УДК 622.278

ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ ДУТЬЕ В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ БУРЫХ УГЛЕЙ

Докт. техн. наук, проф. БОКУН И. А.

Белорусский национальный технический университет

Прогнозные ресурсы бурых углей в Республике Беларусь оценены в 1351 млн т, в том числе неогеновые – 534, юрские – 523, карбоновые – 294 млн т. Глубина залегания неогеновых углей – 20–30 м, юрских – 100–300, карбоновых – свыше 300 м [1].

Прогнозные ресурсы юрских углей рассредоточены в многочисленных мелких залежах и поэтому не могут представлять собой объекты для их добычи традиционными шахтными и карьерными способами. Для добычи таких углей может оказаться эффективной технология подземной газификации, идею которой выдвинули в 1888 г. Д. И. Менделеев [2] и в 1912 г. – У. Рамзай. Технология подземной газификации топлив, по мнению специалистов, может быть развита в XXI в., так как она характеризуется в несколько раз большей производительностью труда, чем шахтная, низкими удельными капитальными затратами и улучшением социально-экологической обстановки [3].

Подземная газификация твердых топлив представляет собой достаточно сложный термохимический процесс превращения твердого топлива на местах его залегания в недрах земной коры в газ, который выводят на поверхность через буровые скважины.

В настоящее время известны поточный и фильтрационный методы подземной газификации углей. При поточном методе в пласте создается искусственный канал газификации с регулируемым расходом дутья. Газообразование происходит в термически подготовленном участке пласта топлива и в самом канале, поверхность которого разделяет газовую и твердую фазы. При этом на твердой поверхности канала протекают гетерогенные реакции, а внутри канала – гомогенные реакции.

При фильтрационном методе воздух подается через скважину, распространяется по пласту топлива и горным породам и частично проходит в соседние скважины, где поддерживает процесс газификации. В процессе подземной газификации угля газообразование проходит по тем же химическим реакциям, что и в обычном газогенераторе.

Реакция на угольной стенке подземного газогенератора имеет вид [4]:

$$C + O_2 = CO_2; \quad (1)$$

$$2C + O_2 = 2CO; \quad (2)$$

$$C + CO_2 = 2CO; \quad (3)$$

$$C + H_2O = CO + H_2; \quad (4)$$

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2; \quad (5)$$

$$C + 2H_2 = CH_4. \quad (6)$$

Реакции в газовой фазе внутри канала:

$$2CO + O_2 = 2CO_2; \quad (7)$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O; \quad (8)$$

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O; \quad (9)$$

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2; \quad (10)$$

$$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O. \quad (11)$$

Эффективность процесса газификации зависит от состава и режима дутья, а также температурного уровня и определяется КПД газификации

$$\eta_{пг} = \frac{Q_{сг} + Q_{фсг} + Q_{нв} + Q_{ив} + Q_{врс}}{Q_т}, \quad (12)$$

где $Q_т$ – теплота сгорания топлива в подземном газогенераторе; $Q_{сг}$ – теплота сгорания сухого газа; $Q_{фсг}$ – физическая теплота сухого газа; $Q_{нв}$ – теплота на нагрев влаги; $Q_{ив}$ – теплота испарения влаги; $Q_{врс}$ – физическая теплота водорастворимых соединений.

Практически трудно определить $Q_т$, так как неизвестно, сколько сгорело топлива для получения известного объема газа. Кроме того, имеются неучтенные потери теплоты на нагрев сырьевого массива, но, несмотря на трудность учета названных выше потерь теплоты, КПД газификации составляет 70–90 %, хотя это, возможно, и завышенное значение [5].

Технология подземной газификации углей отличается от технологии наземной газификации рядом признаков:

- отсутствием движения топлива, так как выгорание угля происходит за счет перемещения зоны горения в соседние зоны газификации;
- отсутствием газонепроницаемых стенок, что способствует проникновению влаги в зону газификации из пластов пород, а также подземных вод;
- непосредственным контактом газифицируемого канала и пласта с соседними пластами, подлежащими газификации, что приводит к его термоподготовке;
- расстоянием между скважинами, которое в угольном канале во много раз превышает длину зон реагирования;
- возникновением потерь теплоты в результате прогаров целика.

В процессе подземной газификации бурого угля выделяются летучие вещества, которые состоят из высококалорийного газа, дегтя, паров воды. Обычно в летучие продукты переходят от 15 до 30 % потенциальной теплоты бурых углей, а у сланцев эта величина составляет 50–80 % [5]. Выделение их из топлива и сохранение в генераторном газе способствуют повышению КПД газогенератора и других важных показателей процесса подземной газификации.

