

лученные результаты будут полезны и другим предприятиям угольной отрасли Украины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные технологии – основа стратегии развития безопасной угледобычи/ Дубов Е.Д., Мухин П.Е., Коптиков В.П., Красик Я.Л., Синенко В.В., Курносое В.Г., Виноградов В.В. // Уголь.- 2001.- № 1.- с. 30.
2. Правила безопасности в угольных шахтах. ДНАОП 1.1.30-1.01-00. Утверждены приказом Министерства труда и социальной политики Украины от 22.08.2000 № 215.- Киев, 2000.- 240 с.
3. Решение задач рудничной вентиляции в нормальных и аварийных условиях/ Кравченко Н.М.// Уголь Украины.- 2002.- № 6.- с. 34-38.
4. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках/ Потемкин В.Я., Козлов Е.А., Кокоулин И.Е.// Киев: Техника, 1991.- 126 с.

УДК 546.72:622.324.5.004.67

В.В. Лукинов, А.Т. Колодяжный,  
Л.А. Фролова, Д. А. Суворов

### **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНОГО ГАЗА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ**

У статті розглянута можливість використання не тільки попередньо очищеного шахтного газу, але й отриманого безпосередньо при дегазації шахт. Проведено термодинамічний аналіз процесу відновлення оксидів заліза, кобальту і нікелю. Методом мінімізації повних термодинамічних потенціалів розраховані рівноважні склади процесу відновлення оксидів шахтним газом при середніх та високих температурах. Встановлено, що шахтний газ складу II можна ефективно використовувати для відновлення всіх перерахованих вище оксидів.

### **ON POSSIBILITY OF USING AN MINE GAS FOR RECOVERING THE DISPERSE OXIDIZES OF METALS**

In the article considered possibility of use not only beforehand cleaned mine gas, as well as tinned at degasification mines just. Conducted thermodynamic analysis of process of recovering the oxidizes a ferric, cobalt and nickel. Has calculated the equilibrium compositions for process of recover an oxidizes by mine under average and high temperatures by method to minimization of full thermodynamic potentials. Installed that mine gas of composition II possible effectively use for recovering all afore-mentioned oxidizes.

Газо-угольные месторождения Украины могут стать перспективным источником как угольного метана, существенно влияющим на структуру топливно-энергетического комплекса, так и других компонент шахтного газа, которые могут найти широкое применение в различных отраслях химической и металлургической промышленности. Объем извлекаемого свободного газа из песчаников в пределах сводов и антиклиналей только на северо-западной и юго-западной окраинах Донецкого угольного бассейна может превышать 240 млрд. м<sup>3</sup> [1].

Основное внимание при добыче газа на угольных месторождениях уделяется прежде всего проблеме утилизации и использования шахтного метана [2], тем не менее значительную ценность для развития технологий в химической, металлургической и в других отраслях могут играть различные компоненты

шахтного газа. Комплексное использование шахтного газа в промышленности может снизить стоимость дегазации, и в общем повысить безопасность разработки угольных месторождений.

Необходимо отметить, что применение метана в качестве энергоносителя связано с решением ряда технических задач для его использования. К ним можно отнести: очистку метана от кислорода (от 37-35% до 3-5%), разделение газовой смеси на составляющие ее компоненты ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$  и т.д. и дальнейшая очистка газа до необходимых технических норм. Все эти технические требования ведут к увеличению себестоимости шахтного метана. Вместе с тем, использование различных составляющих шахтного газа, позволяет не только решить ряд чисто практических задач химической технологии, но и сократить себестоимость добываемого шахтного метана.

Для обоснования возможности использования дешевого шахтного газа в качестве восстановительной газовой среды проведен термодинамический анализ процесса восстановления дисперсных оксидов металлов подгруппы железа. Термодинамические расчеты проводились по методу, который основывается на первом вариационном принципе химической термодинамики [3], он заключается в поиске равновесного состава из условий экстремальности характеристических функций. В качестве такой функции был выбран изобарно-изотермический потенциал, минимум которого определяет равновесие системы. Параметры системы задаются температурой  $T$  и давлением  $P$ . Расчет проводился с использованием программы «ASTRA».

