

Н.М. Табаченко, Р.Е. Дычковский, В.С. Фальштынский, В.Г. Лозинский, П.Б. Саик

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Установлена взаимосвязь между аэродинамической активностью дутьегазовых потоков, влажностью газа, тепловым режимом процесса и теплотворной способностью образовавшегося генераторного газа при скважинной подземной газификации угля.

ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Встановлений взаємозв'язок між аеродинамічною активністю дутьегазових потоків, вологістю газу, тепловим режимом процесу і теплотворною здатністю утвореного генераторного газу при свердловинній підземній газифікації вугілля.

SUBSTANTIATION OF COAL SEAMS GASIFICATION METHODS

The correlation between aerodynamic air and gas activity, gas humidity, thermal mode and calorific value of receive generator gas during borehole underground coal gasification are set.

Исследования на моделях, носивших прикладной характер, показали, что основным условием стабильного газообразования в подземных газогенераторах следует считать постоянный и равномерный подвод дутья к реакционной поверхности угля в канале газификации.

Разнообразие природных условий залегания угольных пластов, различные мощность и состав угольного пласта и различная реакционная способность углей каменно- и бурогоугольных пластов, а также неодинаковая степень устойчивости пород кровли могут в большей или меньшей степени усложнить задачу равномерного подвода дутья к угольной стенке (огневому забою), но во всех случаях успех решения этой задачи определяет качество и стабильность газообразования в подземном газогенераторе.

Поэтому понятна та решающая роль аэродинамики дутьегазовых потоков, которая позволяет обеспечить эффективные технологические показатели процесса под-

земной газификации углей (ПГУ).

К основным исходным предпосылкам, выявленным нами в процессе исследований, были отнесены следующие:

1. Процесс газообразования протекает преимущественно на поверхности угольных стенок канала газификации с диффузионным режимом горения угля, что ставит успешность газообразования в прямую зависимость от интенсивности поступления кислорода, воздуха и других реагентов (пара, диоксида углерода и др.) на реакционную угольную поверхность и успешности отвода образовавшихся газов (H_2 , O_2 , CO , CH_4) во избежание их сгорания в этом же газогенераторе, а также интенсивности перемешивания дутьегазовых масс потока в реакционной зоне газогенератора. При этом предполагается, что при подземном способе газификации угольных пластов перемешивание дутьегазовых масс по всему объему потока является единственным средством подачи кислорода на реакционную угольную поверхность в окислитель-

ную зону и диоксида углерода и паров воды в восстановительную зону.

2. В канале газификации образуются две основные зоны: окислительная и восстановительная. Взаимосвязи процессов обмена энергией в этих зонах в целом и определяют эффективность подземной газификации. В окислительной зоне происходит горение углерода и кислорода из подаваемого в подземный газогенератор дутья. В конце этой зоны в газовой смеси еще содержится свободный кислород (до 1%). Вследствие чего в этой зоне преобладают гетерогенные (взаимодействие твердой и газообразной фаз) и гомогенные (взаимодействие газа с газом) окислительные реакции с образованием физического тепла. Тепло расходуется на нагрев боковых пород, на испарение воды внутреннего и внешнего водопритоков, нагрев золы и шлаков. В результате температура образовавшихся газов увеличивается, достигая своего максимума на границе между окислительной и восстановительной зонами, где практически полностью исчезает (сгорает) свободный кислород. Горение угля здесь прекращается. По экспериментальным и опытным данным длина окислительной зоны в канале газификации составляет в среднем $(8\div 12) m$, где m – мощность пласта.

Тепло образовавшихся газов в окислительной зоне расходуется на нагрев угольных стенок канала газификации в следующей по ходу движения газового потока – восстановительной зоне. Разогретая реакционная поверхность угольного массива продуцирует эндотермические реакции взаимодействия диоксида углерода и пара с углем (углеродом) и образование горючих компонентов (CO , H_2 , CH_4). Эта особенность и является отличительной от обычного горения угля, происходящего в предыдущей зоне. По экспериментальным и опытным данным длина восстановительной зоны колеблется в пределах $(15\div 20) m$.

3. С течением времени температура в восстановительной зоне начинает сни-

жаться. При температуре 600-700 °С и ниже восстановительные реакции ($CO + C$ и $H_2O + C$) резко снижаются и уменьшаются горючие компоненты, на этой основе снижается и теплотворная способность газа (потребительские свойства).

