых также присутствует водород, но его концентрация при этом значительно меньше отмеченных в работе [2] концентраций 27-30 см<sup>3</sup>/100 г и даже 50-60 см<sup>3</sup>/100 г.

В работе [6] отмечается, что водород, абсорбированный металлом, может находиться в нем в различных состояниях:

- а) растворяться в металле;
- б) сегрегировать на несовершенствах кристаллического строения;
- в) адсорбироваться на поверхности микрополостей и частицах вторых фаз;
- г) скапливаться в микрополостях в молекулярной форме;
- д) образовывать гидриды с основным металлом;
- е) вступать во взаимодействие со вторыми фазами.

При исследовании на растровом электронном микроскопе JSM-6290LV образцов, взятых с поверхности излома, было установлено наличие структур (рис. 8) с различной степенью увеличения. При проведении исследования с помощью приставки энергодисперсионного анализа INCAEnergy установлен точечный количественный состав обнаруженной структуры (рис. 9).

Результаты исследования позволяют сделать вывод о наличии в области излома Fe-C-Si-H и его отсутствии в областях, не подверженных циклической нагрузке.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными в работе [7], авторы которой использовали механоактивацию для получения гидридов алюминидов титана при комнатной температуре в атмосфере водорода. Более того, сопоставляя микроструктуры (рис. 8-10), можно прийти к выводу о близкой форме и размере гидридов, что свидетельствует о едином механизме образования, связанном с циклическим нагружением исследуемых образцов и практически независящем от концентрации и давле-

ния водорода (в рассматриваемых случаях они очень далеки друг от друга).

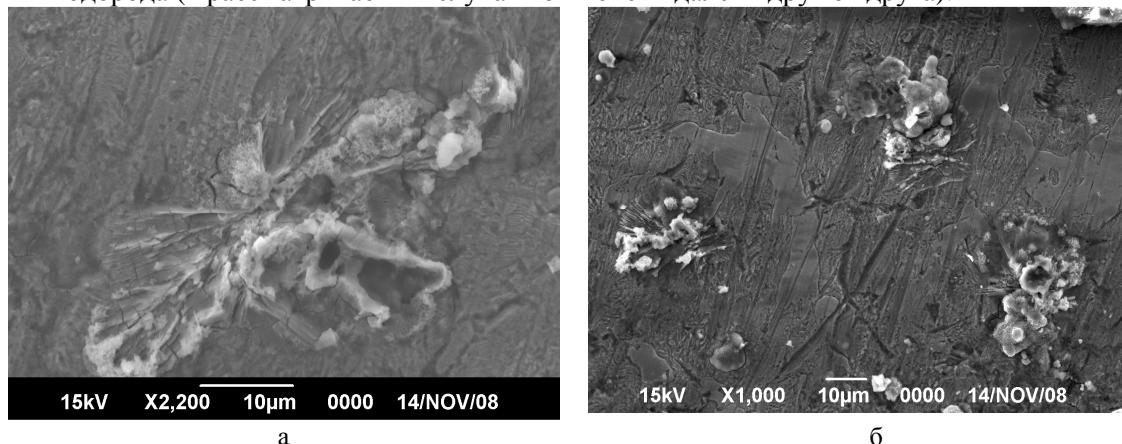


Рисунок 8 - Микроструктура гидридов: а - увеличение 2200, б – увеличение 1000

Элемент	Весо-вой, %	Атомный, %
C K	41,24	33,54
O K	78,78	48,10
Si K	2,00	0,70
Mn K	1,10	0,20
Fe K	99,87	17,47
Итоги	222,99	

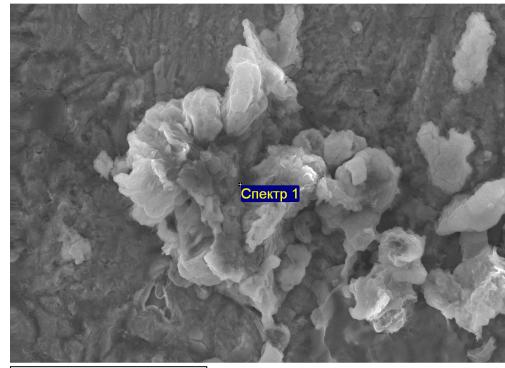


Рисунок 9

В работе [8] показано, что в процессе циклического нагружения вследствие сложных физико-химических процессов могут возникать новые фазы. В данной работе приведен пример образования соединений  $C_2FeO_4$ ,  $Fe_2C$ ,  $Fe_5C_2$  в условиях циклического нагружения (2800 цикл/мин) при комнатной температуре, хотя общеизвестно, что для получения вышеуказанных соединений требуются высокие температуры.

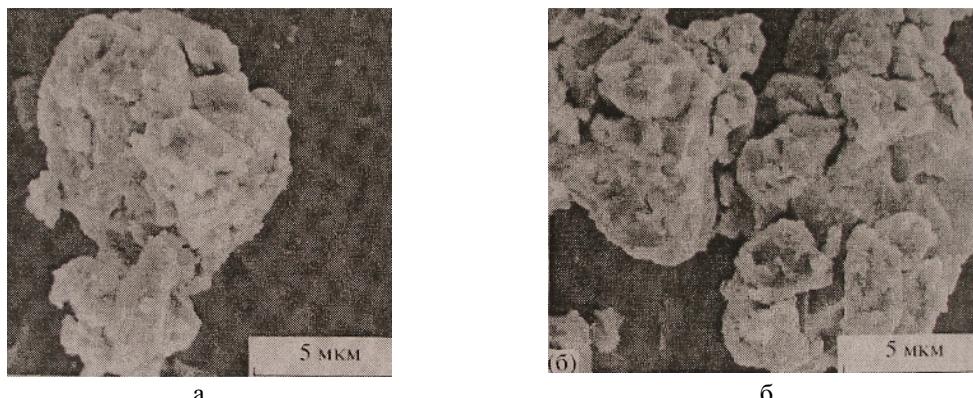


Рисунок 10 - Микроструктура гидридов, полученных  
при механоактивации в атмосфере водорода [7]

Выводы работы [8] прямо подтверждаются настоящим исследованием и косвенно - данными работы [2], в которой В.И. Шаповалов указывает на две гипотезы, объясняющие сфероидизирующее воздействие водорода в сером чугуне. Причем обе схемы базируются на адсорбционном взаимодействии водорода с поверхностью графита, но одна из них объясняет переход от пластинчатых форм роста к шаровидным увеличениям степени разветвленности графита, а другая, наоборот, связывает его с дислокационным выклиниванием без предварительного разветвления. Но обоснование гипотез работы [2] построено на экспериментах, связанных с продувкой водорода через чугун и в итоге с концентрацией водорода более 27-30  $\text{см}^3/100 \text{ г}$ . Но выше показано, что данный эффект имеет место безводородной продувки и внешнего стационарного водородного давления, но в условиях циклической нагрузки. Следовательно, наличие водорода является необходимым условием, но не доминирующим.

Общеизвестно, что первая фаза графитизации происходит при выдержке отливок при температуре около 1000 °C и заканчивается формированием структуры, состоящей из графита, перлита и феррита, обычно окружающего выделения хлопьевидного графита. Данная структура очень близка к полученной микроструктуре в зоне излома исследуемой гильзы, но гильза автомобильного двигателя в процессе эксплуатации конструктивно не может быть нагрета до температуры около 1000 °C.

Кроме того, известно явление предварительной низкотемпературной обработки, заключающееся в том, что чугун, выдержаный перед графитизирующим отжигом определенное время при температурах ниже 400 °C, дает при отжиге в пять-десять раз больше включений графита, чем обычный.

Представляется, что наиболее логичным объяснением перехода от пластинчатых форм графита к шаровидным при циклическом нагружении образца серого чугуна при отсутствии внешней водородной атмосферы является следующее. После кристаллизации чугун обычно оказывается пересыщенным водородом. Известно, что растворенные по типу внедрения атомы взаимодействуют с несовершенствами кристаллической решетки, образуя «облака» Коттрелла, в которых наблюдается повышенная концентрация растворенного вещества. Активным «образователем» облаков является водород, обладающий высокой скоростью диффузии при низких и высоких температурах [2]. В процессе сложного и специфического характера циклического нагружения происходит активная диффузия водорода в зону наиболее высоких напряжений. Концентрация водорода в данной области возрастает. Энергия циклической деформации (усталости) является причиной: во-первых, изменения формы графита с пластинчатой на шаровую в присутствии водорода; во-вторых, образования гидридов в зоне высоких напряжений. В работе [6] показывается, что при увеличении содержания выше предела растворимости водород расходуется не на растворение, а на образование гидридной фазы.

Изложенное выше объяснение является универсальным и для других металлов, о чем свидетельствуют результаты работы [7]. Кроме того, возможно использование эффекта циклического нагружения для контролируемого изменения свойств металлов.

Список литературы

1. Защита от водородного износа в узлах трения/ Под ред. А.А. Полякова. - М.: Машиностроение, 1980. - 135 с.
2. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. - М.: Металлургия, 1982. - 232 с.

3. Двигатели внутреннего сгорания/ Под ред. В.Н. Луканина, М.Г. Шатрова. - М.: Высш. школа, 2005. - 400 с.
4. Могилевич Л.И. Колебания гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания с водяным охлаждением под действием ударных нагрузок со стороны поршневой группы / Л.И. Могилевич, В.С. Попов, А.А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2008. - № 3. - С.100-108.
5. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. - М.: «Металлургия», 1978. - 304 с.
6. Колачев Б.А. Водородная хрупкость цветных металлов. - М.: «Металлургия», 1966. - 239 с.
7. Казанцева Н.В. Использование механоактивации для получения гидридов алюминидов титана / Н.В. Казанцева, Н.В. Мушников, А.Г. Попов, В.А. Сазонова, П.Б. Терентьев // Физика металлов и металловедение. - 2008. - № 5. - С. 492-502.
8. Горбачев Л.А. Об образовании новых фаз в стали 08кп при циклическом нагружении // Вестник ВКГТУ. - 2006. - № 2. - с. 74-81.

