

Д. В. Ягнин, Э. Бат-Оргил, А. М. Дубинин

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

yagnin@mail.ru

КОКСОВАЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ В СОСТАВЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА И БАТАРЕИ ТВЕРДООКИСНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разработанная нами методика позволяет прогнозировать удельный расход условного топлива на производство электрической и тепловой энергии. Представлена схема установки электрохимического генератора. Рассчитаны массовый расход синтез-газа, расход полукокса, КПД по выработке электрической энергии энергетической установки, удельный расход условного топлива, мощность сетевого подогревателя, удельный расход условного топлива по отпуску тепловой энергии.

Ключевые слова: *теплоэлектроцентраль; газогенератор; синтез-газ; полукокс; топливные элементы.*

D. V. Yagnin, E. Bat-Orgil, A. M. Dubinin

Ural Federal University, Ekaterinburg

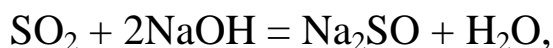
COKE HEAT ELECTRIC CENTER IN THE COMPOSITION OF A GAS GENERATOR AND A BATTERY OF SOLID OXIDE FUEL CELLS

The method developed by us allows us to predict the specific consumption of equivalent fuel for the production of electric and thermal energy. A diagram of the installation of an electrochemical generator is presented. The mass flow rate of synthesis gas, the consumption of semi-coke, the efficiency of the electric power generation of the power plant, the specific consumption of equivalent fuel, the power of the network preheater, the specific consumption of equivalent fuel by the release of thermal energy are calculated.

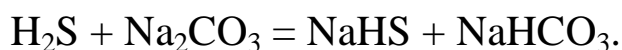
Key words: *combined heat and power plant; gas generator; synthesis gas; char; fuel cells.*

Объединение технологии газификации угля и твердооксидных топливных элементов позволяет производить электричество с эффективностью 60 %, улавливать более чем 90 % CO₂ и является единственным решением для развития угольных электростанций в будущем [1]. Схема представлена на рисунке.

Основой для производства синтез-газа является газогенератор (1) с псевдооживленным слоем мелкодисперсного полукокса. Уголь размалывается дробилкой (9) до 3–5 мм, далее поступает в шлюзовый питатель (8), а из него в печь с псевдосжиженным слоем слабо окислительного пиролиза (5) для удаления из угля смолы, уксусной кислоты, скипидара и фенолов. Образовавшийся полукокс через шлюзовой затвор (3) поступает в газогенератор. Под парораспределительную решетку (20) подается перегретый в котле-утилизаторе (16) водяной пар. Для розжига у газогенератора предусмотрен подвод воздуха вместо водяного пара. Тепловая мощность, подогрев продуктов этой реакции и тепловые потери подводится через трубчатый теплообменник (18), в который вводятся продукты из анодного и катодного каналов. Продукты газификации отводятся через циклон-пылеуловитель (4). Далее синтез-газ охлаждается в экономайзере (12), очищается в скруббере (13) от остатков диоксида серы щелочью по реакции [2]



а оставшийся сероводород удаляется в скруббере (14) раствором углекислого натрия по реакции



Далее доочищенный синтез-газ в цеолите NaA (23) поступает в котел-утилизатор (КУ) для нагрева до 750 °С и, далее, в анодный канал. Воздух для катодного канала от газодувки (17) поступает для нагрева в КУ и, далее, в катодный канал. Питательная вода от питательного насоса (11) проходит через экономайзер в барабан котла, а перегретый до 350 °С пар поступает под парораспределительную решетку (20). Зола и шлак удаляются через шлюзовой затвор (21) на золоотвал. Для преобразования постоянного тока в переменный используется инвертор с КПД до 95 % (22).

Растопку проводят при помощи запальников (2) и (7). При растопке синтез-газ сбрасывается на свечу. За котлом-утилизатором установлен сетевой подогреватель (24) для нагрева воды на горячее водоснабжение потребителей.

Состав влажного синтез-газа на выходе из газогенератора:

$\text{CO}_2 - 1,4$; $\text{CO} - 39,9$; $\text{H}_2 - 39,7$; $\text{CH}_4 - 0,7$; $\text{H}_2\text{O} - 18,3$ (% по объему).

Теплота сгорания влажного синтез-газа $q_{x1} = 13359$ кДж/кг. Теплота сгорания полукокса $Q_H = 26362$ кДж/кг.

Для паровой газификации используется полукокс бородинского бурого угля следующего состава в % по массе: $\text{C}^P - 75,19$; $\text{H}^P - 1,5$; $\text{N}^P - 0,8$; $\text{O}^P - 5,59$; $\text{W}^P - 2,51$; $\text{A}^P - 14,41$. Выход летучих $V^{\text{daf}} - 10,46$ %.