4. Для увеличения потребительских свойств газа ПГУ нами предложен способ реверсирования дутьегозовых потоков с принудительным повышением температуры (раскалением) угольного массива в восстановительной зоне [1].

5. Подготовка подземного газогенератора состоит из вскрытия ориентированными (наклонно-горизонтальными) дутьегозовыми скважинами. В эти скважины вводят длинномерные гибкие трубопроводы с жаростойкими насадками на концах. Процесс газификации осуществляются между нагнетательной и газоотводящей скважинами. Дутьевой поток поступает в подземный газогенератор под давлением по длинномерному трубопроводу и далее в канал газификации [2].

Такая технологическая и конструктивная схема обеспечивает не только подвод дутья, но и отвод образовавшихся в генераторе газов, что предотвращает дожиг этих газов, изложенных в пункте 1 исходных предпосылок.

6. Форма и размеры каналов, образующихся в газогенераторах в процессе выгазовывания угля, могут быть самыми различными, в зависимости от устойчивости кровли на различных участках газификации, первоначальной формы сбоечных каналов, мощности угольных пластов и других условий работы генератора.

7. Обрушение кровли над выгазованным пространством носит стихийный характер; управление кровлей является сложной проблемой, решение которой не ожидается в ближайшие годы.

Из этих положений по основным вопросам ПГУ вытекает главное требование к аэродинамическим свойствам дутьегозовых потоков – сделать процесс подвода дутья к реакционной угольной поверхности независимым от размеров и формы выга-

зованного пространства, т.е. независимым от поведения кровли угольных пластов, а также мощности и состава угольных пластов, реакционной способности углей, зольности, обводненности месторождения и влажности углей, степени устойчивости кровли и самого угольного пласта в период его прогрева и газификации, глубины залегания угольного пласта, теплопроводности прилегающих пород и др.

Потери тепла в реакционной зоне газогенератора на нагрев окружающих пород, воды и пр. не должны превышать 5-8%. При больших потерях восстановительный процесс газообразования расстраивается и не может быть полным. Поэтому при реверсном режиме газификации этот недостаток нейтрализуется. Здесь попутно отметим, что коэффициент теплоотдачи от масс потока в окружающую среду в прямой степени зависит от аэродинамических параметров потока:

$$\alpha = \frac{1}{8} \xi_{\rho} \cdot C \cdot \gamma \cdot \omega \cdot \eta, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, МДж/м²с, °С;

ξ_{ρ} – коэффициент гидравлического сопротивления трению;

C – теплоемкость движущихся в потоке дутьегазовых масс, МДж/кг, °С;

γ – плотность дутьегазовых масс, кг/м³;

ω – скорость движения дутьегазовых масс потока в непосредственной близости от стенки канала газификации, м/с;

η – поправочный коэффициент на влияние ламинарного подслоя.

Общее количество тепла, теряемого в реакционной зоне подземного газогенератора в окружающую среду в единицу времени, определяется по формуле:

$$Q = a(T_f - T_w)S, \quad (2)$$

где Q – потери тепла в окружающую среду, МДж/с;

T_w – температура пород в рассматриваемый момент времени, °С;

T_f – температура дутьегазовых масс, омывающих окружающие породы, °С;

S – размеры поверхности вмещающих пород в реакционной зоне, м².

Из формулы (1) следует, что уменьшая коэффициент теплоотдачи α , а следовательно, и теплотеря в реакционной зоне, можно достичь уменьшением скорости движения дутьегазовых масс вблизи пустых пород реакционной зоны ω , а с ней вместе уменьшением и коэффициента сопротивления ξ_{ρ} ; при этом с возрастанием поверхности пустых пород в газогенераторе скорости вблизи реакционной угольной поверхности должны быть увеличены по сравнению с условиями ведения процесса газообразования при малых поверхностях пустых пород реакционной зоны или при полном отсутствии таковых.

Из формулы (2) также следует, что с увеличением поверхности вмещающих дутьевой поток пород в реакционной зоне газогенератора (при постоянных размерах реакционной угольной поверхности) безвозвратные тепловые потери будут возрастать и при какой-то величине этой поверхности достигнуть размеров исключаяющих нормальный ход процесса газообразования.

Решение такой задачи перераспределения скоростей потока на поверхностях угля и пустых пород может быть осуществлено аэродинамическими средствами в виде длинномерных гибких трубопроводов, по которым поступает дутье и одновременно по межтрубному пространству скважины в газогенератор. Такое техническое решение имеет большое практическое значение при газификации угольных пластов малой мощности, где симметричные дутьегазовые потоки повлекут за собой большие тепловые потери в газогенераторе, исключаяющие нормальный ход процесса газообразования, особенно в восстановительной зоне.