Получено 6.04.10

УДК 622.14.03

**А.А. Жанбатыров**

Центр инжиниринга и трансфера технологий, г. Астана

**КОНСЕРВАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЙРЕМ  
(ДАЛЬНЕЗАПАДНЫЙ И ЗАПАДНЫЙ УЧАСТКИ)**

Основанием для консервации месторождения Жайрем является отсутствие собственной полиметаллической обогатительной фабрики и экономической нецелесообразности дальнейшей добычи руды без глубокой переработки с получением высококачественных концентратов. Консервация осуществлена в соответствии с нормативными документами Республики Казахстан [1-3].

*Существующее состояние горных работ на Дальнезападном участке.* Отработка запасов Дальнезападного участка осуществляется двумя карьерами. Вскрытие запасов производится спиральными съездами с выходом капитальных съездов из карьеров № 1 и № 2 на южном борту карьера № 2.

Размеры карьеров в плане поверхности: карьер № 1 – 840×980 м и карьер № 2 – 1300×1380 м; глубина карьера № 1 – 203 м, карьера № 2 – 300 м. Верхняя часть карьера, сложенная песками, глинами и сильно выветрелыми породами, отрабатывается без буро-взрывных работ уступами высотой 10 м, в скальных породах – от 12 до 18 м; руда отрабатывается подступами высотой от 12 м, в наиболее сложных участках - до 6 м. Генеральный угол наклона бортов карьера – 30°; угол откосов – 60°.

Проектом обоснованы: разубоживание – 10 % и потери при добыче – 3,0 %.

По состоянию на 1.01.2010 г. фактическая глубина карьера № 1 составляет 157 м, карьера № 2 - 175 м. При общем объеме горной массы 70,87 млн м<sup>3</sup> к настоящему времени по данным маркшейдерского замера осталось вскрыши 59,03 млн м<sup>3</sup>, в том числе: по карьеру № 1 – 9,5 млн м<sup>3</sup>, карьеру № 2 – 49,53 млн м<sup>3</sup>. Большой объем ГКР обуславливается отставанием вскрышных работ. Разбивка вскрышных пород по карьерам и горизонтам приводится в табл. 1.

*Консервация Западного участка месторождения Жайрем.* Западный участок месторождения Жайрем состоит из карьера и отвала вскрышных пород. Горные работы на карьере Западного участка были остановлены в 1994 году. По состоянию на 01.01.2010 года карьер имел глубину 47 м (+349 м) при дневной отметке поверхности +396 м.

Таблица 1  
*Разбивка горных работ по карьерам и горизонтам (без учета монобаритовой руды)*

Горизонт	Карьер № 1		Карьер № 2		Всего по карьерам № 1 и № 2	
			Горная масса, тыс. м <sup>3</sup>			
	Всего	в том числе: вскрыша	Всего	в том числе: вскрыша	Всего	в том числе: вскрыша
385			630	630	630	630
375			1720	1720	1720	1720
365			1810	1810	1810	1810
355			2040	2040	2040	2040
345			2120	2120	2120	2120
333			2670	2670	2670	2670
321	311	285	2455	2410	2766	2695
309	518	475	2925	2830	3443	3305
297	518	475	3015	2890	3533	3365
285	829	760	3285	3110	4114	3870
273	933	855	3201	2950	4134	3805
261	1036	950	3559	3230	4595	4180
249	1036	950	3440	3080	4476	4030
237	1036	950	3620	2900	4656	3850
225	1036	950	3350	2340	4386	3290
213	1036	950	3980	2600	5016	3550
201	1036	950	3590	2200	4626	3150
189	1036	950	3260	2100	4296	3050
Остаток на горизонтах 177-90			10700	5900	10700	5900
Всего	10362	9500	61370	49530	71732	59030

Горными работами вскрыты баритовые, окисленные барит-полиметаллические и окисленные полиметаллические руды верхней зоны коры выветривания. Вскрытые руды и породы не склонны к самовозгоранию, несиликоzoопасные и находятся в условиях, близких к состоянию естественной влажности.

За период эксплуатации Западного участка объем вынутых вскрышных пород составил 4600,0 тыс. м<sup>3</sup> и уложены в породный отвал высотой 25 м. Проведенные исследования показали, что уложенные породы в породный отвал под воздействием атмосферных осадков, талых вод, естественного слеживания и проседания уплотнились. Процессов оползания склонов откосов отвалов не наблюдается. Углы откосов породного отвала составляют от 10 - 15° на южном, восточном и юго-западном склонах и до 30-35° на западном и северо-западном склонах.

За период остановки горных работ на Западном участке (около 15 лет) борта уступов, сложенные эоловыми песками, четвертичными суглинками и глинами аральской свиты осыпались и оплыли до устойчивых углов, равных 30-35° (гор. +385 м, +375 м), а борта уступов, сложенные алевропелитовыми глинисто-кремнистыми породами, оплыли до углов 50- 55 ° (гор. +365 м, +355 м).

По состоянию на 01.01.2010 г. по Западному участку месторождения Жайрем обеспеченность предприятия вскрытыми, подготовленными и готовыми к выемке запасами составляет:

– вскрытые - 61,3 тыс. т, Pb - 1,62 %, Zn - 4,82 % и BaSO<sub>4</sub> - 25,64 %;

– подготовленные – 61,3 тыс. т, Pb – 1,62 %, Zn – 4,82 % и BaSO<sub>4</sub> – 25,64 %;  
 – готовые к выемке – 61,3 тыс. т, Pb – 1,62 %, Zn – 4,82 % и BaSO<sub>4</sub> – 25,64 %.

*Инженерно-геологическая характеристика.* В процессе проведенных инженерно-геологических исследований было выделено 6 инженерно-геологических комплексов:

1. Песчано-супесчаный комплекс (ПСК) эолово-аллювиально-пролювиальных грунтов в нижне- и среднечетвертичных отложениях. На участке он имеет повсеместное распространение, покрывая маломощным пластом 4-6 м нижележащие отложения, образует в рельефе песчаную равнину, сложенную мелкозернистыми пылеватыми песками весьма различного минералогического состава. В естественном состоянии пески в верхней части разреза рыхлые, сухие с углом естественного откоса 34-38 °, в нижней – уплотненные, влажные. В них развит водоносный горизонт пресных подземных вод. При проходке в зависимости от степени обводненности пески заплывают, оползают, осыпаются; в осушенном состоянии держат стенки. При проходке карьера горизонт осушается за счет предварительной прокладки кольцевого горизонтального дренажа. Показатели физических свойств эоловых песков приведены в табл. 2.

Таблица 2  
*Показатели физических свойств эоловых песков и пород окисленной и восстановительной коры выветривания месторождения Жайрем*

№ п/п	Показатели	Коли- чество опы- тов	Предельное значение		Среднее значение
			Максималь- ное	Минималь- ное	
<b>Эоловые пески</b>					
1	Естественная влажность, We, %	12	7,1	1,3	2,6
2	Влагоемкость максимально-молекулярная, %	17	21,8	6,8	16,1
		17	30,8	20,7	24,4
3	Объемная водоотдача, %	17	20,2	3,8	8,4
4	Объемный вес, γ <sub>0</sub> , г/см <sup>3</sup>	17	1,64	1,35	1,47 1,70
		17	1,81	1,64	
5	Удельный вес, γ <sub>у</sub> , г/см <sup>3</sup>	17	2,70	2,67	2,68
6	Пористость, n, %	12	51,4	43,4	48,3
7	Коэффициент пористости, ε	12	1,05	0,78	0,94
8	Коэффициент водонасыщения, g	12	0,18	0,038	0,07
9	Коэффициент фильтрации, Кф, м/сут	17	30,0	1,7	7,71
10	Угол естественного откоса, f, град.	17	44	35,5	38,6
			38,5	34,0	35,25
<b>Окисленная кора выветривания</b>					
1	Естественная влажность, We, %	16	29,9	12,5	19,7
2	Предел пластичности, Wf	11	45,0	32,7	36,5
3	Предел раскатывания, W <sub>p</sub>	11	32,0	15,5	22,1
4	Число пластичности, Mp	11	21,5	7,8	14,5
5	Показатель консистенции	11	0,962	-0,020	0,139
6	Объемный вес, γ <sub>0</sub> , г/см <sup>3</sup>	16	2,33	0,71	2,03
7	Удельный вес скелета грунта, γ <sub>ск</sub> , г/см <sup>3</sup>	12	2,01	1,35	1,67
8	Удельный вес, γ <sub>у</sub> , г/см <sup>3</sup>	16	3,30	2,75	2,97
9	Пористость, n, %	12	53,8	36,0	43,2

10	Коэффициент пористости, $\epsilon$	12	1,03	0,58	0,79
11	Влагоемкость максимально-молекулярная, %	3	2,01	14,2	16,5

Окончание таблицы 2

№ п/п	Показатели	Коли- чество опы- тов	Предельное значение		Среднее значение
			max	min	
12	Коэффициент водонасыщения, g	12	0,88	0,43	0,71
13	Влажность набухания, %	8	42,2	2,8	30,7
14	Величина свободного набухания	8	19,3	1,0	9,7
Восстановительная кора выветривания					
1	Естественная влажность, We, %	20	33,1	21,4	28,3
2	Объемный вес, $\gamma_0$ , г/см <sup>3</sup>	20	2,12	1,82	1,92
3	Объемный вес скелета грунта, $\gamma_{ск}$ , г/см <sup>3</sup>	20	1,64	1,37	1,49
4	Удельный вес, $\gamma_u$ , г/см <sup>3</sup>	20	2,99	2,67	2,73
5	Пористость, n, %	20	54,0	40,7	44,8
6	Коэффициент пористости, $\epsilon$	20	1,17	0,68	44,8
7	Коэффициент водонасыщения, g	20	1,19	0,83	0,82
8	Влагоемкость максимально-молекулярная, %	20	23,6	9,9	0,95
9	Влажность набухания, %	20	42,5	22,5	19,6
10	Величина свободного набухания	20	1,0	0,2	31,3

2. Глинистый комплекс (ГК) грунтов в неогеновых отложениях аральской свиты представлен практически повсеместно. Глины в основном зеленовато-серого цвета с обломками коренных пород и гнездами гипса. В основании неогеновых глин, как правило, залегает базальный слой окатанных скальных пород с глинистым заполнителем. Общая мощность неогеновых глин, достигая 20-30 м, в основном составляет 10-15 м. Глины засоленные и имеют однородный состав. Данные представлены в табл. 3.

