

*Е. А. Вараксина, С. В. Картавцев*

Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

[varaksina1999@mail.ru](mailto:varaksina1999@mail.ru)

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ВАРИАНТ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ

*Представлены расчеты необходимого количества водяного пара для безопасного проведения комбинируемой реакции пароуглекислотной конверсии метана, которая необходима для охлаждения газа кислородных конвертеров.*

*Ключевые слова: температура, пароуглекислотная конверсия, конвертерный газ, метан, охлаждение.*

*E. A. Varaksina, S. V. Kartavtsev*

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

## ENERGY EFFICIENT METHOD OF CONVERTER GAS UTILIZATION

*The paper presents the calculations of the required amount of water steam for the safe conduct of the reaction of steam carbon dioxide conversion of methane, which is necessary for cooling the gas of oxygen converters.*

*Keywords: temperature, steam carbon dioxide conversion, converter gas, methane, cooling.*

Известно, при продувке стали в конвертерах окисление углерода протекает по реакциям (1) – (2), что сопровождается образованием большого количества конвертерного газа, с характерным содержанием горючих компонентов, %: 90 – CO, 10 – CO<sub>2</sub>.

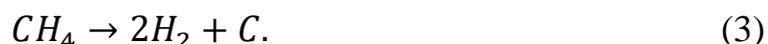


В кислородно-конвертерном производстве можно выделить ряд

проблем, связанных с утилизацией конвертерных газов. Таковыми являются высокая температура [1] смеси газов, периодичность их выхода из конвертера, большая запыленность [2]. Также необходимо рассмотреть возможные варианты наиболее полного использования конвертерного газа для реализации его потенциала как вторичного энергетического ресурса с целью повышения энергетической эффективности производства.

Существует несколько способов понижения температуры смеси газов. На данный момент применяется котел-утилизатор, на выходе из которого температура понижается до 800 °С. Аналогично можно снизить температуру с помощью впрыскивания воды [3].

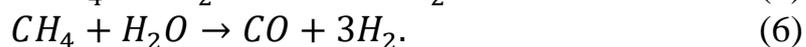
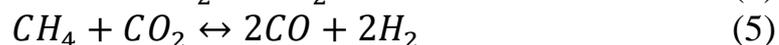
В данной работе рассмотрен вариант охлаждения смеси газов при помощи парокислотной конверсии метана. При высокой температуре метан разлагается на углерод и водород. Нагревание метана без доступа окислителей до 1000 °С приводит к практически полному его разложению по реакции (3)



Заметное разложение газа начинается с нарастающей скоростью при температурах выше 800 °С. Особенно быстрое разложение наблюдается при температурах свыше 1500 °С. Именно поэтому способ сжигания конвертерных газов вместе с чистым природным газом очень рискованный.

Для того, чтобы избежать разложения, совместно с метаном впрыскивается некоторое количество водяного пара, при этом изменяются свойства самого газа (смещается температура горения, повышается возможность повысить энергетическую эффективность).

При охлаждении газа пойдут следующие реакции (4) – (6):



Чтобы определить равновесный состав и температуру, до которой охладится смесь газов, были составлены уравнения материального (7) – (10) и энергетического (11) баланса процесса

$$mCO_2 + mCO = 1,1 \quad (7)$$

$$mH_2 + mH_2O = 0,2 \quad (8)$$

$$mCO_2 + 0,5(mCO + mH_2O) = 0,55 \quad (9)$$

$$K(t) = \frac{mCO_2 \cdot mH_2}{mCO \cdot mH_2O} \quad (10)$$

$$mCO \cdot H_{CO} \left( \frac{t+273}{10000} \right) + mCO_2 \cdot H_{CO_2} \left( \frac{t+273}{10000} \right) + mH_2 \cdot H_{H_2} \left( \frac{t+273}{10000} \right) + mH_2O \cdot H_{H_2O} \left( \frac{t+273}{10000} \right) = E_1, \quad (11)$$

где  $mCO_2$ ,  $mCO$ ,  $mH_2$ ,  $mH_2O$  – неизвестные объемы продуктов реакции;  $H_{CO_2}(t)$ ,  $H_{CO}(t)$ ,  $H_{H_2}(t)$ ,  $H_{H_2O}(t)$  – полные энтальпии,  $K(t)$  – константа равновесия при температуре, до которой охладятся конвертерные газы;  $E_1$  – первоначальная энергия системы, численно равная 122477,557 кДж/м<sup>3</sup>.

При разных соотношениях исходных веществ в продуктах реакции углекислотной конверсии могут находиться неизвестные количества  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ .

Ранее уже были рассчитаны параметры для реакции углекислотной конверсии метана без добавления водяного пара [4]. В таблице представлены результаты вычислений с добавлением водяного пара и без него, а также приведены теплоты сгорания для двух смесей.

Результаты вычисления равновесного состава, температуры и теплоты сгорания для 1 м<sup>3</sup> топлива

Рассчитываемые параметры	С добавлением водяного пара	Без добавления водяного пара
Объем $CO_2$ , м <sup>3</sup>	0,093	$3,03 \cdot 10^{-5}$
Объем $CO$ , м <sup>3</sup>	1,107	1,1
Объем $H_2$ , м <sup>3</sup>	0,393	0,2
Объем $H_2O$ , м <sup>3</sup>	$6,637 \cdot 10^{-3}$	$1,233 \cdot 10^{-6}$
Температура, до которой охладится смесь, °С	775,527	791,008
Низшая теплота сгорания, МДж	18,0747	15,96

Таким образом, исходя из описанного выше, совместное впрыскивание водяного пара с метаном не только гарантирует то, что реакция пройдет без разложения, но и повысит энергетическую эффективность использования конвертерного газа, за счет изменения его свойств.

#### Список использованных источников

1. Нешпоренко, Е. Г. Горение и конверсия топлив в промышленных теплоэнергетических установках : учеб. пособие / Е. Г. Нешпоренко, С. В. Картавец. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 63 с.
2. Картавец, С. В. Теплоэнергетические системы и энергетические балансы промышленных предприятий : учеб. пособие / С. В. Картавец. 2-е изд. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 155 с.
3. Баскакова А. А., Вараксина Е. А., Картавец С. В. Исследование вариантов охлаждения газов кислородных конвертеров // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 10–14 декабря 2018 г.). Екатеринбург : УрФУ, 2018. С. 86–89.
4. Вараксина Е. А., Баскакова А. А., Картавец С. В. Энергоэффективный способ охлаждения конвертерных газов // Энергетики и металлурги настоящему и будущему России : материалы 20-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов / под общ. ред. Е. Б. Агапитова. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. 199 с.