В промышленных условиях работы подземных газогенераторов при случайных аэродинамических качествах дутьегазовых потоков и разнообразном залегании угольного пласта, а также в условиях постоянного изменения канала газификации от обрушающихся пород кровли, кратность подвода дутьегазовых масс к угольной поверхности будет весьма различна. В большинстве случаев она будет недостаточной и повлечет за собой неполноту восстановительных реакций ($CO_2 + C$ и $H_2O + C$), что создаст невозможность использования образующегося после окислительных реакций тепла в реакционной зоне, а потому газ будет выходить из генератора с большой температурой и малым количеством горючих компонентов.

Анализируя основные стадии, которые проходит процесс ПГУ при образовании горючих газов, можно убедиться в том, что стадия восстановления наиболее тесно связана с аэродинамическими параметрами потока, так как обе основные реакции ($CO_2 + C$ и $H_2O + C$) являются гетерогенными (взаимодействие твердой и газообразной фаз) и могут протекать только при соответствующем взаимодействии масс дутьегазового потока на реакционную угольную поверхность.

Рассмотрим, по каким причинам происходит недостаточная кратность подвода реагентов (CO_2 и H_2O) к реакционной поверхности и как она влияет на теплотворную способность газа при различных соотношениях между CO_2 и H_2O , содержащихся в газе после окончания окислительного процесса (к началу восстановительной зоны).

В качестве меры, определяющей степень полноты переноса реагентов к реакционной угольной поверхности может быть использован коэффициент аэродинамической активности потока (ψ), означающий отношение процента горючих компонентов, образовавшихся в результате восстановительных гетерогенных реакций к проценту исходного компонента в газе (в молях), т.е.:

$$\psi = \frac{\frac{1}{2}CO}{\frac{1}{2}CO + CO_2}, \quad (3)$$

где CO – количество монооксида углерода, образовавшееся в результате воздействия диоксида углерода на реакционную угольную поверхность;

CO_2 – количество диоксида углерода, содержащееся в газе после проведения восстановительных реакций;

$\frac{1}{2}CO + CO_2$ – количество молей диоксида углерода в газе до начала восстановительных реакций.

В самом идеальном случае, когда весь диоксид углерода прореагирует с углеродом в восстановительном процессе, коэффициент аэродинамической активности потока будет равен единице, т.к.:

$$CO_2 = 0 \text{ и } \psi = \frac{\frac{1}{2}CO}{\frac{1}{2}CO} = 1, \quad (4)$$

Во всех остальных случаях ψ будет меньше единицы и будет определять степень полезной аэродинамической активности потока, отнесенной к реакционной угольной поверхности. Следует отметить, что этот коэффициент отражает влияние не только аэродинамических параметров (скоростей потока, расходов, степени турбулентности потока и пр.), так как изменению ψ будут способствовать и другие параметры подземного газогенератора (температура, длина реакционной зоны, отношение величины реакционной угольной поверхности пустых пород, реакционная способность угля и др.).

Одновременно отметим, что в зависимости от перечисленных условий хода процесса ПГУ определенного значения ψ можно достичь различной затратой аэродинамических средств. Так, например, при канале газификации, проходящем в сплошном угольном массиве, интенсивность переноса реагентов из потока к реакционной поверхности может быть в два

раза меньшей, чем для случая расположения канала газификации между пустыми породами и угольным пластом, тогда в обоих случаях значение ψ и, следовательно, технологические показатели процесса будут одинаковы.

Величину ψ можно было бы выразить и через отношение водорода, образующегося из паров воды к общему количеству паров воды, принимавших участие в восстановительных процессах, т.е.:

$$\psi = \frac{H_2}{H_2 + H_2O}, \quad (5)$$

где смысл обозначений тот же, что и в формуле (3).

Однако, поскольку количество паров воды зависит от влажности угольного пласта и прилегающих пород и может изменяться в широких пределах, а содержание диоксида углерода в газе определяется в основном содержанием кислорода в дутье, то первое соотношение является более показательным для процесса газообразования и более стабильным, хотя во многих случаях работы подземных газогенераторов основной составляющей теплотворной способности газа является водород.

Таким образом, из выражения (3) по количеству молей диоксида углерода (CO_2) перешедшего в монооксид углерода (CO), мы можем судить об аэродинамической активности дутьегазового потока (отно-

сенный к реакционной угольной поверхности) в реакционной зоне и вместе с тем этот коэффициент характеризует также и успешность технологического процесса в части степени достижения термодинамического равновесия.