Таблица 3  
Значение прочностных и деформативных характеристик неогеновых глин  
и пород окисленной зоны выветривания

№ п/п	Показатели	Количество опытов	Предельные значения		Среднее значение
			максимальные	минимальные	
Неогеновые глины					
1	Угол внутреннего трения, $f^{\circ}$ , град	42	29	4	14,6
2	Сцепление, С, кг/см <sup>2</sup>	42	1,30	0,34	0,88
	Коэффициент сжимаемости в интервале 1-3 кг/см <sup>3</sup>	41	0,028	0,0063	0,0162
4	Модуль деформации, кг/см <sup>2</sup>	41	250	67	125
Породы окисленной зоны коры выветривания					
1	Угол внутреннего трения, $f^{\circ}$	8	35	12	24
2	Сцепление, С, кг/см <sup>2</sup>	8	0,76	-0,03	0,18
3	Коэффициент сжимаемости в интервале 1 -3 кг/см <sup>3</sup>	9	0,0810	0,0108	0,0271

4	Модуль деформации, кг/см <sup>2</sup>	9	174	15	75
---	---------------------------------------	---	-----	----	----

Кроме лабораторных определений прочностных характеристик неогеновых глин непосредственно были проведены инструментальные замеры углов естественного откоса отвалов, практически нацело состоящих из неогеновых и палеогеновых глин. Углы составляют 26 - 35° при высоте отвалов 20 м. Неогеновые глины являются набухающими. Величина свободного набухания колеблется от 16,6 до 46 %, т.е. порода неравномерно сильно набухающая. В процессе отработки карьера это необходимо учитывать. При проходке горных выработок неогеновые глины в осушенном состоянии сохраняют вертикальные стенки, при замачивании оползают и отваливаются.

3. Глинисто-песчаный комплекс (ГПК) грунтов в палеогеновых глинах на Западном участке распространения не имеет.

4. Рыхлообломочный комплекс грунтов (РОК) окисленной зоны коры выветривания палеозойских отложений на участке распространен повсеместно и представлен глинистыми породами с включением 10-60 % щебенистого материала, обводненными, рыхлыми, неустойчивыми, со слабой водоотдачей. Мощность комплекса в районе карьера 20-100 м, на отдельных площадях он отсутствует. Соотношение глинистых и крупнообломочных фракций самое различное. Весьма существенно меняется минералогический состав пород и их структура. Все это предопределяет неоднородность физических и прочностных характеристик комплекса. Все прочностные и деформативные характеристики тоже отличаются значительной неоднородностью.

Горнотехнические условия отложений вскрытых пород этой зоны весьма сложные. Отложения большой мощности обводнены, слабо отдают воду, по пластичным свойствам близки к глинам, отдельные разности также набухают, склонны к сползанию. Лишь после полного осушения выработок возможна их проходка.

5. Комплекс полускальных грунтов (КПС) восстановительной зоны коры выветривания палеозойских отложений распространен повсеместно и носит как площадной, так и линейный характер. Мощность комплекса меняется в широких пределах от 5-10 до сотни метров.

Комплекс представлен валунно-щебнистыми образованиями карбонатных пород и полускальными породами, пористыми, обладающими высокими фильтрационными свойствами. Полускальная разность характеризуется сильной трещиноватостью и кавернозностью с пустотами выщелачивания от 50 до 20-30 мм.

Полускальные породы восстановительной зоны коры выветривания характеризуются прочностью на сжатие от 13 до 1261 кг/см<sup>2</sup>, на растяжение - от 0,4 до 69, коэффициент крепости их варьируется от 0,1 до 12,6.

Горнотехнические условия проходки отложений восстановительной зоны, несмотря на большую устойчивость стенок выработок и прочность пород, осложнены обводненностью, трещиноватостью, наличием тектонических зон.

Горные работы по породам восстановительной зоны коры выветривания возможны только при проведении опережающего осушения.

6. Скальный комплекс пород (СК) палеозойских отложений имеет на участке повсеместное распространение. Коренные породы представлены карбонатными, кремнисто-карбонатными, терригенными песчано-алевролитовыми и магматическими образованиями.

Все отмеченные породы вне зоны дробления характеризуются слабой трещиноватостью, массивным сложением и отсутствием или слабым проявлением рассланцованныности.

Вмещающие скальные породы, имея тонко- и мелкозернистое строение, обладают хорошей устойчивостью. Коэффициент разрыхления вмещающих пород -  $1,6 \div 1,65$ , пористость - 0,7 %, влажность -  $0,05 \div 0,3$  %, объемный вес вмещающих скальных пород -  $2,63 \div 2,81$  т/м<sup>3</sup>. Угол откоса - 43 градуса.

Все породы месторождения обладают низкими показателями по абразивности (2-13 мг) и согласно классификации А.В. Кузнецова относятся к I-III классам, т.е. породам средней и малой абразивности.

Упругие параметры всех разновидностей пород в целом близки между собой. Определенные колебания прочностных свойств пород объясняются наличием факторов неоднородности: различной степенью окремнения и трещиноватости, слоистостью, присутствием углистого и глинистого материалов.

Несмотря на близость прочностных показателей, скальные породы все же можно условно разделить на две группы:

1) измененные, трещиноватые породы с относительно пониженными показателями прочностных, упругих и физических свойств и повышенными значениями абразивности (седиментационные брекчии, вишневые и серые алевролиты);

2) плотные, слаботрещиноватые окремненные породы с относительно повышенными значениями показателей прочности и очень низкой абразивностью (различные известняки, кремнисто-карбонатные и интрузивные породы).

7. Рудный комплекс (РК) палеозойских отложений приурочен к площади разрабатываемого месторождения. Руды, имея тонко- и мелкозернистое строение, обладают хорошей устойчивостью. Чистые разновидности барит-свинцовых руд характеризуются, в основном, мелкой кусковатостью (от 1-2 до 10-15 см в поперечнике). Более крупные куски, достигающие в поперечнике 15- 30 см, более характерны для кремнистых разновидностей руд (данные по кусковатости получены при проходке разведочной шахты на участке). Коэффициент разрыхления руд и вмещающих пород 1,6-1,65. Средняя величина объемного веса первичных руд составляет: полиметаллических - 2,98 т/м<sup>3</sup>, барит-полиметаллических - 3,79 т/м<sup>3</sup>, свинцово-цинковых -  $2,8 \div 4$  т/м<sup>3</sup>. Данные представлены в табл. 4.

Таблица 4  
*Физико-механические свойства руд*

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Значения	
			барит-поли- металлические	полиметалли- ческие
1	Насыпной вес	г/см <sup>3</sup>	2,39	1,75
2	Плотность	г/см <sup>3</sup>	3,73	2,88
3	Пористость	%	1,34	1,34
4	Угол естественного откоса	градусов	32	31,20
5	Влажность	%	0,098	0,098
6	Крепость по шкале М.М. Протодьяконова		10-11	10-12

*Мероприятия по временной консервации месторождения Жайрем.* Для предотвращения попадания в карьер талых вод и, как следствие, предотвращения развития процессов эрозии бортов карьера предусматривается устройство вокруг карьера предохранительного вала, расположенного вокруг карьера в 30 м от верхней бровки. Предохранительный вал треугольного сечения имеет следующие параметры: длина - 2010,0 м; высота - 1,0 м;

ширина основания - 3,3 м; углы откосов склонов - 30°; объем уложенного грунта - 33,0 тыс. м<sup>3</sup>.

Должно быть обеспечено выполнение следующих основных условий:

- 1) при возникновении экономической целесообразности (после окончания строительства обогатительного комплекса) возможность безопасной выемки из недр оставшихся запасов полезных ископаемых с целью их дальнейшей переработки;
- 2) сохранность консервируемых горных выработок;
- 3) безопасное нахождение людей и при необходимости проведения работ в пределах зон, находящихся на консервации;
- 4) охрана окружающей среды от возможного влияния законсервированных горных выработок.

Для реализации перечисленных условий консервации месторождения Жайрем предусмотрены следующие мероприятия:

- 1) осуществление мониторинга за уровнем грунтовых вод с полугодовой периодичностью;
- 2) осуществление постоянного мониторинга за состоянием карьеров и породных отвалов;
- 3) ликвидация и зачистка нависей и козырьков, а также возможных мест обрушения и осыпания уступов;
- 4) проведение регулярной очистки берм и площадок, ширина которых должна обеспечивать их механизированную очистку;
- 5) при въезде в карьер и на породный отвал установить шлагбаумы и запрещающие знаки въезда постороннему транспорту и проходу людей;
- 6) в зимнее время года производить систематическую очистку автодорог от снега, льда и посыпать песком, шлаком или мелким щебнем.

#### Список литературы

1. Инструкция о порядке ликвидации и консервации предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых.
2. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.
3. Единые правила охраны недр при разработке месторождений полезных ископаемых.

Получено 07.07.10

---

УДК 622

#### А.А. Жанбатыров

Центр инжиниринга и трансфера технологий, г. Астана

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ЖАЙРЕМ-АТАСУЙСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Центральный Казахстан является основной минерально-сырьевой базой для развития полиметаллического производства с получением концентратов и чистых металлов основной группы.

В настоящее время минерально-сырьевая база действующих горно-металлургических предприятий как в Восточном Казахстане (ТОО «Казцинк»), так и Южном (АО «Южполиметалл») находится на стадии исчерпания, и запасы достаточны на 10-15 лет.

Полиметаллическая сырьевая база Центрального Казахстана представлена группой

месторождений Жайрем-Атасуйского рудного района. В табл. 1 представлена информация по некоторым месторождениям полезных ископаемых на основные металлы – цинк и свинец.

