

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мацейчик В.И. Некоторые вопросы теории работы колонковых бурильных труб при геологоразведочном бурении: Дисс... канд. техн. наук – Днепропетровск, 1970. – 128 с.
2. Демченко В.С. Методика расчета мощности станков для бурения длинных увлажнительных скважин: Новое в теории, технологии и технике бурения. М. : ИГД им. Скочинского, 1991. – С. 32-33.
3. Васильев Л.М., Демченко В.С. Формула усилия подачи буровых станков с учетом износа режущего инструмента. - Деп. ВИНТИ, 1988. - № 2032 – 1388. – 10 с.
4. Федоров В.С. и др. Практические расчеты в бурении. – М.: Недра, 1966. – 204 с.
5. Дворников Л.Т. Исследования некоторых вопросов вращательного бурения шпуров в горных породах средней крепости: Дисс... канд. техн. наук. – Томск, 1963. – 182 с.
6. Длоугий В.В., Муха Т.И., Цупиков А.П., Януш Б.В. Приводы машин. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.

УДК 622.01.013

Л.М. Васильев, Е.Ю. Пигида, Н.Н. Панасенко

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ТЕРМОИНСТРУМЕНТА С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ФОРСУНКОЙ

Викладені результати експериментального дослідження впливу типу форсунки для розпилю пального та способу його спалювання у камері термоінструменту на енергетичні параметри газового струменя.

THE TEST RESULTS OF EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE THERMO TOOL WITH PNEUMATIC ATOMIZER

The results of experimental researching the influence of a fuel atomizer type and of a fuel burning method in thermo tool camera on gas flame power parameters are presented.

Во многих областях техники широко используются генераторы сверхзвуковой высокотемпературной газовой струи (воздушно-реактивные горелки, плазмотроны), в частности, на предприятиях камнедобывающей, камнеобрабатывающей, горнорудной, металлургической, строительной и других отраслей промышленности. Практика огнеструйного разрушения минеральных сред показала, что количество тепла, передаваемое минеральной среде от стационарных газовых струй и используемое для совершения полезной работы разрушения, не превышает 10...15 % от полного количества тепла, выделяющегося в горелке при сгорании топлива. Следовательно, имеются большие потенциальные возможности повышения эффективности процесса газоструйного разрушения минеральных сред и улучшения его экономичности за счет интенсификации процесса теплопередачи (увеличения доли полезно используемого тепла) и использования кинетической энергии струй для разрушения минеральной среды путем силового (газодинамического) воздействия.

Один из путей реализации этих возможностей – это применение стационарных газовых струй с повышенными теплопередающими параметрами (эффективная температура, коэффициент теплоотдачи, удельный тепловой поток), генераторами, которых являются реактивные горелки нового типа (термоинструменты), позволяющие осуществить способ интенсификации процесса выделения тепла путем высококачественной подготовки топливной смеси и двухстадийного сжигания ее в пределах камеры сгорания.

Представляется целесообразным интенсификация процесса передачи энергии разрушаемой среде путем гидродинамического воздействия на поток теплоносителя. Сущность этого способа заключается в увеличении скорости истечения потока, а, следовательно, и коэффициента теплоотдачи на границе газ – минеральная среда в результате повышения температуры газовой струи при двухстадийном сжигании топлива в камере сгорания термоинструмента. При этом в качестве горючего используются углеводородные жидкости различной вязкости или их смеси, имеет место меньший расход топливных компонентов по сравнению с традиционным способом сжигания топлива. Обоснованием целесообразности двухстадийного сжигания топлива является тот факт, что при сгорании углесодержащих горючих в окись углерода выделяется в два с лишним раза меньше тепла, чем при последующем сгорании окиси углерода в углекислый газ [1]. Поэтому так важно во всякого рода установках, использующих горение угля и углеродсодержащих горючих, добиваться полноты сгорания угля в CO_2 . В случае применения подогретого топлива в реакции окисления эффективность процесса выделения тепла резко возрастает.

Подача горючего в камеру сгорания термоинструмента в большинстве случаев осуществляется центробежной форсункой, которая помещается на оси лопаточного завихрителя воздуха. Распыливание горючего необходимо производить как можно мельче, так как мелкие капли быстро испаряются и сгорают на небольшом расстоянии от форсунки. Это также необходимо и из-за маленьких объемов камер сгорания, в которых очень трудно наладить процесс горения из-за плохого смешения горючего и окислителя.