На основе термодинамических расчетов определяли равновесные составы продуктов химических реакций при различных исходных составах, температуре и давлении.

В качестве исходного сырья были взяты оксиды металлов, которые используются в порошковой металлургии, при производстве катализаторов, хемосорбентов и т.д. ( $Fe_2O_3$ ,  $CoO$ ,  $NiO$ ). В качестве восстановительной атмосферы использовали два различных по химическому составу газа. Шахтный газ состава I предварительно очищен от примесей:

93%  $CH_4$ , 0,05%  $H_2$ , 1,5%  $CO_2$ , 2,2%  $N_2$ , 1%  $Ar$ , 0,2%  $C_5H_{12}$ , 0,4%  $C_4H_{10}$ , 1,5%  $C_3H_8$

В качестве второго восстановителя нами был взят шахтный газ состава II по составу близкий к газу, непосредственно выходящему из места добычи:

$He$  – 0,029%,  $H_2$  – 0%,  $CH_4$  – 35%,  $C_2H_6$  – 1,14%,  $C_3H_8$  – 0,19%,  $C_4H_{10}$  – 0,038%,  $CO$  – 0,002%,  $CO_2$  – 0,36%,  $O_2$  – 12,3%,  $N_2$  – 50,9%,  $SO_2$  – 0,0003%.

Расчет проводился в диапазоне температур 300-1100 К при давлении 0.1 МПа. В процессе расчета исследовалась возможность получения максимального количества металла не загрязненного углеродом и карбидами.

Расчет вели с учетом:  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $FeO$ ,  $CoO$ ,  $NiO$ ,  $Fe$ ,  $C$ ,  $Fe_3C$ ,  $Co$ ,  $Ni$  в конденсированной фазе и  $H$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $CH_3$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_6H_6$ ,  $CH_2O$ ,  $N_2C$ ,  $HCN$  в газовой фазе. Концентрации веществ выражались в моль/кг исследуемой системы.

Температурная зависимость равновесного состава Fe-C-N-O-H при восстановлении шахтным газом состава I представлена на рис.1. Из анализа зависимо-

сти следует, что полное восстановление оксидов железа до металла не происходит во всем интервале температур, при 700 К происходит частичное восстановление гематита до железа, а при дальнейшем повышении температуры его количество уменьшается за счет образования карбида железа. Во всем интервале температур термодинамически возможно выделение углерода.

На рис.2, 3 представлены графики зависимости равновесных составов от температуры для систем Co-C-N-O-H и Ni C-N-O-H соответственно. Из рисунка 2 видно, что полное восстановление CoO до металла не происходит, кроме того он загрязнен углеродом. Полное восстановление никеля происходит при температуре 400 К, однако он также загрязнен углеродом. Во всех трех случаях в газовой фазе содержится водяной пар, монооксид углерода, водород, азот, диоксид углерода, аммиак.