Таблица 1  
*Краткая информация по полиметаллическим месторождениям  
Центрального Казахстана (цинк, свинец)*

Месторождение, участок	Запасы балансовых руд, млн тонн	Примечание
Жайрем, участок Дальнезападный	32,2	Открытая добыча
Жайрем, участок Западный	20,5	Открытая добыча
Жайрем, участок Восточный	134	Подземная добыча
Ушкатын-3	5,8	Открытая добыча
	36,2	Подземная добыча
Ушкатын-1	18,6	Открытая добыча
Алашпай	40,0	Открытая добыча
Кужал	10,0	Открытая добыча
Бестюбе	100,0	Открытая разработка
Арап	10,0	Открытая разработка
<i>Итого</i>	<i>407,3</i>	

Указанные месторождения полезных ископаемых находятся в радиусе 40-50 км от поселка Жайрем.

Генеральным планом развития Жайремского горно-обогатительного комбината (2-й этап 2-й очереди) предусматривалось строительство полиметаллической обогатительной фабрики (ОФ) производственной мощностью 4 млн тонн руды в год.

Вышеуказанная минерально-сыревая база достаточна для обеспечения полиметаллической рудой обогатительного и металлургического производства на 100 лет.

Для обеспечения питьевой водой недалеко от поселка Жайрем находится Тузкольское месторождение с запасами подземных вод 25 млн м<sup>3</sup>.

Основные проектные показатели, расходные коэффициенты и требования, заложенные по базовому варианту в проекте института «Казмеханобр» (1986 г.) [1], приведены в табл. 2.

Перспективы развития полиметаллического производства в Жайрем-Атасуйском рудном районе связаны также с обеспечением технической водой, электроэнергией и восстановлением социальной инфраструктуры поселка Жайрем.

В настоящее время в карьерах № 1 и № 2 Дальнезападного участка объем воды составляет не менее 10 млн м<sup>3</sup>. Прогнозный водоприток в карьер № 1 – 160 м<sup>3</sup>/ч или 58 400 м<sup>3</sup>/г; карьер № 2 – 400 м<sup>3</sup>/ч или 146 000 м<sup>3</sup>/год.

Для использования рудничных вод карьеров Дальнезападного участка месторождения Жайрем в технологическом процессе полиметаллической ОФ необходима водоподготовка.

В настоящее время наиболее пригодной водой для использования в технологическом процессе ОФ является вода карьеров Западный и Ушкатын-3, а также в перспективе месторождения Жомарт. В начальный период запуска фабрики необходимо использовать воду карьера

Западный и вновь разрабатываемого месторождения Жомарт (расстояние 18 км).

Таблица 2  
*Основные проектные показатели проекта института «Казмеханобр»*

Наименование	Удельный расход на 1 тонну руды	На объем переработки 4,0 млн тонн руды в год
Электроэнергия, всего	86,63 кВт·ч	346 514 тыс. кВт·ч/42,5 МВт·ч
В том числе: силовой	82,04 кВт·ч	328 163 тыс. кВт·ч/40,2 МВт·ч
Вода, всего:	6,48	25 934 тыс. м <sup>3</sup>
В том числе, свежая для технологических нужд	1,18 м <sup>3</sup>	4711 тыс. м <sup>3</sup>
хозпитьевая	0,01 м <sup>3</sup>	44,63 тыс. м <sup>3</sup>
Тепло, всего:	0,122 МВт	486 171 МВт
в т.ч. топливо - уголь	0,0062 т	24 770 т
Численность трудящихся		280 чел.
Производительность по переработке руды на 1 чел.		14 286 т/1 чел.
Себестоимость переработки (пересчет цен 1986 г. на 2005 г.)	8,33 долл. США	33,32 млн долл. США
Годовой выпуск металлов в концентратах: свинца в свинцовом цинка в цинковом барита в баритовом серебра в свинцовом серебра в цинковом		43 548 т 80 056 т 489 885 т 33 515 кг 15 661 кг
Себестоимость 1 тонны свинца и цинка в одноименных концентратах без учета баритового концентрата и серебра	269,6 долл./1 т концентрата	

Для запуска ОФ производительностью 4,0 млн тонн руды в год можно использовать воду, накопившуюся в карьере Западный в объеме до 1 млн м<sup>3</sup>. При эксплуатации фабрики предусмотрен 75-80 % водооборот с подпиткой свежей воды до 500 м<sup>3</sup>/ч. Установившийся водоприток карьера Западный – до 200 м<sup>3</sup>/ч. В случае нехватки воды необходимо строительство водовода с месторождения Жомарт. На территории месторождения Жомарт по прогнозам гидрогеологов имеется подземное месторождение воды хорошего качества в значительных объемах.

С целью технического водоснабжения полиметаллической ОФ Жайремского ГОКа в пределах Жомартовской карбонатной структуры выполнена оценка эксплуатационных

запасов Жомартовского месторождения подземных вод в количестве 140 л/с, 504 м<sup>3</sup>/час, 12,1 тыс. м<sup>3</sup>/сут, которые обеспечены естественными ресурсами – 50 л/с, 180 м<sup>3</sup>/час и естественными запасами – 95 л/с, 342 м<sup>3</sup>/час. Запасы утверждены протоколом ГКЗ СССР № 7075 от 25.12.73 г. Месторождение в настоящее время не эксплуатируется.

Качественные характеристики воды в карьерах Дальнезападный, Западный и Ушкатьин-3 приведены в табл. 3-4.

Таблица 3  
Химический анализ воды

Наименование	ПДК	Участок Западный скв. 3637	Участок Дальнезападный скв. 3640	Участок Жомарт скв. 12
Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	1000	2324	13136	1669
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2,324	0,75	0,017
Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,002	0,18	0,003
Титан, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,06972		0,005
Цирконий, мг/дм <sup>3</sup>		0,023		0,085
Хром, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,0139	0,05	
Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,0093		0,0033
Молибден, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,0035		0,0017
Олово, мг/дм <sup>3</sup>		0,002		0,009
Литий, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,0465		0,001
Медь, мг/дм <sup>3</sup>	1,0	0,00232		0,00167
Кобальт, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,004648		0,01
Стронций, мг/дм <sup>3</sup>	7,0	1,162	19,2	0,835

В настоящее время электроснабжение потребителей ЖГОКа осуществляется по сети 35-6 кВ от ПС 220/35/6 кВ Жайрем, включенной отпайками к ВЛ-220 Каражал-ЖТЭЦ, Каражал-Барсенир и собственных ПС 35/6 кВ Ушкатьинский рудник, Дальнезападный рудник и рудник Жомарт, питание которых также осуществляется от ПС Жайрем. Установленная мощность ПС 50 МВт с установкой двух понизительных трансформаторов 220/35 кВ мощностью по 25 МВт. В настоящий момент электрические нагрузки потребителей, согласно отчету за 2007 г., включая рудники Ушкатьин-3, Дальнезападный, Жомарт, обогатительную фабрику, сторонних потребителей в пос. Женис, Кзыл-Жар, Кенжебай, Берлистики, Новый город, Тузколь составляют 6-6,2 МВт.

Согласно расчетам, на максимальную электрическую нагрузку с коэффициентом входления в максимум нагрузки 0,9 для существующей ПС Жайрем возможно дополнительное использование 36-39 МВт электроэнергии. Учитывая дополнительные затраты на расконсервацию и организацию добычи на участке Дальнезападный и откачуку воды с участка Западный, общая электрическая нагрузка которых может составить до 2-2,5 МВт, непосредственно на ОФ может быть направлено до 32-35 МВт электроэнергии с организацией переработки не более 4,0 млн тонн руды в год. В период проектирования Казме-

ханобром ОФ в 1986 году для будущего электрообеспечения не закладывалось современное развитие карьера Ушкатын-3 и существующей ОФ по переработке марганцевых руд.

Таблица 4  
Химический анализ воды рудника Ушкатын-3

Компоненты	Место отбора			
	скв. 3633 (водопониж. скважины)	скв. 3634 (в контуре карьера)	Карьер Ушкатын-3	Шламо- накопитель (действующий)
pH	7,35	7,92	8,2	7,15
$(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ , $\frac{\text{мг}/\text{дм}^3}{\text{мг} - \text{экв}}$	2047 88,8	703 30,53	254 10,8	1806 78,35
$\text{Ca}^{2+}$ , $\frac{\text{мг}/\text{дм}^3}{\text{мг} - \text{экв}}$	561 28,0	36 1,8	36 1,8	601 30,0
$\text{Mg}^{2+}$ , $\frac{\text{мг}/\text{дм}^3}{\text{мг} - \text{экв}}$	437 36,0	87 7,2	56 4,8	413 34,0
$\text{NH}_4^+$ , $\text{мг}/\text{дм}^3$	0,09	0,8	0,7	0,1
$\text{Cl}^-$ , $\frac{\text{мг}/\text{дм}^3}{\text{мг} - \text{экв}}$	3659 103,22	711 20,05	251 7,08	2997 84,54
$\text{SO}_4^{2-}$ , $\frac{\text{мг}/\text{дм}^3}{\text{мг} - \text{экв}}$	2199 45,78	788 16,4	163 3,4	2472 51,46
$\text{HCO}_3^-$ , $\frac{\text{мг}/\text{дм}^3}{\text{мг} - \text{экв}}$	238 39	183 3,0	406 6,65	143 2,35
$\text{NO}_3^-$ , $\text{мг}/\text{дм}^3$	<2,2	<2,2	<2,2	248,2 4,0
$\text{NO}_2^-$ , $\text{мг}/\text{дм}^3$	0,09	0,05	0,05	<0,01
$\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{мг}/\text{дм}^3$	<3	<3	<3	<3
Жесткость, $\frac{\text{мг}/\text{дм}^3}{\text{мг} - \text{экв}}$				
общая	64,0			
карбонатная	3,9	9,0	6,4	64,0
постоянная	60,1	3,0	6,4	2,35
	6,0	-	-	61,65
Сухой остаток, $\text{мг}/\text{дм}^3$	9022	2417	963	8609
$\Sigma$ мин. веществ, $\text{мг}/\text{дм}^3$	9141	2508	1166	8680
$\text{Sr}$ , $\text{мг}/\text{дм}^3$	9,5			
$\text{Pb}$ , $\text{мг}/\text{дм}^3$	0,11	0,03	0,13	0,32
$\text{Zn}$ , $\text{мг}/\text{дм}^3$	0,3			

Cr, мг/дм <sup>3</sup>	<0,05			
Mn, мг/дм <sup>3</sup>	1,04	0,108	5,14	9,56
Cd, мг/дм <sup>3</sup>	0,0044			

Согласно вариантам проработки проекта строительства ферромарганцевого производства в пос. Жайрем в 2002 г., ЗАО КазНИПИИТЭС «Энергия» была подготовлена схема внешнего электроснабжения ЖГОКа, согласно которой при увеличении энергообеспечения ГОКа потребуются дополнительные инвестиции не только в реконструкцию внутренних электросетей, но также и затраты на реконструкцию отдельных элементов ПС, принадлежащих КЕГОК и Жезказганскому РЭК.