Центробежная форсунка создает удовлетворительный распыл горючего только в определенных пределах перепада давлений ΔP . Когда ΔP мало, распыл становится неудовлетворительным, что непосредственно проявляется в виде ухудшения работы камеры сгорания на режиме малого газа.

Для того чтобы устранить этот недостаток и обеспечить удовлетворительный распыл горючего в широком диапазоне режимов работы камеры сгорания термоинструмента, необходимо применять пневматическую форсунку, которая позволяет тонко распыливать вязкое горючее (дизельное топливо, мазут). Схемы центробежной и пневматической форсунок отличаются тем, что в последней горючее радиально вводится в закрученный воздушный поток перед его выходом из форсунки в камеру сгорания. Работа форсунки с пневматическим распыливанием горючего основана на использовании кинетической энергии закрученной воздушной струи: когда тонкая струйка жидкого горючего попадает в струю воздуха, движущегося с большой скоростью, последний разбивает ее на мелкие капли. Для распыливания горючего применяется воздух под давлением $(3...5) \cdot 10^5$ Па, а горючее поступает к форсунке под давлением $(1...2) \cdot 10^5$ Па. Форсунка размещена в зоне горения топлива, а ее конус распыла направлен навстречу основному воздушному потоку, поступающему через завихритель в камеру сгорания. Это позволяет увеличить время пребывания топлива в камере сгорания и, следовательно, повысить его полноту сгорания.

Достоинство пневматической форсунки состоит в том, что она обеспечивает тонкое распыливание подогретого горючего на всех режимах работы камеры

сгорания, включая и режим запуска термоинструмента. Подача в камеру сгорания подогретой топливной смеси дает большой коэффициент полноты сгорания.

Полнота и скорость сгорания топливной смеси во многом зависят от интенсивности процессов распыливания, испарения и смешения паров топлива с воздухом в камере сгорания, которая в свою очередь зависит от качества топлива (вязкости, испаряемости, химического и фракционного состава).

Коэффициент полноты сгорания η_c определяется отношением

$$\eta_c = \frac{Q_1}{Q_2},$$

где Q_1 – тепло, действительно выделившееся в камере сгорания за некоторое время, Дж/с; Q_2 – тепло, подведенное с топливом, Дж/с;

$$Q_2 = H_u \cdot m_T,$$

где H_u – низшая теплотворность топлива, Дж/кг; m_T – секундный расход топлива, кг/с.

Величину Q_1 можно определить прямым вычислением, зная расход газа m_T через сопло, его среднemasсовую температуру T_{cp} и удельную теплоемкость C_{pg} .

Среднemasсовая температура газа определяется по развиваемой термоинструментом силе тяги

$$T_{cp} = \frac{R}{R_2 m_T^2} \left(F_{cp} P_{cp} + \frac{n-1}{2n} R \right),$$

где R – сила тяги термоинструмента, Н; R_2 – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К); F_{cp} – площадь сечения на срезе сопла, м²; P_{cp} – давление газа на срезе сопла, Па; n – показатель изопоэтропы газов.

Расход горючего зависит от режима работы камеры сгорания и качества его распыливания. Сравнение результатов расчета по расходу горючего в случае применения центробежной и пневматической форсунок при прочих равных условиях (например, силе тяги) показывает преимущество пневматической форсунки: расход горючего в случае применения последней снижается на 25...30%.

Иллюстрация этого преимущества дается в таблице 1, где приведены основные показатели различных типов термоинструментов при нормальном режиме работы камеры сгорания.

Таблица 1 – Основные показатели термоинструментов

Показатели	Тип термоинструмента (организация)				
	БВР-60 (КазПТИ)	БВР-80 (КазПТИ)	ЛТ-6 (ЛГИ)	Т-5 (ХАИ)	ТБВ-56 (ИГТМ)
Диаметр критического сечения сопла $d_{кр} \cdot 10^3$, м	16	20	16	15	17
Диаметр корпуса $d \cdot 10^3$, м	60	80	58	54	56
Расход горючего $m_{г}$, кг/ч	25	39	20	9	9
Относительный расход горючего $m_{г}$, г/(с · мм ²)	0,035	0,035	0,028	0,014	0,010

Из анализа таблицы 1 следует, что по относительному расходу горючего термоинструмент, разработанный в ИГТМ, приравнивается к термоотбойнику Т-5, однако последний имеет меньший диаметр критического сечения сопла, что приводит к меньшей объемной скорости разрушения горных пород. Остальные конструкции термоинструментов менее экономичны по сравнению с термоинструментом ТБВ-56; кроме того они работают на горючем – бензин или керосин.