Физический смысл коэффициента ψ заключается в том, что чем большее количество раз реагенты будут попадать из дутьевого потока на реакционную угольную поверхность восстановительной зоны, тем большая вероятность распада их образования горючих компонентов. Частота же попадания реагентов на реакционную поверхность или кратность попадания их за период прохождения потоком всей реакционной восстановительной зоны (при прочих равных условиях) зависят от аэродинамических свойств потока (турбулентный или ламинарный). Такова взаимосвязь между аэродинамическими свойствами потока и технологическими показателями процесса газообразования (по содержанию CO).

Нетрудно представить, что с введением в дутьегазовый поток паров воды общая концентрация реагентов в газе ($CO_2 + H_2O$) к концу окислительного процесса возрастает и вероятность попадания реагентов на угольную поверхность и образования горючих компонентов ($CO + H_2$) соответственно увеличивается (табл. 1).

*ИЗМЕНЕНИЕ СУММАРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕАГЕНТОВ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ
ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В
ДУТЬЕГАЗОВОМ ПОТОКЕ*

Таблица 1

H_2O , г/нм ³	$CO_2 + H_2O$, %	H_2O , %	CO_2 , %	N_2O , %
0	21,0	0	21,0	79,0
25	23,42	3,02	20,4	75,0
50	25,65	5,85	19,8	74,4
75	27,78	8,53	19,2	72,3
100	29,80	10,1	18,65	70,2
200	36,85	20,0	16,85	63,4
300	42,5	27,2	15,3	57,5

Поскольку содержание в газе паров воды, участвующей в восстановительном процессе газообразования, может изменяться фактически в широких пределах в различных горногеологических условиях (в зависимости от влажности угля, обводненности месторождения и др.), то представляет практический интерес проследить взаимосвязь между теплотворной способностью газа, аэродинамикой потока и концентрацией паров воды в потоке (средняя концентрация H_2O в газе восстановительной зоны), имея в виду, что для разложения воды и нагрева неразложившейся воды потребуется затратить тепло.

Наиболее наглядно взаимосвязь между указанными параметрами процесса можно видеть из графика (рис. 1).

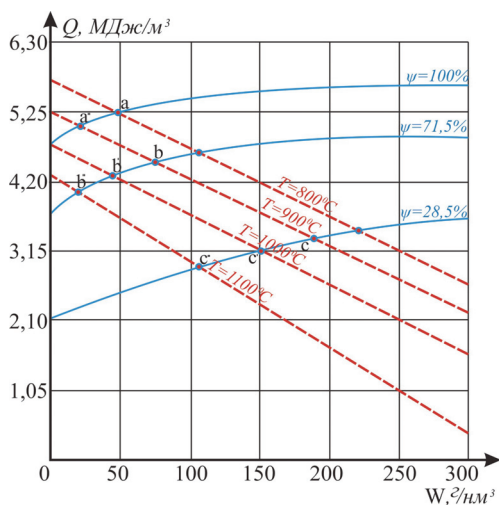


Рис. 1. График зависимости теплотворной способности газа от коэффициента аэродинамической активности потока и влажности $Q = f(\psi; w)$; $\psi = 100\%$; w – среднее содержание паров воды в газе, принимавших участие в процессе газообразования, г/нм³

График построен на расчетном материале при следующих допущениях и условиях:

1) продуктами конечных реакций являются CO , H_2 , CO_2 , H_2O и N_2 за счет двух

основных реакций $C + CO_2 = 2CO$ и $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$;

2) выделившееся после окислительных реакций тепло расходуется только на восстановительные процессы и нагрев продуктов реакции, указанных в п. 1;

3) восстановительные процессы достигают термодинамического равновесия при заданных условиях;

4) газифицируется углерод угля без золы.

При принятых допущениях и условиях ведения процесса газообразования на основании закона сохранения масс и энергий существует строгая зависимость между составом газа и выделяющимся при подземной газификации теплом (в нашем случае тепло выражено через температуру конечного состава газа).

При принятых условиях тепла оказывается достаточно для восстановительных реакций, протекающих полностью только для случая добавки воды в количестве 50 г/нм³ газа (рис. 1). При дальнейшем увеличении количества воды, участвующей в восстановительных реакциях, в конечном составе газа будет появляться пар нагретый до температуры газа. Давая различные значения концентрации паров воды, участвующей в восстановительном процессе, от 0 до 250 г/нм³ газа, определяем состав газа, заканчивая процесс при температурах постоянных для всех расчетных режимов (800, 900, 1000 и 1100 °С).