Качество получаемого газа в подземном газогенераторе в значительной мере зависит от характера процесса, обеспечивающего равномерность горения, состава применяемого дутья, температуры, которая может достигать 1400–1600 °С, и других факторов. Одним из методов улучшения эффек-

тивности работы подземного газогенератора может быть организация пульсирующего дутья с чередующимися циклами – фазой нагнетения и фазой разрешения. Пульсирующее дутье может быть организовано за счет установки на воздухоподводящем и газоотводящем трубопроводах специальных пульсаторов, обеспечивающих прерывистую структуру газодинамических импульсов. Основным признаком такого импульса является существенная амплитуда давления и скорости потока. Воздействие каждого последующего импульса на газогенерирующую систему должно происходить не раньше, чем закончится переходный процесс в системе газообразования, вызванный предыдущим импульсом.

Кривая пульсаций может состоять из ряда импульсов, имеющих различную форму (прямоугольную, трапецеидальную, синусоидальную и др.).

Импульсное движение газа в каналах и скважинах подземного газогенератора способствует улучшению смывания золы с поверхности канала, разрыхлению газифицируемой породы, уменьшению коэффициента гидравлического сопротивления и выравниванию профиля скоростей по сечению канала. Кроме того, пульсационные скорости и перепады давления могут иметь такие значения, которые вызывают возвратные токи газа, вследствие чего давление в предшествующем сечении канала будет большим, чем в последующем. Возникший при этом движущий напор снизит общий перепад давления и расход энергии на дутье.

Гидродинамические процессы, протекающие в элементе подземного газогенератора при пульсирующем дутье, описываются системой квазилинейных гиперболических уравнений [6]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho w) = 0; \tag{13}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \frac{\partial}{\partial x}(p + \rho w^2) + \frac{\lambda}{2D}\rho w / w / = 0, \tag{14}$$

$$p = \rho c^2; \tag{15}$$

$$0 < x < l; \quad t > 0,$$

где x – координата вдоль оси канала; t – время; p, w, ρ – средние по сечению давление, скорость и плотность газа; D – диаметр канала; λ – коэффициент трения; c – скорость звука.

Начальные условия задаются в виде:

$$p_{(x,0)} = p_0 = \text{const}; \quad w_{(x,0)} = w_0 = \text{const}\ (0 \le x \le l). \tag{16}$$

Граничные условия:

$$w_{(0,t)} = w_0 + w_x \sin \omega t; \quad p_{(l,t)} = p_0. \tag{17}$$

Решение системы (13)–(17) имеет вид [7]:

$$w_x(x^x,t^x)=1+\frac{V^*}{ch2MR+\cos 2H}\{\sin Ht^*[\cos Hx^* chMR(2-x^*)+$$
$$+\cos H(2-x^*)chMRx^*]-\cos Ht^*[\sin Hx^* shMR(2-x^*)+ \quad (18)$$
$$+\sin H(2-x)shMRx^*]\};$$

$$p(x^x,t^x)=1+RM^2(1-x^x)+\frac{V^x M}{ch2MR+\cos 2H}\times$$
$$\times\{\sin Ht^*[\cos Hx^x shMR(2-x^x)- \quad (19)$$
$$-\cos H(2-x^x)shMRx^x]+\cos Ht^*\times$$
$$\times[\sin H(2-x^x)chMRx^x-\sin Hx^x chMR(2-x^x)]\},$$

где

$$x^x=\frac{x}{l};\ t^x=\frac{ct}{l};\ p^x=\frac{p}{p_0};\ w^x=\frac{w}{w_0};\ V=\frac{w_x}{w_0};$$
$$M=\frac{w_0}{c};\ H=\frac{\omega l}{c};\ R=\frac{\lambda}{2}\frac{l}{D}.$$

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена эффективность применения пульсирующего дутья в технологиях подземной газификации бурых углей.

2. Проанализировано влияние пульсаций дутья на гидравлическое сопротивление и скорость потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетический способ разработки месторождений бурых углей и утилизации отходов в Беларуси / В. С. Войтенко [и др.] // Горная механика. – 2006. – № 1. – С. 3–14.

2. Менделеев, Д. И. Соч. / Д. И. Менделеев. – Л.; М., 1949. – Т. 11.

3. Аренс, В. Ж. Физико-химическая геотехнология / В. Ж. Аренс. – М.: Изд-во МГГУ, 2001 – 652 с.

4. Крейнин, Е. В. Математическая модель процессов горения и газификации угля в канале подземного газогенератора / Е. В. Крейнин, Е. И. Шифрин // Физика горения и взрыва. – 1993. – № 2.

5. Чуханов, З. Ф. Некоторые проблемы топлива и энергетики / З. Ф. Чуханов. – М.: АН СССР, 1961.

6. Чарный, И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах / И. А. Чарный. – М.; Л.: Гостехтеориздат, 1951.

7. О газодинамическом расчете пульсирующего потока в трубопроводах / А. С. Владиславлев [и др.] // ПМТФ. – 1972. – № 4. – С. 85–88.

Представлена кафедрой
экономики и организации энергетики

Поступила 10.11.2006