Создание малогабаритных генераторов газовых струй затруднено тем, что в камере сгорания не удается достичь качественного смесеобразования. Качество смесеобразования определяет степень преобразования располагаемой химической энергии топлива в энергию газовой струи, определяемой коэффициентом эффективного выделения тепла. По экспериментальным данным коэффициент эффективного выделения тепла для существующих бензовоздушных горелок на оптимальном режиме работы ($\alpha_{т}=1,0 \dots 1,2$) составляет $\eta_{с}=0,70 \dots 0,85$ [2]. Поэтому проблема повышения экономичности огнеструйных горелок является актуальной.

В настоящее время в литературе отсутствуют данные по коэффициенту $\eta_{с}$ для малогабаритных горелок с пневматической форсункой, что весьма затрудняет их проектирование и выбор оптимальных режимов работы. В связи с этим нами проведены экспериментальные исследования по определению влияния конструктивных и режимных параметров работы термоинструмента, а также типа применяемого горючего и форсунки на полноту сгорания. В опытах был принят метод определения $\eta_{с}$ по развиваемой горелкой силе тяги.

В результате экспериментов определены оптимальные конструктивные параметры горелок (длина активного участка подвода воздуха; длина участка зоны догорания; количество и размер отверстий для подогрева воздуха), обеспечивающие максимально возможную полноту сгорания. Зависимость $\eta_{с}$ от коэффициента избытка окислителя $\alpha_{т}$ при значении длины активного участка подвода воздуха $l_{ак}=15 \cdot 10^{-2}$ м для различных форсунок представлена на рис. 1,а. Увеличение коэффициента эффективного выделения тепла $\eta_{с}$ при $\alpha_{т} < 1$ происходит за счет более качественного перемешивания горючего с воздухом и более

полного сгорания. При больших α_T процесс ухудшается, так как в камеру сгорания поступает большое количество избыточного воздуха, что влечет за собой переохлаждение зоны горения и замедление химических реакций. Наибольшая полнота сгорания $\eta_c=0,95$ имеет место при значении коэффициента избытка окислителя $\alpha_T=1,6$ и относительной площади подвода воздуха $\bar{F} = F_n / F_k = 0,3...0,4$, где F_n – суммарная площадь подвода воздуха; F_k – площадь поперечного сечения камеры сгорания. Однако максимальное значение температуры продуктов сгорания T_k соответствует $\alpha_T=1,0$. Следует учитывать, что скорость истечения и температура газов на выходе из сопла получаются максимальными при $\alpha_T=1,0$, поэтому оптимальным считают режим работы горелки при $\alpha_T=1,0...1,2$.

При давлении в камере сгорания $P_k \geq 5 \cdot 10^5$ Па полнота сгорания не зависит от P_k (рис. 1,б). Из углеводородных горючих наибольшую полноту сгорания обеспечивают бензин и керосин ($\eta_c \approx 0,9$). Установка в камере сгорания термоинструмента пневматической форсунки вместо центробежной позволяет получить $\eta_c=0,96$ при сжигании дизтоплива или смеси, состоящей из 75% бензина и 25% отработанного трансформаторного масла.

