

При расчетах учтем, что удельная теплота сгорания метана равна 36000 кДж/м³. Общее количество тепла, выделяемое при сжигании метана, равно

$$Q = qV_M, \quad (1)$$

где q – удельная теплота сгорания газа, Дж/м³; V_M – объем сжигаемого газа, м³.

Все тепло, выделяемое при сжигании газа в вентиляционном потоке, расходуется на подогрев воздуха. Поэтому теплофизические параметры воздуха после сгорания метана можно описать уравнением

$$Q = c\rho V(T_2 - T_1), \quad (2)$$

где Q – теплота сгорания горючего газа, Дж/м³; c – удельная теплоемкость подаваемого в шахту воздуха, Дж/(кг·К); ρ – плотность подаваемого в шахту воздуха, кг/м³; V – объем нагнетаемого воздуха, м³; T_1 – температура воздуха, поступающего в шахту, К; T_2 – температура воздуха после подогрева, К.

Приравнивая уравнения (1) и (2), получим выражение для расчета количества горючего газа, необходимого для подогрева объема воздуха до определенной температуры

$$V_M = \frac{Vc\rho(T_2 - T_1)}{q}. \quad (3)$$

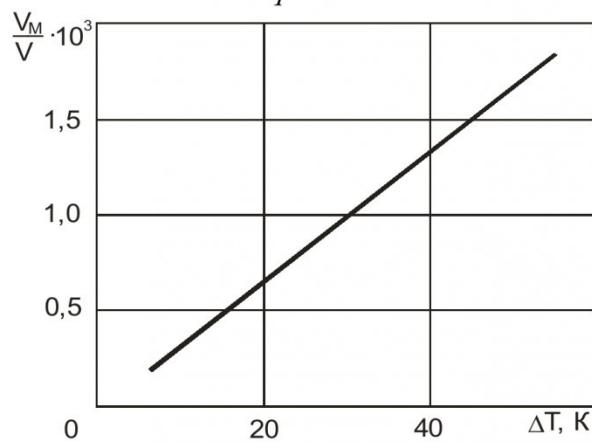


Рис. 1. Расход объема метана, необходимого для подогрева воздуха, в зависимости от перепада температуры нагреваемого воздуха

Принимая, что плотность воздуха равна 1,2 кг/м³, удельная теплоемкость воздуха равна 1 кДж/(кг·К), а теплота сгорания метана равна 36000 кДж/м³, подсчитаем количество метана, необходимого для подогрева 1 м³ поступающего в шахту воздуха. Расчет производился при изменении температуры атмосферного воздуха от +10 °С до минус 40 °С. Подогрев воздуха осуществлялся до +20 °С. Результаты расчета объема метана, требуемого для подогрева 1 м³ атмосферного воздуха, в зависимости от перепада температуры воздуха при нагреве приведены на рис. 1.

Расчет показывает, что при наиболее неблагоприятных погодных условиях (температура поступающего воздуха равна -40° С, а подогрев его осуществляется до +20° С) для нагревания 1 м³ воздуха необходимо 0,002 м³ метана. Таким образом, достаточно сжигать 1 м³ метана для подогрева 500 м³ воздуха на 60 градусов.

Кроме оптимальных (допустимых) теплофизических параметров подаваемый в шахту воздух должен соответствовать и другим нормам. Так, особые требования предъявляются к составу нагнетаемого воздуха. В соответствии с нормами правил безопасности концентрация кислорода в воздухе действующих горных выработок не должна быть меньше 20,0 %. Кроме того, содержание токсичных газов в воздухе не должно превышать предельно допустимых концентраций для рабочей зоны.

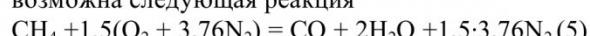
Оценим состав газов в воздухе после сжигания метана. В случае стехиометрического соотношения исходных компонентов сгорание метана в воздухе происходит следующим образом



Из приведенной реакции видно, что для сгорания 1 м³ метана (при объемной концентрации горючего газа 9,5 %) требуется 2 м³ кислорода, содержащегося в 9,52 м³ воздуха. В ходе окисления образуется 1 м³ углекислого газа, 2 м³ водяного пара и 7,52 м³ азота. Объемные концентрации образующихся газов в воздухе после сгорания метана (С_к – кислород; С_в – пары воды; С_у – углекислый газ) в зависимости от градиента температуры нагреваемого воздуха приведены в табл. 1. Начальная объемная концентрация кислорода в поступающем в шахту воздухе равнялась 20,95 %.

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показывает, что концентрации кислорода в воздухе после сжигания метана достаточно для соблюдения санитарных норм. Добавка в воздух паров воды, образующихся при сжигании метана, улучшит характеристики воздуха, обладающего низкой относительной влажностью после прохождения традиционных калориферных установок в зимнее время.

