

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ СТРУИ ТЕРМОИНСТРУМЕНТА

Одержано вираз для визначення температури газового струменю при вприскуванні пального за критичним перерізом сопла Лавалля. Показано, що при двухстадійному спалюванні пального у термоінструменті можливо в широкому діапазоні керувати енергетичними параметрами газу на виході з сопла і міняти вектор швидкості газового струменя. Іл. 1. Табл. 1. Бібліогр. : 2 найм.

Известно, что впрыск окислителя в продукты неполного сгорания за критическим сечением сопла термоинструмента (двухстадийное сжигание топлива) обеспечивает изменение термогазодинамических параметров ( температура , скорость ) и вектора скорости газовой струи, что вносит определенный вклад в распределение тепловой нагрузки по поверхности разрушения [ 1 ].

Впрыск горючего через стенку центрального тела за критическим сечением кольцевого сопла может быть использован для управления энергетическими параметрами потока и вектором скорости на срезе сопла и повышения мощности термоинструмента.

Модель течения продуктов неполного сгорания по каналу сопла приведена в работе [ 1 ].

Температуру продуктов сгорания можно определить, составив уравнение теплового баланса в следующем виде,

$$\Delta m_T H_u \varphi = (m_T C_{pT} T_T)_2 - (\Delta m C_{pT} T_T)_1 - (m_T C_{pT} T_T), \quad (1)$$

где  $H_u$  - низшая теплотворность топлива, Дж/кг;

$\varphi$  - коэффициент полного сгорания;

$m_T$  - массовый расход газа ( продуктов сгорания), кг/с;

$\Delta m_T$  - массовый расход впрыскиваемого горючего, кг/с;

$C_{pg}, C_{pT}$  - удельная теплоемкость соответственно газа и горючего при постоянном давлении, Дж/(кг·К);

$T_G, T_T$  - температура соответственно продуктов сгорания и горючего, К.  
Индексы 1 и 2 - параметры газа в различных сечениях канала.

Из уравнения теплового баланса (1) выразим температуру продуктов сгорания

$$T_{G2} = \frac{\Delta m_T H_u \varphi + \Delta m_T C_{pT} T_T + (m_{G1} C_{pG} T_{G1})_1}{(m_{G1} C_{pG})_2}, \quad (2)$$

где  $m_T = \frac{m_g}{\alpha \alpha_0}$ ;

$m_g, m_a$  - расход соответственно горючего и воздуха, кг/с;

$\alpha$  - коэффициент избытка воздуха;

$\alpha_0$  - теоретически необходимое количество окислителя для сжигания 1 кг горючего, кг/кг. Для керосина или бензина

$$\alpha_0 = 14,7 \text{ кг/кг.}$$

Расход газа через сопло в сечении 1 равен

$$m_{G1} = m_a \left(1 + \frac{1}{\alpha \alpha_0}\right). \quad (3)$$

Количество горючего, впрыскиваемого в газовую струю за критическим сечением, определяется выражением

$$\Delta m_T = \frac{m_{вк}}{\alpha_c \alpha_0} - \frac{m_{вк}}{\alpha_k \alpha_0} = \frac{m_{вк}}{\alpha_0} \left(\frac{1}{\alpha_c} - \frac{1}{\alpha_k}\right) \quad (4)$$

Индексом «К» и «с» обозначены параметры потока соответственно в камере сгорания и сопле.

Расход газа  $m_{G2}$  определяется соотношением

$$m_{G2} = \frac{m_{вк}}{\alpha_k \alpha_0} + m_{вк} + \Delta m_T = \frac{m_{вк}}{\alpha_0} \left(\alpha_0 + \frac{1}{\alpha_c}\right). \quad (5)$$

Подставив выражения (3) - (5) в уравнение (2), получим формулу для определения температуры продуктов сгорания в сопле при  $\alpha_c = 1$

$$T_{\Gamma 2} = \frac{(1 - \frac{1}{\alpha_K}) \cdot (H_u \varphi + C_{PT} T_T) + (\frac{1}{\alpha_K} + \alpha_o) C_{P\Gamma 1} T_{\Gamma 1}}{(1 + \alpha_o) C_{P\Gamma 2}} \quad (6)$$

Уравнение (6) решается методом последовательных приближений.