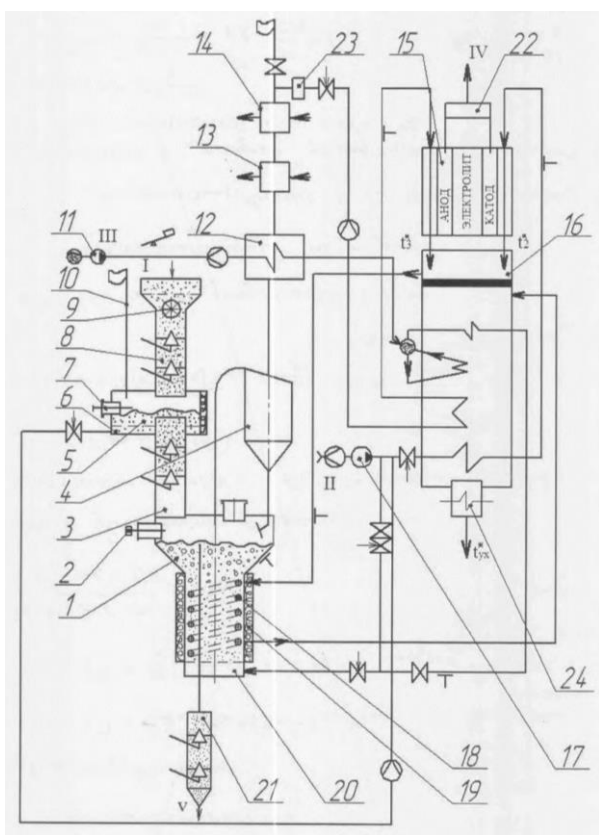


Схема установки электрохимического генератора, работающего на продуктах паровой газификации полукокса бородинского угля:

1 – газогенератор с псевдоожиженным слоем полукокса; 2, 7 – запальники; 3 – шлюзовой затвор для полукокса; 4 – циклон-золоуловитель; 5 – печь с псевдоожиженным слоем слабо окислительного пиролиза для удаления из угля смолы, уксусной кислоты, скипидара и фенолов; 6 – воздухораспределительная решетка; 8 – шлюзовой питатель угля; 9 – дробилка угля; 10 – свеча для дожигания продуктов пиролиза; 11 – питательный насос; 12 – охладитель синтез-газа

(экономайзер); 13 – аппарат для удаления диоксида серы (SO_2) из синтез-газа; 14 – аппарат для удаления сероводорода (H_2S) из синтез-газа; 15 – батарея электрохимического генератора на базе ТОТЭ; 16 – котел-утилизатор; 17 – воздуходувка; 18 – трубчатый теплообменник; 19 – тепловая изоляция; 20 – парораспределительная решетка; 21 – шлюзовой затвор для удаления золы и шлака; 22 – инвертор; 23 – цеолит NaA; 24 – сетевой подогреватель; I – ввод угля; II – ввод воздуха; III – ввод питательной воды; IV – выход электроэнергии; V – вывод золы и шлака

Массовый расход синтез-газа, необходимого для производства $Q_3=12$ кВт электрической мощности ЭХГ,

$$B_{cr} = \frac{Q_3}{q_{x1}\eta} = \frac{12}{13359 \cdot 0,35} = 2,64 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с,}$$

где $\eta = 0,35$ – КПД батареи ТОТЭ ЭХГ взят в первом приближении на основании [3–5].

Для производства $2,64 \cdot 10^{-3}$ кг/с синтез-газ потребуется: расход полукокса

$$G_{пк} = \frac{\mu_c \cdot B_{cr}}{C^p \cdot (\mu_c + 1,4 \cdot \mu_{H_2O})} = \frac{0,8516 \cdot 10^{-3}}{0,7519} = 1,1326 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с,}$$

водяного пара $G_{H_2O} = 1,79 \cdot 10^{-3}$ кг/с, которые определены из уравнения $C + 1,4H_2O = 0,0334CO_2 + 0,95CO + 0,946H_2 + 0,0165CH_4 + 0,436H_2O$.

КПД по выработке электрической энергии энергетической установки

$$\eta^* = \frac{Q_3}{G_{пк} \cdot Q_H^*} = \frac{12}{(1,1326 \cdot 10^{-3} \cdot 26362)} = 0,4 .$$

Удельный расход условного топлива по выработке электрической энергии:

$$b_3 = \frac{G_{пк} \cdot \eta^* \cdot 3600}{Q_3} = \frac{1,1326 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 \cdot 3600}{12} = 0,13 \text{ кг н.т./кВт}\cdot\text{ч} (0,117 \text{ кг у.т./кВт}\cdot\text{ч}).$$

Мощность сетевого подогревателя:

$$Q_{сп} = B_{cr} \cdot q_{x1} - Q_3 = 2,64 \cdot 10^{-3} \cdot 13359 - 12 = 23,25 \text{ кВт.}$$

Удельный расход условного топлива по отпуску тепловой энергии:

$$b_T = \frac{G_{пк} \cdot (1 - \eta^*) \cdot 10^6}{Q_{сп}} = \frac{1,1326 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,4) \cdot 10^6}{23,25} = 29,2 \text{ кг н.т./ГДж} (26,24 \text{ кг у.т./ГДж}).$$

Полученные результаты согласуются с литературными данным [6]. Таким образом, исследования показали: удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии 0,117 кг у. т./кВт·ч, тепловой энергии 26,24 кг у. т./ГДж, что согласуется с данными других публикаций.

Список использованных источников

4. Li, Mu, Powers, Jim D. A Finite Volume SOFC Model for Coal-Based Integrated Gasification Fuel Cell System Analysis // *Journal of Fuel Cell Science and Technology*. August, 2010. Vol. 7. P. 041017-1-12,
5. Хоффман Е. Энерготехнологическое использование угля / Пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1983. 328 с.
6. Собянин В. А. Высокотемпературные твёрдооксидные топливные элементы и конверсия метана // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. общества им. Д. И. Менделеева)*. 2003. Т. XLVII, № 6. С. 62–70.
7. Analysis of solid fuel cell systems concepts with anode recycling // *International Journal of hydrogen energy*. 2013. V. 38, № 16. P. 6809–6820.
8. Коровин Н. А. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. М. : Изд-во МЭИ, 2005. 278 с.
6. Яковлев Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. М. : Новости теплоснабжения, 2008. 448 с.