В случае дополнительного строительства в пос. Жайрем двух металлургических заводов по производству свинца и цинка, энергопотребление возрастает на 50-60 МВт, что потребует строительства дополнительных ВЛ-220 кВ, новой понизительной ПС и реконструкции существующих подстанций каскада до источников электроэнергии.

#### Список литературы

1. Технический проект строительства обогатительной фабрики на 4 млн тонн руды в год.  
- Алма-Ата. Казмеханобр, 1986.

Получено 07.07.10

---

УДК 622.234:622.251(075)

**Т.М. Кумыкова, В.Х. Кумыков**  
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБ ШАХТНОЙ ПНЕВМОСЕТИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В результате анализа состояния теории и практики эксплуатации пневмоэнергокомплекса подземного рудника выявлено отсутствие данных, характеризующих гидравлические закономерности в полимерных трубах применительно к технике снабжения сжатым воздухом потребителей с пневмоприводом. Выявление и учет этих закономерностей при проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводов даст возможность улучшить работу последних.

В результате изучения современного состояния вопроса о гидравлическом расчете труб применительно к шахтным пневмосетям автор поставил перед собой цель: сопоставить основные гидравлические закономерности турбулентного потока сжатого воздуха в трубах из традиционных материалов (стали) и относительно новых перспективных материалов (полимеров) [1].

Объективная оценка гидравлических характеристик труб и надежные рекомендации по их расчету могут быть даны лишь в результате исследований пропускной способности труб, увязанной с характеристикой их внутренней поверхности, которая определяется как материалом и способом изготовления труб, так и продолжительностью их эксплуатации.

Разработанная математическая модель движения сжатого воздуха на участке шахтной пневмосети позволила установить взаимосвязь основных параметров сжатого воздуха

(давления, скорости движения, расхода) с геометрическими параметрами трубопровода, такими, как площадь поперечного сечения трубы, а также выявить влияние коэффициента гидравлических сопротивлений на параметры сети в зависимости от относительной шероховатости внутренней поверхности труб.

На основе математической модели, анализа существующих методов расчета шахтных пневматических сетей и результатов обследования пневмосетей Тишинского (г. Риддер) и Иртышского (п. Глубокое) рудников в целях их оптимизации разработана методика гидравлического расчета труб шахтной пневмосети из различных материалов.

Основой предложенной методики послужили теоретические предпосылки и практические разработки известных ученых в области оптимизации гидро- и пневмосетей.

При этом устанавливаются значения трех основных характеристик:

- возможные потери давления;
- пропускная способность труб заданного диаметра при известной разности давлений;
- диаметр труб, обеспечивающий заданный расход воздуха.

Для вычисления значений указанных величин необходимо установить коэффициент гидравлического трения  $\lambda$ , который зависит от двух безразмерных параметров: числа Рейнольдса и относительной шероховатости трубопровода  $\varepsilon = k_s / D$ .

Известно множество формул для определения коэффициента гидравлического сопротивления. Все они являются эмпирическими и полуэмпирическими, полученными на основе обработки результатов экспериментов. При расчетах рудничных пневмосетей из стальных трубопроводов хорошо зарекомендовала себя зависимость

$$\lambda = \frac{0,016}{D^{0,3}}. \quad (1)$$

Достоверность результатов, полученных с применением формулы (1), подтверждается практическими данными. Поэтому для определения гидравлических сопротивлений в металлическом трубопроводе воспользуемся ею как наиболее простой и наилучшим образом отвечающей современному уровню теории турбулентного движения и опытным данным в шахтных воздухопроводах.

М.М. Сапожниковым были проведены исследования турбулентного движения в трубах из различных материалов, в частности полимерных, для систем водоснабжения [2]. Эксперименты подтвердили выводы опытов Никурадзе [3], что при уменьшении относительной шероховатости увеличение коэффициента гидравлического сопротивления замедляется и даже падает при очень малых значениях относительной шероховатости, т.е. коэффициент гидравлического трения полимерных труб практически соответствует  $\lambda$  для гладких труб и его значения изменяются по уравнению

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (2)$$

Установим закономерности изменения коэффициента Дарси полимерных труб на основе этой аналитической зависимости применительно к условиям шахтной пневмосети.

Число Рейнольдса зависит от кинематической вязкости воздуха, представляющей собой отношение динамического коэффициента вязкости  $\mu$  к плотности вещества (в данном случае к средней плотности воздуха  $\rho_{cp}$  на участке трубопровода).

Динамический коэффициент вязкости почти не зависит от давления, но на него большое влияние оказывает изменение температуры [4].

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{T_{cp} + C} \cdot \left( \frac{T_{cp}}{273} \right)^{3/2}, \quad (3)$$

где  $\mu_0 = 1,71 \cdot 10^{-5}$  Па·с - коэффициент вязкости воздуха при  $T = 273 K (0^{\circ} C)$ ;

$C = 117$  – постоянная Сатерленда;

$T_{cp}$  – средняя температура воздуха на участке трубопровода  $T_{cp} = 293 K (20^{\circ} C)$ .

$$\mu = 1,71 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{273 + 117}{293 + 117} \cdot \left( \frac{293}{273} \right)^{3/2} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Средняя скорость потока по отношению к одним точкам поперечного сечения трубы будет больше, к другим – меньше. Из этого следует, что средняя скорость потока есть частное от деления расхода потока на площадь поперечного его сечения (живого сечения трубы).

Тогда скорость движения воздуха  $v$  (м/с)

$$v = \frac{4 \cdot Q_{cж}}{\pi \cdot D^2}, \quad (4)$$

где  $Q_{cж}$  – объемный расход сжатого воздуха по участку трубопровода,  $m^3/s$ .

Для приведения величины  $Q_{cж}$  к объемному расходу свободного воздуха воспользуемся зависимостью

$$Q_{cж} = \frac{\rho_0}{\rho_{cp}} \cdot Q, \quad (5)$$

где  $\rho_0 = 1,293$  – плотность воздуха при нормальных условиях,  $kg/m^3$ ;

$Q$  – объемный расход воздуха при нормальных условиях,  $m^3/s$  (так называемый расход свободного воздуха).

Таким образом, число Рейнольдса для воздуха в шахтной пневмосети определится из выражения

$$Re = 91507 \frac{Q}{D}.$$

Тогда из зависимости (2) коэффициент гидравлического сопротивления для полимерных труб  $\lambda_n$

$$\lambda_n = 0,018 \cdot 4 \sqrt{\frac{D}{Q}}, \quad (6)$$

а для металлических труб коэффициент Дарси  $\lambda_m$  определяется зависимостью (1).

Установив значения коэффициента гидравлического трения для металлических и полимерных труб, рассчитаем потери давления в трубах, изготовленных из этих материалов.

Для решения поставленной задачи воспользуемся формулой потерь напора  $\Delta P$  (МПа) в воздухопроводных сетях, преобразовав ее на основе приведенных ранее зависимостей

$$\Delta P = \frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda \cdot \ell \cdot \rho_0^2 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot \rho_{cp} \cdot D^5}, \quad (7)$$

средняя плотность сжатого воздуха на участке с достаточной степенью точности может быть определена как

$$\rho_{cp} = \frac{P_n + P_k + 2P_a}{2P_a} \cdot \rho_0, \quad (8)$$

где  $P_a$  - атмосферное давление, МПа ( $P_a = 101325$  Па  $\approx 0,1$  МПа);

$P_h$  – избыточное давление сжатого воздуха в начале участка, МПа;

$P_k$  – избыточное давление сжатого воздуха в конце участка, МПа.

Подставив (8) в (7), получим

$$\Delta P = \frac{16 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda \cdot \ell \cdot \rho_0 \cdot Q^2 \cdot P_a}{\pi^2 \cdot D^5 \cdot (P_h + P_k + 2P_a)}, \quad (9)$$

Подставив (1) в (9), получим потери давления в металлическом трубопроводе

$$\Delta P = \frac{0,256 \cdot 10^{-6} \cdot \ell \cdot \rho_0 \cdot Q^2 \cdot P_a}{\pi^2 \cdot D^{5,3} \cdot (P_h + P_k + 2P_a)}. \quad (10)$$

Подставив (6) в (9), получим потери давления в полимерном трубопроводе

$$\Delta P = \frac{0,288 \cdot 10^{-6} \cdot \ell \cdot \rho_0 \cdot Q^{1,75} \cdot P_a}{\pi^2 \cdot D^{4,75} \cdot (P_h + P_k + 2P_a)}. \quad (11)$$

При применении труб из любых материалов необходимо решать две задачи:

– задача синтеза (проектирования) рудничной пневматической системы;

– задача анализа режима работы рудничной пневматической системы.

В первом случае необходимо определить диаметры участков пневмосети при заданных расходах по участкам сети и давлениям в узловых точках.

В задачу анализа входит определение потерь давления на участках сети при заданных расходах воздуха и диаметрах трубопроводов.

При анализе режима работы рудничных пневматических сетей определяют обычно давление сжатого воздуха в начале участка. Для этого необходимо определить диаметр участка, расход сжатого воздуха на нем и давление в конце участка пневмосети.