В реальных условиях при сжигании метана в воздухе не всегда соблюдаются стехиометрическое соотношение реагирующих компонентов. В случае избыточного содержания метана (концентрация горючего газа 12,28 %) в сгорающей смеси возможна следующая реакция



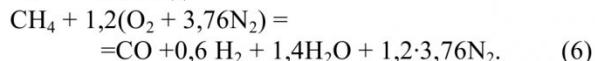
Приведенная реакция показывает, что в воздухе после сгорания метана может присутствовать оксид углерода, являющийся горючим и токсичным газом.

В случае, если содержание метана в смеси существенно превышает стехиометрическое соотношение (на границе верхнего концентрационного предела воспламенения метана), продуктами горения могут быть оксид углерода и водород. Реак-

Таблица 1. Параметры воздуха после сжигания метана

T ₁ , °C	-40	-30	-20	-10	0	10
T ₂ , °C	20	20	20	20	20	20
(T ₂ - T ₁)	60	50	40	30	20	10
V _M /V	0,0020	0,00167	0,00133	0,0010	0,00067	0,00033
C _K , %	20,51	20,58	20,68	20,73	20,81	20,88
C _B , %	0,400	0,334	0,267	0,200	0,134	0,066
C _y , %	0,200	0,167	0,133	0,100	0,067	0,033

ция горения в воздухе при концентрации метана 15 % имеет вид



При поддержании факельного горения значительная часть образующихся оксида углерода и водорода сгорает при перемещении этих газов в разогретые зоны с большей концентрацией кислорода. Предельно допустимая концентрация оксида углерода в атмосфере действующих выработок шахт равна 20 мг/м³ (0,0017 %). Реальное количество остающегося в поступающем в шахту воздухе оксида углерода при прямом сжигании метана зависит от способа приготовления горючей смеси, конструкции горелок. Поэтому образование оксида углерода может быть сведено к необходимому минимуму путем регулирования процесса горения.

При сжигании метана в воздухе могут образовываться и такие токсичные газы, как оксиды азота. Предельно допустимая концентрация оксида азота в воздухе предприятий равна 5 мг/м³. Коли-

чество выделяемых оксидов азота можно также снижать до допустимых значений, регулируя соотношение компонентов горючей и выбрав оптимальную конструкцию сжигающих устройств.

Для повышения эффективности способа подогрева атмосферного воздуха в качестве горючего газа целесообразно использовать метан, получаемый при дегазации угольных пластов, вмещающих пород и выработанного пространства[6,7]. Расчет показывает, что при расходе подаваемого в шахту воздуха 6000 м³/мин для подогрева этого воздуха от температуры -20 до +20 °C необходимо сжигать метан с расходом 8 м³/мин. При этом концентрация кислорода в поступающем воздухе равна 20,68 %. Теплота сгорания метана принималась равной 36000 кДж/м³, плотность воздуха 1,2 кг/м³, его удельная теплоемкость 1 кДж/(кг·К),

Применение способа подогрева шахтного воздуха путем прямого сжигания метана позволяет существенно снизить затраты на создание благоприятного микроклимата на рабочих местах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 907359 Рос. Федерации, F 24Н 3/02. Шахтная калориферная установка / В.А. Шушпанников, Б.К. Кретов; заявл. 13.06.80; опубл. 28.02.82, Бюл. № 5.
2. Патент 2280821 Рос. Федерации, F 24Н 3/04. Способ нагрева потока воздуха и устройство / Ю.Л. Котельников, Н.Л. Семенов, Н.М. Белянский, С.А. Белых; заявл. 22.12.2004; опубл. 27.07.2006, Бюл. № 30.
3. Портола В.А., Лабукин С.Н. Изменение теплофизических параметров воздуха в горных выработках шахты «Распадская» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – № 3. – С. 31-35.
4. Портола В.А. Лабукин С.Н., Шевченко М.В. Особенности изменения теплофизических параметров воздуха в шахтах Кузбасса // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – № 5. – С. 50-56.
5. Патент № 2518199 Рос. Федерации, F 24D 15/00. Способ подогрева воздуха в шахтах / В.А. Портола; заявл. 16.10.2012; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
6. Шевченко, Л.А. Учет фильтрационной анизотропии угольных пластов при проектировании дегазации // Известия вузов. Горный журнал. – 2010. – № 5. – С. 50-56.
7. Шевченко, Л.А. Анализ газовых балансов выемочных полей шахт / Л.А. Шевченко, В.А. Ковалев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4. – С. 61-63.

Автор статьи:

Портола Вячеслав Алексеевич
докт. техн. наук, проф. каф. АОТП КузГТУ, проф. каф. БЖДЭ и ФВ ЮТИ ТПУ.

Поступило в редакцию 21.01.2015