

Письмо в редакцию

УДК 662.215.2

К ВОПРОСУ О ВЫЧИСЛЕНИИ К. П. Д. ВЗРЫВА

Л. Г. Филиппенко
(Киев)

Для планирования взрывных работ предельная величина механического к. п. д. взрыва, доступная в данных условиях, часто имеет решающее значение. Определение к. п. д. η путем интегрирования нестационарного поля $w = P_{ij} \epsilon_{ij}$ представляет трудоемкую задачу даже при машинном счете и, кроме того, требует точного знания нестационарных полей напряжений P_{ij} и скоростей деформаций ϵ_{ij} при всех $a(t) \ll r \ll \infty$, $0 \leq t \leq \infty$, которые в реальных случаях могут быть оценены только весьма приближенно (здесь $a(t)$ — радиус взрывной камеры). С другой стороны, определение η через механическую работу, выполненную рабочим телом (взрывными газами) в процессе деформирования окружающего вещества, наталкивается на неопределенность термодинамических параметров рабочего тела вследствие существенной нестационарности и необратимости взрывных деформаций.

В работе [1] последняя трудность была устранена путем введения мысленного, частично обратимого процесса расширения рабочего тела между теми же начальным и конечным состояниями, что и в реальных условиях взрыва, и обеспечивающего то же самое изменение внутренней энергии тела, равное работе взрывных деформаций в реальном процессе вследствие его адиабатичности. Для к. п. д. взрыва η была получена формула

$$\eta = \frac{1}{A_0 I} [(w/I) - (q_1 - q_2)], \quad (1)$$

в которой A_0 и I означают киломолекулярный вес и теплоту взрывного разложения применяемого ВВ, I — механический эквивалент тепла, а w , q_1 и q_2 — работа и количество тепла, которыми рабочее тело обменивается с окружающей средой на различных этапах введенного в [1] мысленного процесса, причем вычисление этих величин оказывается возможным с помощью обычных термодинамических и термохимических формул. Если значение $a(t_k) \equiv a_k$ в момент установления механического равновесия в ближайшей окрестности зарядной камеры (t_k) определить из принципа подобия $a_k = k G_{\text{тр}}^{1/3}$ ($G_{\text{тр}}$ — тротиловый эквивалент взрывного заряда), пользуясь таблицами для коэффициента подобия k (см., например, [2]), то к. п. д. η по [1] окажется функцией одного неопределенного параметра — давления p_k или температуры T_k рабочего тела в момент t_k , связанных с объемом $V_k = 4\pi a_k^3/3$ уравнением состояния $p_k = p(T_k, V_k)$. В примере из [1] для взрыва зарядов пикриновой кислоты со значениями исходной плотности заряжания $\rho_0 = 10^3$ и $1,45 \cdot 10^3$ кг/м³ в горной породе, характеризуемой величиной $k=0,13$, зависимость $\eta(T_k)$ изображена кривыми 1 и 2 на рисунке [1]. Чтобы численно определить величину T_k , в [1] предположено еще одно равенство:

$$\eta = \frac{1}{A_0 I n_0} [U_0 - U_k], \quad (2)$$

в котором U_0 и U_k — внутренняя энергия рабочего тела в начале и в конце процесса деформирования, а $n_0 = G/A_0$. Для зависимости $\eta(T_k)$, по (2) в [1] приведена кривая 3 того же рисунка, а значения η и T_k определялись по пересечению кривых 1 и

2 с кривой 3. Такой способ определения T_k ошибочен: в действительности формулы (1) и (2) являются следствием одна другой, так что кривые $\eta(T_k)$ по (2) для всякого ρ_0 должны совпадать с соответствующими кривыми, задаваемыми (1). Наличие лишь одной кривой 3 в [1] и отличие ее от кривых 1 и 2 связано с систематической погрешностью вычислений в [1]. Правильное определение T_k (или p_k) должно основываться на каком-либо условии, независимом от (1). При взрыве ВВ с очень высоким значением l такое условие получить можно. Но даже когда этого условия нет, существенные качественные выводы могут быть сделаны уже на основании зависимости $\eta(T_k)$, определяемой по (1).

1. Механический к. п. д. взрыва тем больше, чем меньше конечное давление и температура p_k и T_k (разумеется, в отсутствие утечек газа через трещины в стенках камеры). В окрестности зарядной камеры в момент t_k для главных напряжений σ_r и σ_θ справедливо уравнение $d\sigma_r/dr + 2(1-\alpha)\sigma_r/r = 0$, $\alpha \equiv \sigma_\theta/\sigma_r$, интегрирование которого от a_k до a_p (радиус зоны, в которой вещество раздавлено сжимающими усилиями) с помощью теоремы о среднем дает

$$\sigma_r(a_k) = \sigma_r(a_p) \cdot (a_p/a_k)^{2 < 1 - \alpha >}. \quad (3)$$

Значение $\sigma_r(a_p)$ не может быть больше предела прочности материала на раздавливание σ_D , т. е. $\sigma_r(a_p) \leq \sigma_D$, причем сила неравенства тем больше, чем меньше α (т. е. чем меньше внутреннее трение в раздробленном веществе, препятствующее передаче радиальных усилий от стенки камеры к периферии). С другой стороны, множитель при $\sigma_r(a_p)$ в (3) больше единицы и растет с уменьшением α . Поэтому можно ожидать, что для $\sigma_r(a_k)$ справедлива оценка снизу:

$$\sigma_r(a_k) \geq \sigma_D. \quad (4)$$

А так как $\sigma_r(a_k) = -p_k$, то из кривых 1 и 2 (см. рисунок в [1]) при условии (4) следует, что при прочих равных условиях к. п. д. η тем меньше, чем прочнее деформируемый взрывом материал.

2. Имеет место существенная зависимость η от исходной плотности заряжения ρ_0 причем различие тем больше, чем прочнее окружающая среда. Химические ВВ широко применяются в горнодобывающей промышленности для отбойки горных пород; учет указанных зависимостей $\eta(\rho_0, \sigma_p)$ в допустимых технологической пределах может обеспечить экономию взрывчатых веществ, в промышленных масштабах весьма существенную.

3. К настоящему времени сколько-нибудь систематических исследований зависимости коэффициента подобия k от ρ_0 не опубликовано, а в таблицах k [2] не указано, для каких они измерялись; соответственно в расчете [1] значение $k=0,13$ бралось для обоих значений ρ_0 . Однако из существования зависимости $\eta(\rho_0)$ следует и существование зависимости $k(\rho_0)$, при этом заранее ясно, что k должно расти с ростом ρ_0 ввиду соответствующего роста η . С уменьшением k убывает и величина w в (1); отсюда видно, что учет зависимости $k(\rho_0)$ привел бы к еще большему изменению $\eta(\rho_0)$, чем это иллюстрируется кривыми 1 и 2.

Что же касается численной оценки к. п. д. η для обычных ВВ, то ее можно приближенно произвести, исходя из условия (4). Так, для рассмотренной в [1] горной породы с $\sigma_D = 3,5 \cdot 10^7$ н/м² при $\rho_0 = 10^3$ кг/м³ можно ожидать значений $\eta \leq 0,65$, а при $\rho_0 = 1,45 \cdot 10^3$ кг/м³ — значений $\eta \lesssim 0,8$.

Поступила в редакцию
23/V 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Г. Филиппенко. ФГВ, 1967, 3, 3.
2. Г. И. Покровский, И. С. Федоров. Действие удара и взрыва в деформируемых средах. М., Госстройиздат, 1957.