Подставив постоянные величины, из (10) получим зависимости, позволяющие установить диаметры труб участков пневмосети из металлических труб

$$D_m = \left( \frac{3,35 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^2}{(P_h + 0,1)^2 - (P_k + 0,1)^2} \right)^{0,19} \quad (12)$$

и давление сжатого воздуха в начале участка пневмосети

$$P_{h_m} = \sqrt{\frac{3,35 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^2}{D^{5,3}} + (P_k + 0,1)^2} - 0,1 \quad (13)$$

Подставив постоянные величины, из (11) получим зависимости, позволяющие установить диаметры труб участков пневмосети из полимерных труб

$$D_n = \left( \frac{3,78 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^{1,75}}{(P_h + 0,1)^2 - (P_k + 0,1)^2} \right)^{0,21} \quad (14)$$

и давление сжатого воздуха в начале участка пневмосети

$$P_{h_n} = \sqrt{\frac{3,78 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^{1,75}}{D^{4,75}} + (P_k + 0,1)^2} - 0,1. \quad (15)$$

Разработанные основы методики гидравлического расчета труб шахтной пневмосети из различных материалов позволяют выявить рациональность замены применяемых традиционно стальных труб на трубы из полимерных материалов, снижающих металлоемкость пневматической сети и трудоемкость работ при ее монтаже.

Список литературы

1. Кумыкова Т.М. Некоторые закономерности движения потока воздуха в пневмосети подземных рудников из различных материалов // Проблемы комплексного освоения рудных и нерудных месторождений Восточно-Казахстанского региона: Материалы I Междунар. НТК (15-16 мая 2001 г.). - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2001.- С. 124-126.
2. Саложников М.М. Гидравлические закономерности турбулентного движения в трубах из различных материалов. - М.: Стройиздат, 1964. - 191 с.
3. Бай Ши-И. Турбулентное течение жидкостей и газов / Пер. с англ. М.Г. Морозова / Под ред. К.Д. Воскресенского. - М.: Иностранная литература, 1962. - 344 с.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача: Учебник для неэнергетич. спец. втузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 479 с.: ил.

Получено 5.07.10

---

УДК 543.272.6/.68:669.536

**М. Ю. Лопаткова, Н.Г. Серба, Т.А. Свиридова**  
ВКГУ им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОДА В ЦИНКОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ**

Для металлургической и горно-перерабатывающей промышленности характерно значительное накопление твердых промышленных отходов. Это связано с тем, что длительное время происходило противопоставление процессов переработки природных ресурсов охране окружающей среды. Если первые имели приоритетное право, то вторые финансировались по остаточному принципу. Чтобы преодолеть сложившуюся диспропорцию, необходимы технологии замкнутого производства.

Потенциальные возможности техногенных ресурсов и мировая практика свидетельствуют о возможности организации производства металлов из отходов, качество которых имеет тенденцию сближения с качеством природного сырья.

Клинкеры, отходы цинкового производства являются типичным примером техногенного сырья. В настоящее время скопилось большое количество отходов данного вида, что создает огромное количество проблем как экологического, так и технологического характера. Именно поэтому актуальность данного направления не вызывает сомнений.

Проблема уменьшения затрат на работы, связанные с образованием и размещением отходов производства, является актуальной и решается двумя основными путями: сокращением объемов образования отходов за счет внедрения оптимальных технологических решений и увеличением объемов вторичного использования отходов.

Требования современного состояния рынка металлургической промышленности объясняют необходимость поиска путей использования современных, не менее точных, чем классические, методов анализа углерода в соединениях цинка.

Объектом исследования являются цинковые клинкеры.

Предмет исследования – сравнение методик определения углерода в цинковых клинкерах.

Цель работы – изучение современного состояния методов анализа углерода в соединениях цинка. Предложение использования экспрессных методов определения углерода в соединениях цинка.

Для решения этой проблемы ставились следующие задачи:

- 1) установить возможности определения массовой доли углерода в цинковых клинкерах с помощью газоанализаторов ELTRA CS-2000 и Vario EL III;
- 2) изучить точность (правильность и прецизионность) использованных методик анализа;

3) оценить метрологические характеристики использованных методик – показатели прецизионности в виде среднеквадратичных отклонений повторяемости и воспроизводимости;

4) найти показатели прецизионности использованных методик в виде пределов (допускаемых расхождений) повторяемости и воспроизводимости;

5) оценить правильность используемых методик сравнением с контрольной методикой;

6) произвести сравнение используемых методик по времени анализа.

Научная новизна: выполненное исследование вносит вклад в решение актуальной научной проблемы об утилизации твердых промышленных отходов.

Практическая значимость: переработка отходов металлургического производства решает проблему существования производства и окружающей среды. Учитываются не только технологические и экономические, но также экологические и социальные приоритеты.

Исследование было выполнено на двух газоанализаторах - ELTRA CS-2000 и Vario EL III, дифрактометре D8 Advance, контрольной методикой являлся гравиметрический метод.

Одной из стадий гидрометаллургического производства цинка является вельцевание.

Продуктами вельцевания являются вельц-окись и медистый клинкер. Медистый клинкер содержит 3-4 % меди и 30-35 % железа. Вельц-окись направляется на выщелачивание, а клинкер отгружается на медные предприятия [1].

Клинкер складируется в специальных отвалах, занимает огромные площади, загрязняет воздушную и водную среду, которая могла бы использоваться сельским хозяйством.

Несмотря на всю остроту и актуальность проблемы, до сих пор отсутствует современная эффективная, экономически целесообразная технология наиболее полного извлечения металлов из цинкового клинкера.

До последнего времени клинкер складировался на отвале, сейчас разработана технология его переработки. После магнитной сепарации получают железосодержащий и углеродсодержащий концентраты. В частности в углеродсодержащем концентрате определяют содержание углерода с последующим его использованием в качестве топлива или частичной замены топлива на всех площадках ТОО «Казцинк». В будущем планируется использовать извлеченный углерод в качестве восстановителя в медном производстве.

Начиная с 2005 г. на ТОО «Казцинк» ведется переработка текущего клинкера и частично лежалого клинкера с существующего отвала.

По результатам предварительных анализов, проведенных сотрудниками аналитической лаборатории ТОО «Казцинк», содержание углерода в цинковых клинкерах колеблется в широких пределах. Нами был выбран диапазон содержания углерода в цинковых клинкерах от 50 до 60 %.

Принцип измерения на газоанализаторе ELTRA CS-2000 основан на способности различных газов поглощать инфракрасное излучение. Каждый из газов поглощает определенные характерные спектральные длины волны инфракрасного излучения [2].

Таблица 1  
Оценка показателя повторяемости и предела повторяемости,  
газоанализатор ELTRA CS 2000

№ измерения	$X_{ml1}$	$X_{ml2}$	$X_{ml}$	$S^2_{ml}$
1	50,40	50,50	50,45	0,0050
2	50,36	51,45	50,91	0,5940
3	51,04	50,34	50,69	0,2450

4	51,09	51,67	51,38	0,1682
5	51,17	52,00	51,59	0,3445
6	51,69	53,92	52,81	2,4865
7	52,30	51,23	51,77	0,5724
8	52,80	53,01	52,91	0,0221
9	52,90	52,10	52,50	0,3200
10	53,05	53,00	53,03	0,0012
	$\sum S_{ml}^2$	19,3918		
	$S_m^2$	0,6464		
	$S_{rm}$	0,80		
	$G_{m(max)}$	0,1282	$\langle G_{табл}$	=0,2929
	$\sigma_{rm}$	0,80		
	$r_m$	2,23		

Таблица 2

*Оценка показателя воспроизводимости и предела воспроизводимости, газоанализатор ELTRA CS 2000*

№ измерения	$X_{ml1}^c$	$X_{ml2}^c$	$X_{ml}^c$	$\Theta_{ml}$	$\Theta_{ml} - \Theta_m$	$(\Theta_{ml} - \Theta_m)^2$
1	51,34	50,04	50,87	-0,42	0,59	0,3505
2	51,76	51,04	51,40	-0,49	0,52	0,2673
3	52,09	51,17	51,63	-0,94	0,07	0,0052
4	51,87	52,30	52,09	-0,70	0,31	0,0942
5	52,56	52,90	52,73	-1,15	-0,13	0,0177
6	52,56	53,20	52,88	-0,08	0,94	0,8780
7	52,00	53,80	52,90	-1,14	-0,12	0,0151
8	53,30	54,70	54,00	-1,10	-0,08	0,0069
9	53,60	55,20	54,40	-1,90	-0,89	0,7885
10	54,07	56,40	55,24	-2,21	-1,20	1,4352
	$\sum \Theta_{ml}$	-10,12				
	$\Theta_m$	-1,01				
	$S^c$	0,65				
	$\sigma_{cm}$	0,23				
	$\Delta_{cm}$	0,45				
	$t_m$	1,48	$\langle t_{табл}$	=2,26		
	$\Delta_{m m}$	<b>0,20</b>				

Таблица 3

*Оценка показателя правильности методики анализа, газоанализатор ELTRA CS 2000*

№ измерения	$X_{ml1}^c$	$X_{ml2}^c$	$X_{ml}^c$	$\Theta_{ml}$	$\Theta_{ml} - \Theta_m$	$(\Theta_{ml} - \Theta_m)^2$
1	51,34	50,04	50,87	-0,42	0,59	0,3505
2	51,76	51,04	51,40	-0,49	0,52	0,2673
3	52,09	51,17	51,63	-0,94	0,07	0,0052
4	51,87	52,30	52,09	-0,70	0,31	0,0942
5	52,56	52,90	52,73	-1,15	-0,13	0,0177
6	52,56	53,20	52,88	-0,08	0,94	0,8780
7	52,00	53,80	52,90	-1,14	-0,12	0,0151
8	53,30	54,70	54,00	-1,10	-0,08	0,0069
9	53,60	55,20	54,40	-1,90	-0,89	0,7885

10	54,07	56,40	55,24	-2,21	-1,20	1,4352
	$\sum \Theta_{ml}$	-10,12				
	$\Theta_m$	-1,01				
	$S^c$	0,65				
	$\sigma_{cm}$	0,23				
	$\Delta_{cm}$	0,45				
	$t_m$	1,48	<табл	=2,26		
	$\Delta_{mm}$	0,20				

*Газоанализатор Vario EL III.* Процесс анализа состоит из серии последовательных шагов: каталитического сжигания (восстановления), гомогенизации продуктов, разделения продуктов и их детектирование на основе теплопроводности.