Наиболее же характерной стороной восстановительных реакций с избытком воды является увеличение концентраций исходных реагентов (CO_2 и H_2O), что увеличивает вероятность попадания их на реакционную угольную поверхность при неизменных аэродинамических качествах дутьегазового потока.

Иными словами с повышением концентрации водяных паров в газе реакционной восстановительной зоны как бы снижаются требования к аэродинамике потока. При этом выделившееся в окислительной зоне тепло расходуется полностью (до температуры 800 °С) на восстановительные реак-

ции при более низком коэффициенте аэродинамической активности потока (см. график $\psi = 0,71$ и $0,28$).

Таким образом, участие воды в восстановительных реакциях имеет и свою положительную сторону – увеличение концентрации реагентов, имеющее своим следствием увеличение горючих компонентов в газе.

На графике (рис. 1) показаны оптимальные концентрации пара в процессе подземной газификации угля для режимов с различными коэффициентами аэродинамической активности ψ , при которых получается наивысшая теплотворная способность газа. Вместе с тем следует отметить, что абсолютное значение оптимумов теплотворной способности газов с увеличением концентрации пара снижается.

Наивысшая теплотворная способность газа имеет место, согласно графику, при коэффициенте аэродинамической активности потока $\psi = 1$ и концентрации воды (пара) 50 г/нм^3 .

Равно, как и по графику (рис. 1) можно определить снижение теплотворной способности газа при увеличении тепловых потерь в газогенераторе. Тепловые потери выражены здесь в виде неиспользованного тепла для восстановительных реакций и окончания последних при повышенных температурах газовой среды (900, 1000 и 1100 °С). Точки a, a', b, b', c, c' характеризуют уровень теплотворной способности газа при соответствующих значениях ψ и тепловых потерь в газогенераторе.

Любая точка, взятая на графике, определяет не только теплотворную способность газа, но и технологический и аэродинамический режимы газообразования (состав газа, количество влаги и отношение горючих компонентов к исходным реагентам).

Одновременно на графике ярко выражено влияние основных двух условий образования горючих газов, о которых упоминалось уже выше, а именно: кратность подвода дутья к угольной поверхности и уменьшение потерь тепла, образующегося после

окислительных реакций. От степени выполнения этих условий и зависит состав газа.

Такова взаимосвязь между аэродинамической активностью потока и показателями технологического процесса при различных средних концентрациях в газе пара, принимавшего участие в процессе газообразования (при прочих равных условиях).

После детального рассмотрения зависимости между Q, ψ, w , изображенных на графике, может возникнуть вопрос о том, как отразится на процессе газообразования увеличение аэродинамической активности потока при заведомо излишнем количестве воды, поступающей в реакционную зону. Для ответа на этот вопрос необходимо предварительно указать на различные режимы и источники поступления воды в реакционную зону.

Взаимосвязь между Q, ψ, w и T° , выраженная на графике (рис. 1), позволяет физически ясно представить и влияние на процесс газообразования увеличения концентрации кислорода в дутье, а также влияние подогрева дутья (при необходимости). С увеличением концентрации кислорода в дутьевом потоке возрастает количество диоксида углерода в газе, что повышает вероятность попадания ее на реакционную угольную поверхность при неизменных аэродинамических свойствах дутьегазового потока и что повышает температуру в газогенераторе, позволяющую в свою очередь повысить процент разложения паров воды.

Увеличение количества тепла в газогенераторе за счет подогрева дутья дает возможность увеличить реакционную поверхность угля (при прочих равных условиях), что также повышает полезную аэродинамическую активность потока при прежних аэродинамических параметрах его.

Следует отметить, что наивысшая теплотворная способность газа, отмеченная на графике, в $5,25 \text{ МДж/нм}^3$, может быть в естественных условиях, и превышена за счет предварительного подогрева угля физическим теплом образовавшегося газа.

В подтверждение справедливости при-

нятого положения о том, что вода одновременно с диоксидом углерода является одним из двух основных реагентов для получения горючих компонентов газа, мы построили графическую зависимость $\psi = f(v)$ одновременно по монооксиду углерода и водорода, используя данные серии опытов на стендовой установке (рис. 2).