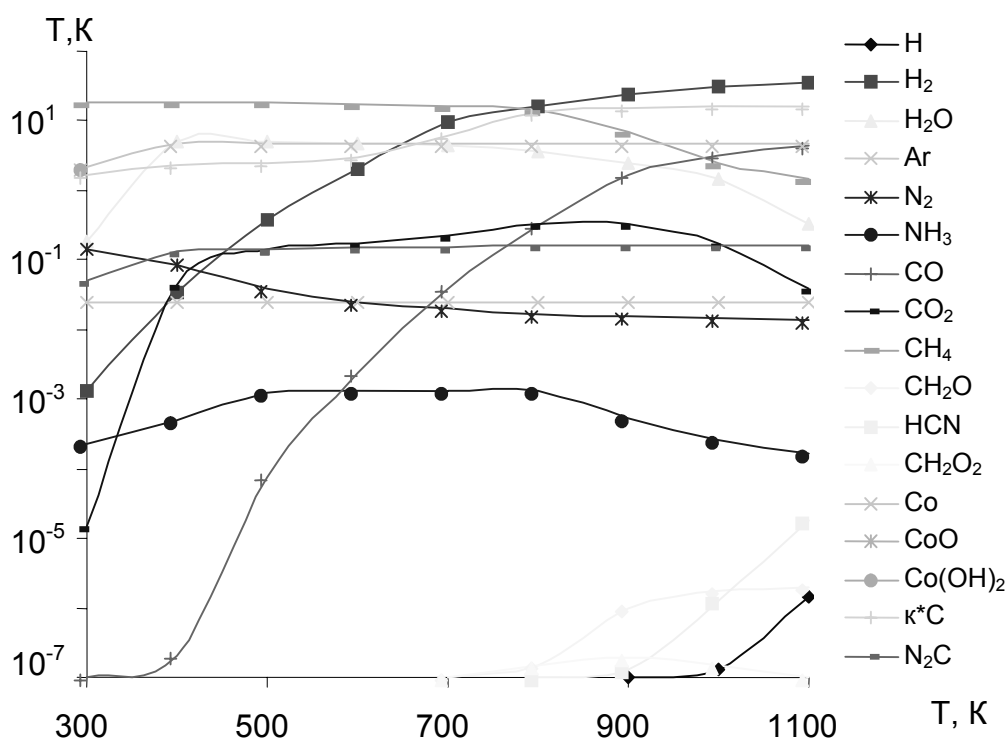


Рис.1-Зависимость равновесного состава системы Fe--C-N-O-H от температуры (газовая среда – шахтный газ состав I, давление 0,1МПа)

На рис.4 представлена зависимость равновесного состава системы Fe-C-N-O-H от температуры для процесса восстановления шахтным газом состава II.

Из рисунка видно, что полное восстановление оксидов железа происходит при 900К. Согласно рис. 5 до 400К термодинамически возможно существование гидроксида кобальта, до 500К - оксида кобальта. При температуре 600 К происходит полное восстановление до металлического кобальта. Согласно расчетам, оксид никеля полностью восстанавливается при 400К (рис. 6).

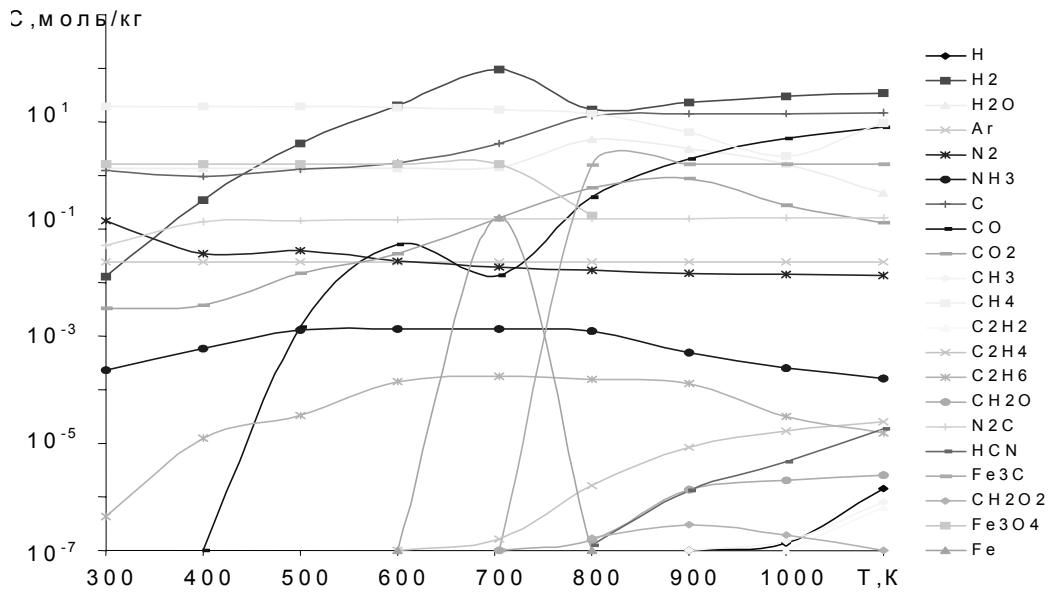


Рис. 2-Зависимость равновесного состава системы Co--C-N-O-H от температуры (газовая среда – шахтный газ состав I, давление 0,1МПа)