Разделение продуктов горения (восстановления) производится методом вытеснительной хроматографии при помощи специальных абсорбционных колонн, и определяются поочередно один за другим с помощью высокостабильного детектора теплопроводности [3].

Таблица 4  
*Оценка показателя повторяемости и предела повторяемости, газоанализатор Vario EL III*

№ измерения	$X_{ml1}$	$X_{ml2}$	$X_{ml}$	$S^2_{ml}$
1	50,42	51,17	50,80	0,2813
2	50,33	50,99	50,66	0,2178
3	51,00	51,76	51,38	0,2888
4	51,00	51,65	51,33	0,2112
5	51,21	51,87	51,54	0,2178
6	51,70	52,33	52,02	0,1984
7	52,33	52,89	52,61	0,1568
8	52,76	53,34	53,05	0,1682
9	52,98	53,56	53,27	0,1682
10	53,10	53,76	53,43	0,2178
	$\sum S^2_{ml}$	5,0114		
	$S^2_m$	0,1670		
	$S_{rm}$	0,41		
	$G_{m(max)}$	0,06771	<G <sub>табл</sub>	=0,2929
	$\sigma_{rm}$	0,41		
	$r_m$	1,13		

Таблица 5  
*Оценка показателя воспроизводимости и предела воспроизводимости, газоанализатор Vario EL III*

№ измерения	$X_{ml1}$	$X_{ml2}$	$X_{ml}$	$S^2_{ml}$
1	50,66	51,46	51,06	0,0351
2	50,78	51,23	51,01	0,0595
3	51,25	52,09	51,67	0,0421
4	51,87	52,89	52,38	0,5565

5	51,45	52,76	52,11	0,1596
6	51,66	50,09	50,88	0,6498
7	52,90	53,79	53,35	0,2701
8	53,00	54,00	53,50	0,1012
9	53,45	54,34	53,90	0,1953
10	53,65	53,99	53,82	0,0760
	$\sum S^2_{ml}$	6,1032		
	$S^2_m$	0,2105		
	$S_{Rm}$	0,46		
	$G_{m(max)}$	0,1994	$\langle G_{\text{табл}}$	=0,3013
	$\sigma_{Rm}$	0,46		
	$R_m$	1,27		
	$\Delta_m$	0,28		

Таблица 6

Оценка показателя правильности методики анализа, газоанализатор Vario EL III

№ измерения	$X^c_{ml1}$	$X^c_{ml2}$	$X^c_{ml}$	$\Theta_{ml}$	$\Theta_{ml} - \Theta_m$	$(\Theta_{ml} - \Theta_m)^2$
1	50,34	50,49	50,87	-0,07	0,89	0,7894
2	51,66	51,04	51,35	-0,69	0,27	0,0748
3	52,49	51,87	52,18	-0,80	0,16	0,0267
4	52,87	52,30	52,59	-1,26	-0,30	0,0879
5	52,56	53,76	53,16	-1,62	-0,66	0,4310
6	52,86	53,20	53,03	-1,02	-0,05	0,0027
7	52,00	53,80	52,90	-0,29	0,67	0,4536
8	53,30	54,70	54,00	-0,95	0,01	0,0002
9	53,60	55,20	54,40	-1,13	-0,17	0,0277
10	54,07	56,40	55,24	-1,81	-0,84	0,7081
	$\sum \Theta_{ml}$	-9,64				
	$\Theta_m$	-0,96				
	$S^c$	0,54				
	$\sigma_{cm}$	0,20				
	$\Delta_{cm}$	0,39				
	$t_m$	1,48	$\langle t_{\text{табл}}$	=2,26		
	$\Delta_{mm}$	<b>0,30</b>				

Результаты, полученные на дифрактометре D8 Advance, отличаются от результатов, полученных другими методами. Они занижены. Причина в том, что для анализа на данном приборе пробы должны иметь кристаллическую структуру. Так как мы получили заниженные результаты, можно сделать вывод, что в наших пробах углерод был в кристаллической и аморфной форме и, соответственно, прибор зарегистрировал только тот углерод, который был в кристаллической форме.

По этой причине при расчете метрологических характеристик и сравнении используемых методик данные, полученные на дифрактометре, не учитывались.

Таблица 7

Результаты, полученные при выполнении измерений массовых долей углерода в цинковых клинкерах методом порошковой дифракции на дифрактометре D8 Advance для поддиапазона массовых долей углерода от 50 до 60 %

№ измерения	Массовая концентрация углерода, %
1	30,80
2	35,66
3	38,38
4	41,33
5	41,54
6	46,02
7	49,61
8	33,05
9	38,27
10	30,43

При оценке правильности в пределах всего диапазона содержаний измеряемого компонента был использован метод с применением методики сравнения.

В качестве методики сравнения был применен гравиметрический метод определения углерода в цинковых клинкерах.

В результате проведенных исследований:

- установлена принципиальная возможность определения массовой доли углерода в цинковых клинкерах с помощью газоанализаторов ELTRA CS-2000 и Vario EL III;

- установлена причина получения заниженных результатов анализа на порошковом дифрактометре D8 Advance, сделан вывод, что данный прибор не подходит для определения углерода в цинковых клинкерах;

- изучена точность (правильность и прецизионность) использованных методик анализа;

- оценены метрологические характеристики использованных методик – показатели прецизионности в виде среднеквадратичных отклонений повторяемости и воспроизводимости;

- найдены показатели прецизионности использованных методик в виде пределов (допускаемых расхождений) повторяемости и воспроизводимости;

- оценена правильность используемых методик сравнением с контрольной методикой, которая составила для прибора ELTRA CS-2000 0,2 долей единицы, для прибора Vario EL III – 0,3 долей единицы;

- произведено сравнение используемых методик по времени анализа, которое составило для гравиметрического анализа 8 часов, для прибора ELTRA CS-2000 – 1 минута, для прибора Vario EL III – 6 минут. Следовательно, можно сделать вывод, что гравиметрический метод анализа целесообразно заменить физико-химическими методами, с применением современных приборов, в целях достижения экспрессности анализа.

#### Список литературы

1. <http://www.zinc.ru/?id=10>.
2. Инструкция по эксплуатации CS-2000 для приборов с серийными номерами от 0767 990519 и выше. Copyright 2006 by ELTRA GmbH Germany – September 2006 – Operation Manual CS-2000.
3. Vario EL III CHNOS Analizator elementarny. Instrukcja obsługi. Copyright by Elementar Analysensysteme GmbH.

Получено 8.07.10

**А.О. Теут, Г.Н. Ванюшкина, Д.В. Куимов, О.Е. Затеева, С.В. Парунин**  
ДГП «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск

**ВОЗМОЖНЫЙ СПОСОБ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ К ИЗВЛЕЧЕНИЮ ИЗ НЕГО ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

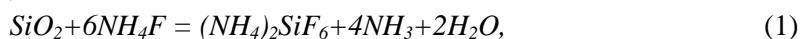
Ежегодно растущие отвалы техногенных отходов представляют реальную экологическую опасность. В то же время складированные отходы являются потенциальными источниками добычи оставшихся в них ценных компонентов в будущем, когда уровень технологического развития позволит осуществлять их рентабельную переработку. Уже сейчас многие техногенные месторождения являются экономически привлекательными, поскольку не требуют таких больших расходов на добычу, как рудники и шахты, а содержание металлов в них приближается к концентрациям металлов в бедном рудном сырье осваиваемых природных месторождений, а также потому, что при увеличении платежей за урон окружающей среде использование земель для хранения промышленных отходов слишком расточительно.

К одним из наиболее распространенных в Казахстане видов техногенных отходов относятся металлургические шлаки. Так как кварцевый песок является самым широко применяемым в цветной металлургии флюсом, то шлаки, образующиеся при выплавке свинца, меди, многих других металлов, имеют силикатную основу и представляют собой смесь остекленевших (расплавленных в окиси кремния) оксидов металлов, часто в значительных количествах, извлечь которые традиционными способами обогащения бывает практически невозможно. Избирательное удаление кварца из таких материалов позволяет не только высвободить минералы ценных металлов для последующей флотации, но и увеличить долю полезных компонентов в сырье, что повышает степень его привлекательности для дальнейшей переработки.

Известно, что из минеральных кислот растворять оксид кремния способна только плавиковая, однако ее практическое применение ограничено как высокой стоимостью, так и коррозионной агрессивностью. Экспериментальными работами [1] было установлено, что наиболее удобными реагентами для вскрытия силикатных минералов являются фториды аммония.

В настоящей статье приведены результаты испытания технологии селективного удаления диоксида кремния из шлака Карсакпайского медеплавильного завода, химический состав которого представлен в табл. 1, при спекании с бифторидом аммония.