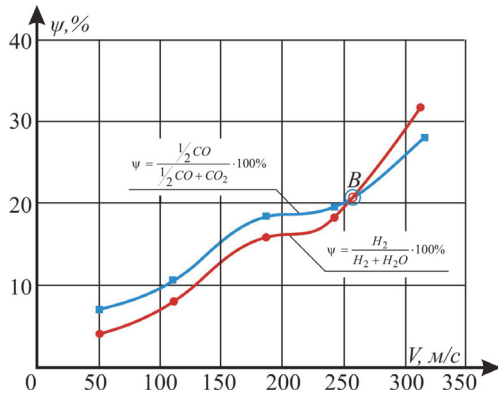


Рис. 2. График зависимости коэффициента аэродинамической активности потока от начальной скорости впуска дутья в канал газификации $\psi = f(v)$

Особенность этих опытов заключается в том, что они проведены на одинаковом угле при постоянных расходах дутья, постоянных длине огневого забоя и диаметра канала газификации, но при различных

скоростях впуска дутья в канал V , что позволяет оценивать влияние начальной скорости дутья на процесс газообразования.

Как видно из графика, с увеличением скорости впуска дутья V возрастает коэффициент аэродинамической активности ψ , причем параллельно монооксиду углерода CO и водорода H_2 .

В точке B кривые пересекаются, что характеризует равенство указанных коэффициентов. Такое равенство:

$$\psi = \frac{\frac{1}{2}CO}{\frac{1}{2}CO + CO_2} = \frac{H_2}{H_2 + H_2O}, \quad (6)$$

Предопределяется главным образом равенством при определенной температуре констант равновесия реакций ($CO_2 + C = 2CO$ и $H_2O + C = CO + H_2$), выраженных через порционное давление, т е.

$$\varphi = \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}} = \frac{P_{CO}H_{H_2}}{P_{H_2O}}, \quad (7)$$

Следует отметить при этом, что последнее равенство будет иметь место даже при различных исходных концентрациях CO_2 и H_2O в газе, но наступит лишь при других температурах газа.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТАНТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ПО ДВУМ ОСНОВНЫМ РЕАКЦИЯМ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Таблица 2

$T, ^\circ K$	$CO_2 + C = 2CO$	$H_2O + C = CO + H_2$
900	0,1926	0,424
1000	1,9000	2,609
1100	13,2000	11,580
1200	57,0900	39,770
1300	208,3	113,5
1400	528,6	277,0
1500	1623,0	601,3

С увеличением скоростей впуска дутья (рис. 2) количество горючих компонентов возрастает, следовательно, температура

газа снижается и наступают условия, при которых образование водорода происходит интенсивнее образования монооксида уг-

лерода. Поэтому в этот период следует произвести реверсирование дутьегазовых потоков с целью повышения выхода CO . Справедливыми вышеприведенных выводов могут подтвердить данные табл. 2 [3].

Из табл. 2 видно, что примерно при температуре 1050 °К константы равновесия для указанных реакций одинаковы, а при снижении температуры газа константа равновесия для водородообразующей реакции превышает константу первой реакции, в то время, как при температуре свыше 1100°К константа первой реакции выше, чем константа второй.

Таким образом, приведенный выше краткий анализ взаимосвязи между аэродинамической активностью дутьегазовых потоков, влажностью газа, тепловым режимом процесса и теплотворной способностью образовавшегося угольного газа дает возможность выявить основные принципы процесса газификации угольных пластов с помощью длинномерных гибких трубопроводов с жаростойкими насадками на концах, а также рассмотреть далее роль и значение для ГПУ различных схем газификации в разнообразных природных условиях работы подземных газогенераторов.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаченко, Н.М. Реверсивный эффект дутья при газификации угольных пластов [Текст] / Н.М. Табаченко // Уголь Украины, 2009 – № 10. – С.8-11.

2. Спосіб підземної газифікації корисних копалин та пристрій для його здійснення [Текст]: пат. №22162 Україна / О.В. Колоколов, Н.М. Табаченко, О.В. Желнач; 16.10.2000, Бюл. № 5.

3. Введенский, А.А. Термодинамические расчеты процессов топливной промышленности [Текст] / А.А. Введенский. – М.: Гостехиздат, 1959. – 301 с.

ОБ АВТОРАХ

Табаченко Николай Михайлович – д.т.н., профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Дычковский Роман Емельянович – к.т.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений, заместитель проректора по научной работе Национального горного университета.

Фальштынский Владимир Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Лозинский Василий Григорьевич – аспирант кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Саик Павел Борисович – аспирант кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.