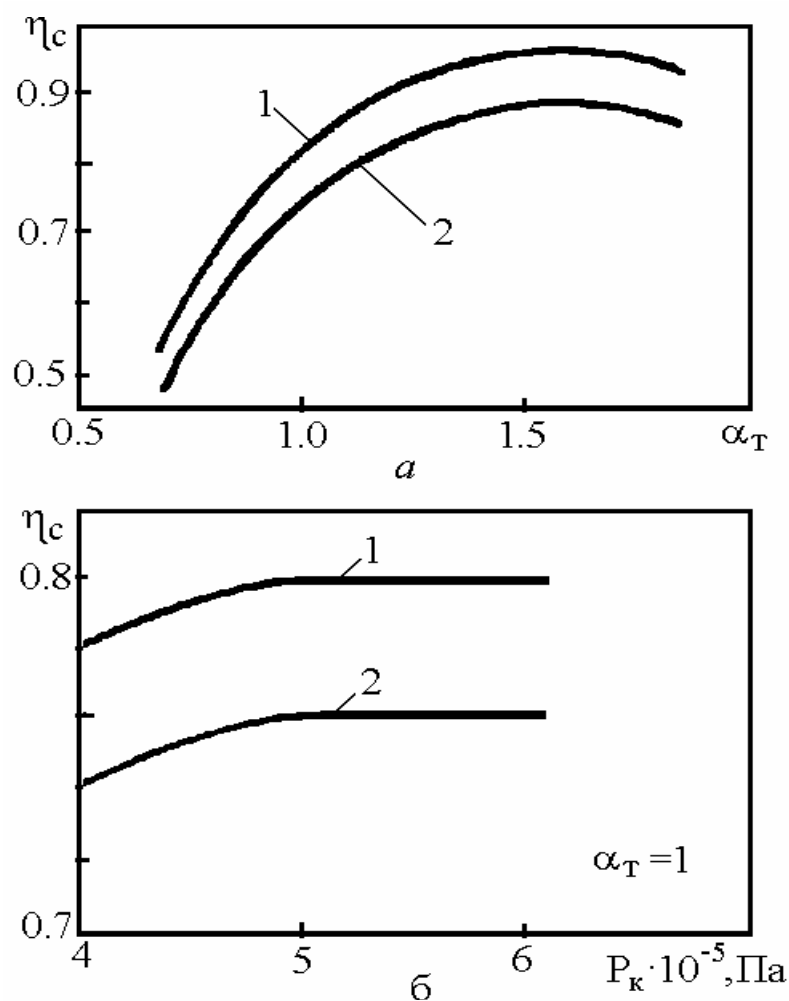


Рис. 1. Зависимость коэффициента полноты сгорания η_c от α_T (а) и от P_k (б) при разных форсунках: 1 – пневматическая форсунка, 2 – центробежная форсунка

Полнота сгорания топлива главным образом зависит от организации процесса сгорания внутри жаровой трубы и не зависит от конструктивной схемы охлаждения соплового аппарата. Установлено, что воздушно-реактивный термоинструмент с пневматической форсункой можно надежно охлаждать воздухом при значении относительного расхода воздуха $\bar{m}_g \geq 0,65$.

Экспериментальные исследования влияния конструктивных и режимных параметров термоинструмента на распределение энергетических характеристик по поверхности разрушения проводились в направлении изучения поля температур в зоне нагрева в случае применения круглого и кольцевого сопел при установке их под различными углами к преграде. Параметры теплообмена в пятне нагрева определялись по результатам обработки осциллограмм температура – время, полученных при испытаниях на нагревание теплоприемника газовыми струями.

Энергетические параметры газовой струи на границе газ-преграда при работе термоинструмента на различных режимах приведены в таблице 2. Следует отметить, что при работе термоинструмента с центробежной или пневматической форсункой в качестве горючего применялись соответственно бензин или дизельное топливо.

Анализ полученных результатов показывает, что при двухстадийном сжигании топливной смеси энергетические параметры газовой струи на границе газ-преграда имеют более высокие значения по сравнению с таковыми при гомогенном сжигании. Также очевидно преимущество пневматической форсунки над центробежной: энергетические параметры газовой струи в зависимости от режима работы термоинструмента и способа сжигания топливной смеси возрастают в 1,1-1,3 раза. Максимальные значения удельного теплового потока ($q = 7 \cdot 10^6$ Вт/м²) и эффективной температуры ($T_3 = 1685$ К), как важных тепловых параметров при разрушении горных пород высокотемпературными газовыми потоками, имеют место при двухстадийном сжигании топливной смеси в камере с пневматической форсункой.

Таким образом, при разработке конструкции энергосберегающего образца термоинструмента нового типа с высокими энергетическими параметрами газовой струи необходимо реализовать способ двухстадийного сжигания вязких топлив (кинематическая вязкость $\nu \geq 8 \cdot 10^{-6}$ м²/с) в камере с пневматической форсункой.