Принципиальная схема технологии обескремнивания шлака приведена на рис.1. В процессе спекания шлака с фторидом аммония при температуре около 350 °C, кремний улетучивается из материала в составе газообразного гексафторосиликата аммония, образующегося по реакции:



и поглощаемого аммиачной водой. Гидролиз конденсированного  $(NH_4)_2SiF_6$  позволяет получить (регенерировать) бифторид аммония и диоксид кремния:

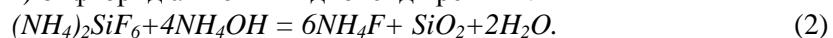


Таблица 1  
Химический состав исходного шлака

Компонент	Содержание, %, г/т	Компонент	Содержание, %
-----------	--------------------	-----------	---------------

Zn	0,52	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,72
Pb	0,37	CaO	4,51
Cu	0,84	MgO	2,06
Au	< 0,04	SiO <sub>2</sub>	49,22
Ag	5,9	BaO	17,37
Fe	11,9	In	0,0005
S <sub>пир.</sub>	0,95	Cd	0,002
Sb	0,02	Bi	< 0,002
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,31	Tl	< 0,0004

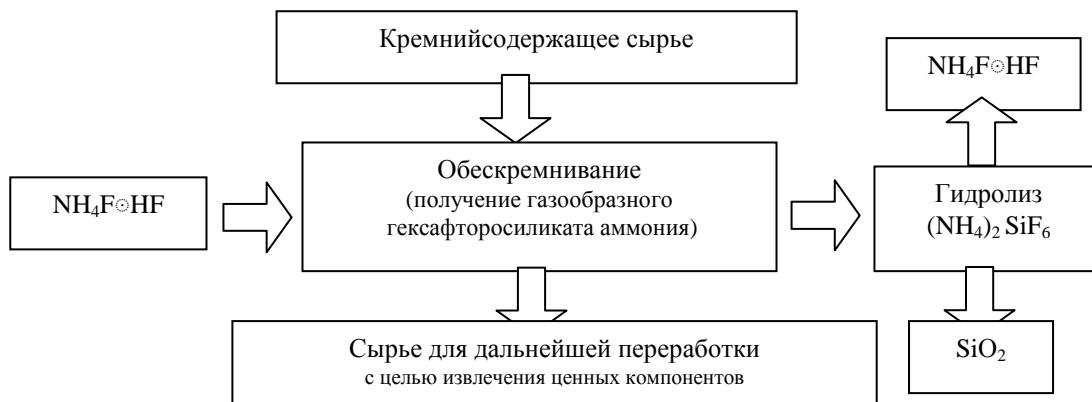


Рисунок 1 – Принципиальная схема обескремнивания сырья

Эта несложная технологическая схема положена в основу лабораторной установки (рис. 2) для проведения экспериментов, предпринятых с целью изучения физико-химических закономерностей удаления кремния из техногенных отходов [2]. Схема цепи аппаратов установки изображена на рис. 3. Лабораторная установка состоит из трубчатой печи, конденсатора и поглотителя газов, герметично соединенных друг с другом газоходами. Керамическая (алундовая, не вступающая, в отличие от кварцевого стекла, в реакцию с фторидами) труба нагревается электрической спиралью, температура в печи контролируется термопарой ХК. Шихта шлака с фторидом аммония загружается в печь в керамической лодочке, после чего загрузочное отверстие герметично закупоривается глухой керамической пробкой. Манометрический режим установки поддерживается при помощи вакуумного насоса. Разрежение контролируется вакуумметром. Конденсатор для сбора гексафторосиликата аммония представляет собой обогреваемый стакан из молибденового стекла, исключающий попадание (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> в обескремненный продукт. После конденсатора смонтированы два стеклянных поглотителя для улавливания газообразного аммиака водой. Керамические и кварцевые трубы, служащие для транспорта газа между элементами установки, также подогреваются электрическими спиралью до температуры выше 320 °C во избежание преждевременной конденсации гексафторосиликата аммония на их стенках.



Рисунок 2 – Лабораторная установка для спекания шлака с фторидом аммония

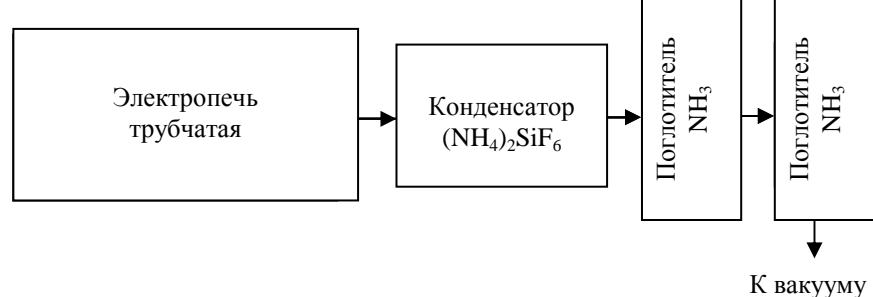


Рисунок 3 – Блок-схема лабораторной установки для процесса обескремнивания

Объектом исследования являлись скорость и степень удаления оксида кремния из шлака при его спекании с фторирующим реагентом. Изучалась зависимость кинетических коэффициентов обескремнивания шлака от количества фторида аммония в шихте и температуры процесса. Степень удаления кварца из техногенного продукта оценивалась по остаточному содержанию  $\text{SiO}_2$  в спеке.

Результаты исследований представлены в табл. 2 и на рисунках 4-6.

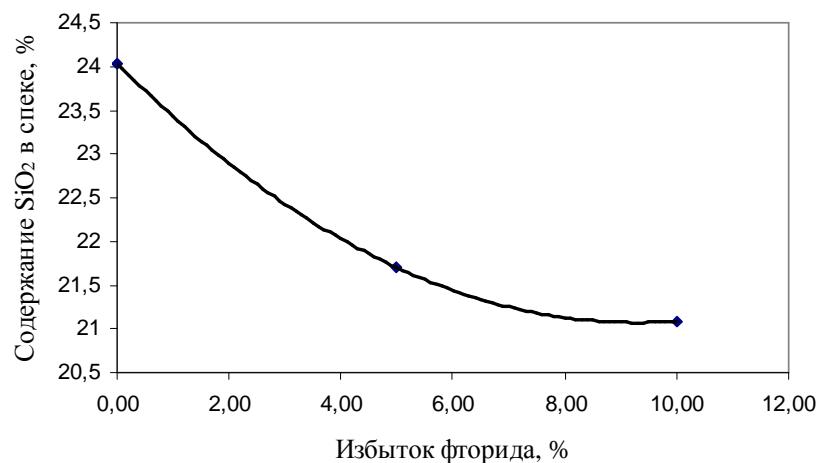


Рисунок 4 – Зависимость содержания диоксида кремния в спеченном шлаке от избыточного к стехиометрии количества фторида аммония

Зависимость, изображенная на рис. 4, свидетельствует, что с ростом избыточной по отношению к стехиометрии добавки фторида аммония степень удаления диоксида кремния из шлака повышается.

Температура спекания шлака с фторидом аммония также влияет на степень выведения из него кремния. С увеличением температуры процесса фторирования степень удаления кремния из шлака, как видно на рис. 5, растет.

На основании полученных данных с использованием формальной кинетики было выведено уравнение скорости процесса обескремнивания, графическое изображение которого представлено на рис. 6.

В общем виде уравнение скорости процесса в формальной кинетике описывается как:

$$Va = da/dt = KF(a), \quad (3)$$

где  $Va$  – скорость процесса (или его стадии);  $K$  – эффективная константа скорости;  $F(a)$  – концентрационная функция.

В приближении реакций первого порядка  $F(a) = (1-a)^n = (1-a)$ , при  $n=1$ .  
Тогда  $Va = da/dt = K(1-a)$ . Эффективная константа скорости  $K$  является функцией температуры, которая записывается в виде уравнения Аррениуса:

$$K = K_0 \exp(-E/(RT)), \quad (4)$$

где  $K_0$  – константа скорости или предэкспоненциальный множитель;

$E$  – кажущаяся энергия активации процесса (или реакции);

$R$  – газовая постоянная;

$T$  – температура, °К.

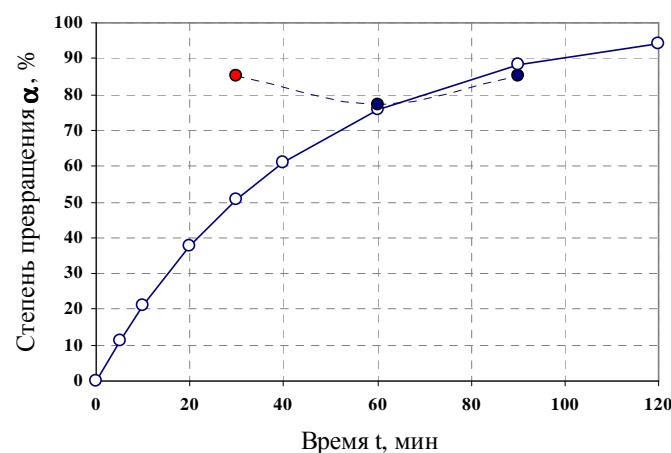


Рисунок 6 – Модельная кривая  $\alpha = f(t)$  скорости обескремнивания шлака

Сокращение уравнения скорости процесса для  $n=1$  и  $T=\text{const}$ :

$$da/dt = K(1-a)^n = K_0 \exp(-E/(RT)) \cdot (1-a)^n;$$

$$da/(1-a)^n = Kdt = K_0 \exp(-E/(RT)) dt;$$

$$\text{для } n=1: d(-\ln(1-a)) = K_0 \exp(-E/(RT)) dt;$$

$\ln(\ln(1-a)) = (\ln K_0 + \ln t) - E/R \cdot 1/T$ ,  
где часть линейного уравнения **a** -  $(\ln K_0 + \ln t)$  - const,  
**b** -  $E/R \cdot 1/T$   
для  $T=\text{const}$  (300 °C):  $-\ln(1-a) + \ln(1) = K_0 \exp(-E/(R \cdot (300+273)))$   
 $\Delta t, \ln(1) = 0$ .

Обобщив экспериментальные результаты, можно сделать вывод, что для удаления свыше 90 %  $\text{SiO}_2$  из шлака необходимо спекать его с фторидом аммония, количества которого превышает стехиометрическое не более чем на 5-7 %, в течение 2 часов при температуре не ниже 350 °C.

#### Список литературы

1. Дьяченко А.Н. Галогенаммонийная технология переработки металлургических шлаков // Цветные металлы. - 2005. - № 5-6. - С. 71-74
2. Изучение физико-химических закономерностей обескремнивания техногенного сырья в процессе спекания с галогенидами // Отчет о НИР (промежут.): 3.3.1-142-ФИ / ВНИИцветмет; Рук. Теут А.О., Ушаков Н.Н. - Усть-Каменогорск, 2009. - 32 с.

Получено 5.08.10