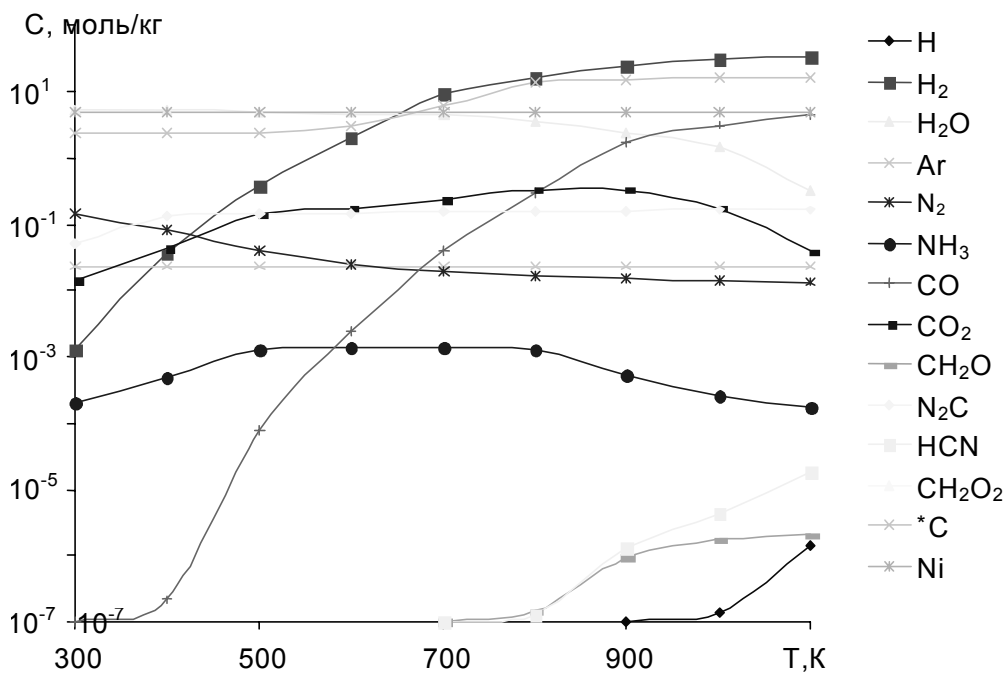


Рис. 3-Зависимость равновесного состава системы Ni-C-N-O-H от температуры (газовая среда – шахтный газ состав I, давление 0,1МПа)