Удельная теплоемкость газов  $C_{P\Gamma 1}$  определяется при температуре  $T_{\Gamma 1}$ , значение которой рассчитывается из соотношения

$$T_{\Gamma 1} = T_{\text{кр}} = \frac{2}{K+1} T_K,$$

где  $T_{\text{кр}}$  - температура газов в критическом сечении сопла, К;

$K$  - показатель адиабаты.

Скорость изэнтропического истечения газа  $W/\Gamma$  при впрыске горючего в сопло определяется по уравнению сохранения энергии

$$m_{\Gamma 1} i_{\Gamma 1} + \Delta m_{\Gamma 1} i_{\Gamma 1} + \Delta m_{\Gamma 1} H_u \varphi + m_{\Gamma 1} \frac{W_{\Gamma 1}^2}{2} = m_{\Gamma 2} i_{\Gamma 2} + m_{\Gamma 2} \frac{W_{\Gamma 2}^2}{2}, \quad (7)$$

где  $i_{\Gamma}$ ,  $i_T$  - удельная энтальпия соответственно газа и горючего, Дж/кг.

Для случая  $\alpha_c = 1$  уравнение (7) после ряда преобразований примет вид

$$i_{\Gamma 1} (1 + \frac{1}{\alpha_K \alpha_o}) + \frac{1}{\alpha_o} (1 - \frac{1}{\alpha_K}) i_T + \frac{1}{\alpha_o} (1 - \frac{1}{\alpha_K}) H_u \varphi + (1 + \frac{1}{\alpha_K \alpha_o}) \frac{W_{\Gamma 1}^2}{2} - (1 + \frac{1}{\alpha_o}) i_{\Gamma 2} = (1 + \frac{1}{\alpha_o}) \frac{W_{\Gamma 2}^2}{2}$$

Расчеты термогазодинамических параметров проведены для следующих данных: давление газа в камере сгорания Па;

$P_K = 4,65 \cdot 10^5$  Па;  $\alpha_K = 1,2; 1,5; 2,0$ ;  $\alpha_c = 1,0$ ;  $K = 1,274; 1,278; 1,301$ ;

$\dot{O}_K = 2115; 1812; 1498$  К;  $T_T = 300$  К. Значения этих параметров в камере сгорания термоинструмента приведены в работе [2].

Результаты расчета температуры и скорости продуктов полного сгорания при впрыске горючего за критическим сечением сопла приведены в таблице. Для сравнения приводятся параметры потока на срезе сопла при гомогенном и двухстадийном сжигании топлива для случая вдува окислителя (подогретого воздуха).

Таблица. Термодинамические параметры газа на выходе из сопла

Коэффициент избытка воздуха в камере сгорания	Гомогенное сжигание		Двухстадийное сжигание	
	Температура, К	Скорость, м/с	Температура, К	Скорость, м/с
0,7	1425	1318	<u>Вдув</u> 1788	<u>воздуха</u> 745
1,0	1726	1378	-	-
1,2	1512	1292	<u>Впрыск</u> 1693	<u>горючего</u> 1414
1,5	1280	1197	1965	772
2,0	1032	1084	1940	760