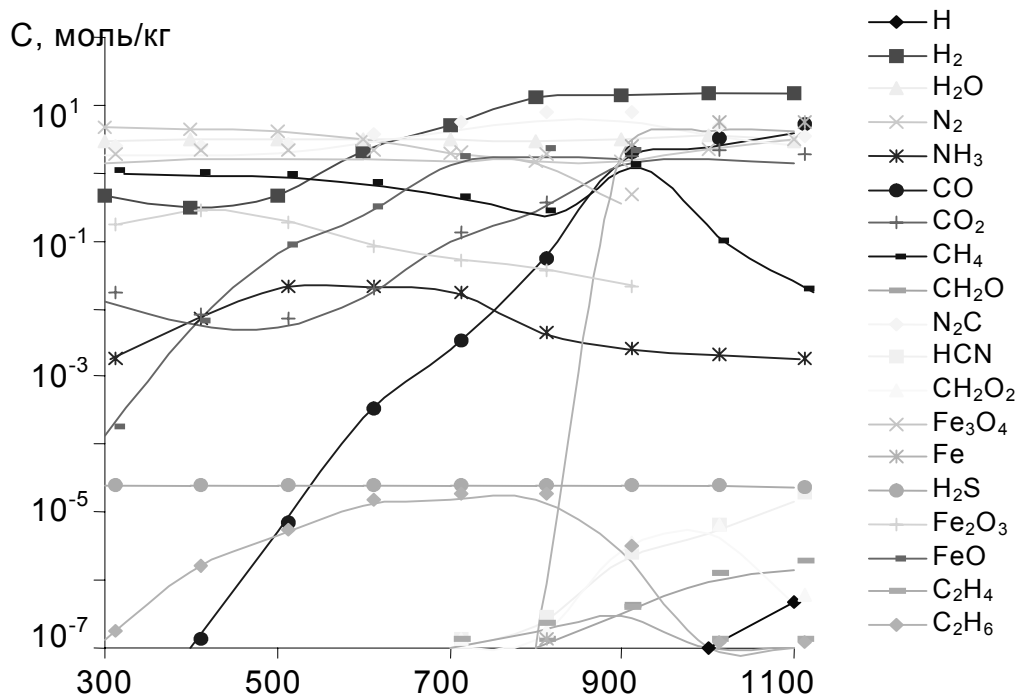


Рис.4 - Зависимость равновесного состава системы Ni-C-N-O-H от температуры (газовая среда – шахтный газ состав I, давление 0,1МПа)

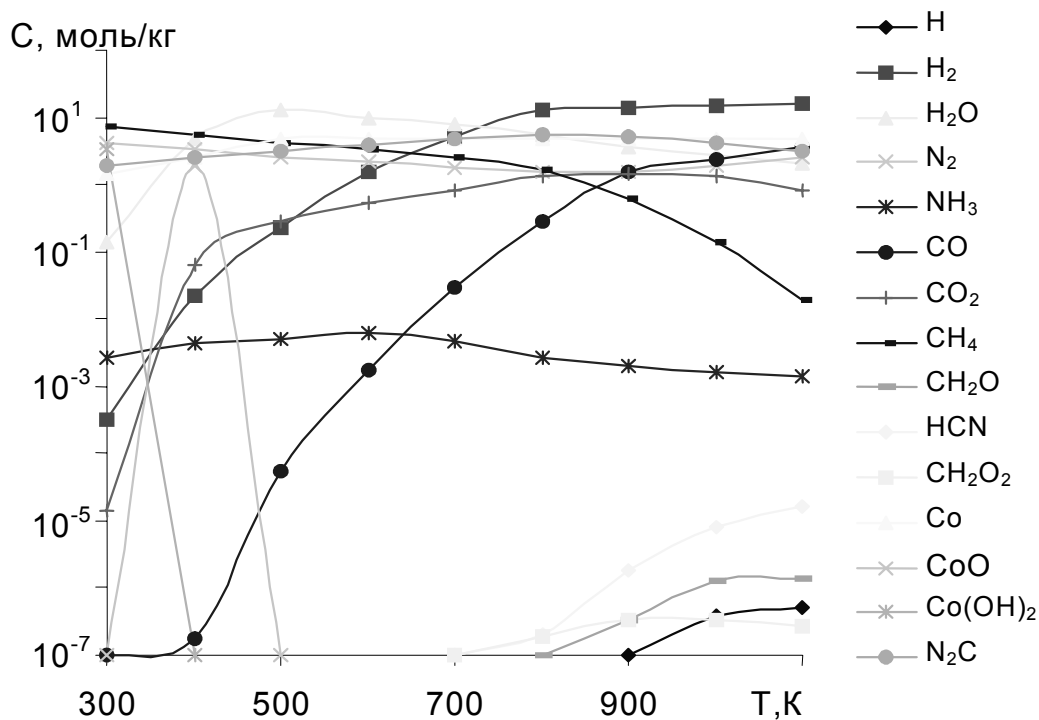


Рис.5 - Зависимость равновесного состава системы Co-C-N-O-H от температуры (газовая среда – шахтный газ состав II, давление 0,1МПа)

Таким образом, шахтный газ, непосредственно выходящий из шахты, можно использовать как для восстановления никеля и кобальта, так и для высокотем-

пературного восстановления оксидов железа без загрязнения их углеродом и карбидами металлов.