**Примечание.** Температура воздуха, вдуваемого в газовую струю за критическим сечением сопла, равна 300 К.

Анализ результатов расчета показывает, что при двухстадийном сжигании выделяется больше тепла, чем может быть получено в камере гомогенного сгорания. Так, использование для вдува в качестве окислителя охлаждающего камеру сгорания воздуха при  $\alpha_c = 1,0$  и  $T_{в} = 573$  К дает увеличение температуры газа из сопла примерно на 6% [1], а при впрыске - до 12%. Установлено, что при  $\alpha_k = 1,2$  целесообразно осуществлять впрыск горючего за критическим сечением сопла, так как параметры газа на выходе из сопла примерно одинаковы с параметрами газа для случая  $\alpha_k = \alpha_c = 1$ , а температура газа в камере сгорания ниже на 11% ( $\dot{O}_k = 2390$  К при  $\alpha_k = 1$  и  $\dot{O}_k = 2115$  К при  $\alpha_k = 1,2$ ). Это обстоятельство сказывается на увеличении ресурса работы некоторых теплонапряженных узлов кольцевой камеры сгорания.

К выбору оптимального значения  $\alpha_c$  при вдуве воздуха необходимо подходить достаточно осторожно, так как при  $\alpha_k < \alpha_c \leq 1$  температура газа на выходе из сопла повышается, а скорость - понижается. Вдув подогретого воздуха при  $\alpha_c > 1,0$  приводит к понижению температуры газа на срезе сопла по сравнению со случаем, когда  $\alpha_k = \alpha_c = 1,0$ . Поэтому этот вариант интересен с точки зрения управления вектором скорости газового потока с целью распределения тепловой нагрузки по поверхности разрушения.

Реализация предложенного способа в конструкции термоинструмента позволила экспериментальным путем определить изменение температуры поверхности датчика во времени при гомогенном и двухстадийном сжигании топлива (рисунок 1). Видно, что при работе термоинструмента

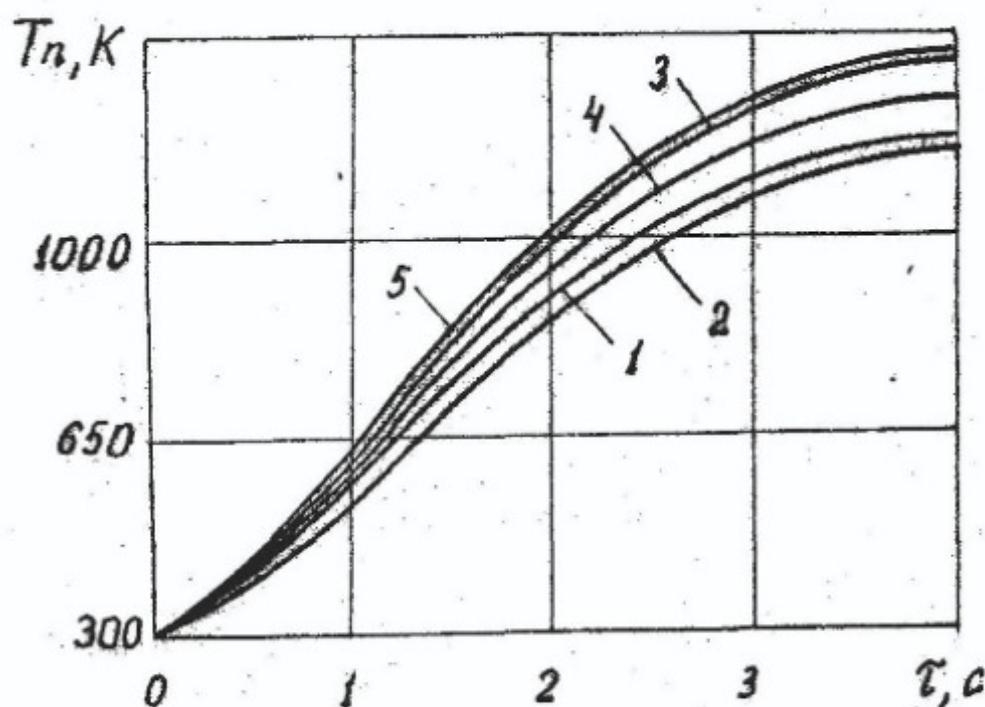


Рис. 1. Изменение температуры поверхности датчика во времени при различных режимах сжигания топлива:

1 - гомогенное сжигание;  $m_r = 12,2$  кг/ч,  $\alpha_c = 0,7$ ; 2 - двухстадийное сжигание с впрыском горючего,  $m_r = 8,3$  кг/ч,  $\alpha_c = 1,3$ ; 3 - то же,  $m_r = 9,5$  кг/ч,  $\alpha_c = 1,2$ ; 4 - двухстадийное сжигание с вдувом воздуха,  $m_r = 12,2$  кг/ч,  $\alpha_c = 1,2$ ; 5 - то же,  $m_r = 10,9$  кг/ч,  $\alpha_c = 1,1$ .

на режиме двухстадийного сжигания с вдувом подогретого воздуха темп нагрева поверхности (кривая 4) выше по сравнению с гомогенным сжиганием (кривая 1) при условии постоянства расхода топлива.

Высокий темп нагрева поверхности датчика достигается при впрыске горючего в газовую струю, но при меньших на 13% его расходах (кривые 3, 5). По сравнению с гомогенным сжиганием эта разница в расходах горючего более существенна: при двухстадийном сжигании расход горючего уменьшается на 30% (кривые 1, 2). С точки зрения реализации двухстадийного сжигания топлива в конструкции термоинструмента способ вдува охлаждающего камеру сгорания воздуха предпочтительнее, поскольку отличается простотой и надежностью в работе.

Среди других способов повышения энергетических параметров газовой струи термоинструмента наибольшее практическое значение имеет предварительный подогрев горючего (дизтоплива) до температуры 400 К и последующее высококачественное смесеобразование топлива в камере сгорания за счет применения пневматической форсунки. Особенность этой форсунки заключается в радиальном вводе горючего в закрученный воздушный поток перед его выходом из форсунки в камеру сгорания. Реализация этих способов целесообразна в случае применения термоинструмента с кольцевой камерой сгорания и вытеснительной системы подачи горючего.

Следует отметить, что перечисленные способы повышения энергетических параметров газовой струи были подвержены тщательной экспериментальной проверке и на их основе разработаны и созданы работоспособные конструкции термоинструментов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ повышения эффективности разрушения горных пород газовыми струями / Е.Ю. Пигида, В.А. Танцура, М.М. Кононова, В.И. Милов // Разрушение горных пород при статическом и динамическом нагружении. - Киев: Наук. думка, 1990. - С.65-69.

2. Голдаев И.П. Теоретические исследования параметров газа бензовоздушных горелок, предназначенных для термической разработки крепких горных пород и мерзлых грунтов// Изв. ВУЗов. Горн. журнал. - 1966.-№ 11- С. 66-71.

УДК 621.876.12

И.А. Шпакунов

## КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРУТОНАКЛОННЫХ ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ

Запропонована концепція формування комбінованих транспортних систем глибоких горизонтів кар'єрів з застосуванням міжступінного крутонахилого мобільного перевантажувача та обґрунтовано його тип - стрічковий, плоска стрічка з перегородками та спеціальними опорами для її підтримання. Бібліогр.: 5 найм.

Характерными особенностями развития открытых горных работ в Криворожском железорудном бассейне являются увеличение глубины карьеров и усложнение горногеологических условий. С увеличением глубины разработки при применении классических технологических схем и традиционного транспортного оборудования технико-экономические показатели резко ухудшаются. Увеличение угла наклона магистральных конвейеров позволило бы более эффективно решить ряд технологических задач, связанных с транспортированием конвейерами по борту карьера под углом порядка  $30^\circ$ , с передачей потока горной массы междуступными перегружателями под углом  $60-70^\circ$ . Поэтому одним из перспективных направлений развития карьерного конвейерного транспорта, повышения эффективности его работы и уменьшения стоимости транспортирования является создание и использование крутонаклонных конвейеров.