Таким образом, в результате проведенных термодинамических расчетов процесса восстановления различных оксидов металлов, было показано, что возможно использование не только предварительно очищенного шахтного газа, но и газа, непосредственно получаемого при дегазации шахт. Этот газ в данном процессе используется как восстановитель оксидов металлов. Расчеты показали, что при использовании очищенного шахтного газа полного восстановления оксида кобальта не происходит, оксиды железа частично восстанавливаются, а оксиды никеля могут быть восстановлены до металлического никеля, однако он загрязнен углеродом. При использовании же газа, непосредственно получаемого при дегазации шахт, происходит полное восстановление оксидов железа и оксидов никеля, а для оксидов кобальта этот процесс термодинамически возможен. При этом получаемый в этом процессе металл не загрязнен углеродом, что очень важно при его дальнейшем использовании.

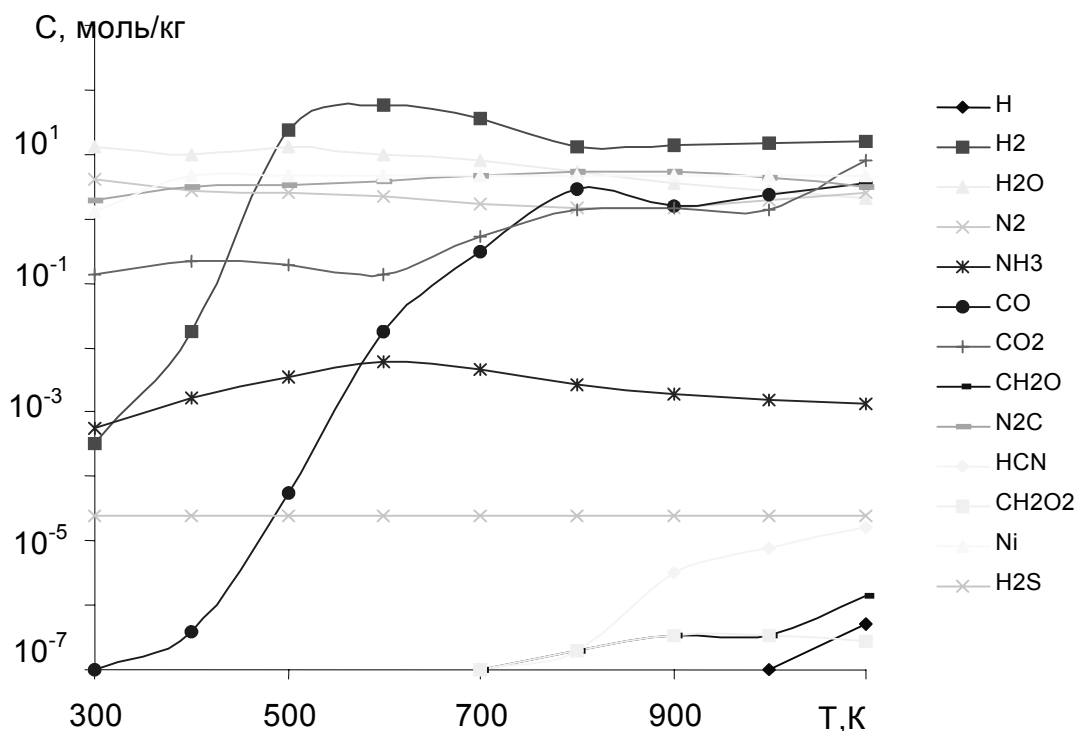


Рис. 6-Зависимость равновесного состава системы Ni-C-N-O-H от температуры (газовая среда – шахтный газ состав II, давление 0,1МПа)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванцов О.Е., Лизун С.О., Дудок И.В. Критерии оценки природной метаноносности угольных месторождений Украины //Геотехническая механика. Сб. научных трудов. – Киев-Днепропетровск, 2000. – С. 83-91.
2. Шестопалов А.В. О технологии добычи метана из угольных пластов. Сб. научных трудов Национальной горной академии Украины № 5, Проблемы аэрологии горнодобывающих предприятий. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. – С. 18-21.
3. Синярев Г.Б. Полные термодинамические функции и использование их при расчетах термодинамических систем // Изв. Вузов. Сер. транс. и энергет. Машиностроение. 1966. - № 2. – С. 99-118.