

Из фотографии следа на песчанике (рис. 3), зная масштаб, скорость съемки и линейную скорость резца, были определены длина (8—10 мм) и время существования яркой части следа (5 мс). При движении резца яркая часть следа перемещается вместе с ним, а на месте яркой части остается лишь слабо различимый на глаз след резца. Как показали фотоснимки взрывов метана, взрыв развивается именно от яркой части следа.

Изучение фотоснимков показало, что различия в воспламеняемости метана и угольной пыли фрикционными искрами объясняются прежде всего различными периодами индукции. Метан при одной и той же температуре имеет в десятки раз меньший период индукции, чем угольная пыль. Если вспышка пиритной пыли является сравнительно мощным и длительным (200—250 мс) тепловым источником для воспламенения угольной пыли, то времени существования раскаленного следа (5 мс), оставляемого резцом на поверхности песчаника, оказывается недостаточно для пиролиза угля с выделением необходимого количества взрывчатых газообразных продуктов и последующего их воспламенения. При добавке метана к пылевоздушной смеси период индукции уменьшается (с 20—50 до 1 мс и менее). При определенном соотношении угольной пыли и метана усредненный для смеси период индукции становится равным времени существования раскаленного следа на песчанике с необходимой для взрыва температурой. При добавлении метана в количестве 2,7% и более общий период индукции пыле-метано-воздушной смеси снижается до 5 мс и менее. Поэтому в рассмотренных выше условиях экспериментов такая смесь взрывается.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что в практических условиях мероприятия по взрывозащите от фрикционных искр необходимо применять не только в газовых шахтах, но и на шахтах, опасных по взрывам угольной пыли.

*Макеевский НИИ по безопасности работ
в горной промышленности*

УДК 531.66; 537.71

ПРОВОЛОЧНЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ КОНСТРУКЦИИ

*А. Т. Шитов, В. Н. Минеев, О. А. Клещевников,
В. И. Цыпкин, В. А. Рыжанский*

Изучению прочности конструкций и конструкционных материалов при их взрывном нагружении посвящены многочисленные работы. В [1, 2] приводятся данные о характере разрушения тонкостенных труб при взрывном нагружении их изнутри, а также о влиянии на их разрушение масштабного фактора. В [3, 4] методом взрывного расширения металлических колец определяются динамические зависимости напряжения — деформация различных конструкционных материалов. Как в указанных работах, так и во многих других важное место занимает проблема измерения упругопластических деформаций, происходящих при взрывном нагружении конструкций. Существующие методы непрерыв-

ной регистрации деформации при динамическом нагружении конструкций (емкостной датчик [5, 6], промышленные тензодатчики) позволяют регистрировать лишь местную деформацию конструкции. Кроме этого промышленные тензодатчики позволяют регистрировать деформации не более нескольких процентов.

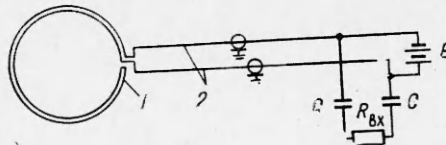


Рис. 1. Схема измерений.

1 — датчик; 2 — кабель РД-75-11-3 длиной 30 м; E — источник тока; $C=1$ мкФ; $R_{вх}=0,5 \cdot 10^6$ Ом — входное сопротивление осциллографа С1-18.

Для получения временной зависимости средней осесимметричной деформации конструкций при взрыве в них заряда ВВ использовался датчик из тонкой (диаметром 0,1 мм) нихромовой проволоки марки ПЭНК-0,1, которая наматывалась по окружности на поверхность металлических труб (диаметром 10—10 см) и колец (диаметром 10 см). С целью уменьшения электрических наводок один виток проволоки наматывался на поверхность исследуемых конструкций бифилярно. Намотанная на поверхность проволока заливалась тонким слоем эпоксидной смолы. По проволоке пропусклся стабилизированный во времени ток $i \sim 20$ мА. Величина тока бралась такой, чтобы можно было пренебречь изменением сопротивления проволоки за счет ее разогрева. Предполагалось, что деформации стенок конструкции и проволоки одинаковы, а связь

$$\varepsilon(t) = [r(t) - r_0]/r_0 = K[(R(t) - R_0)]/R_0 \quad (1)$$

не зависит от скорости деформирования. Здесь ε — деформация проволоки, r , R ; r_0 , R_0 — текущие и начальные радиусы конструкции и электрическое сопротивление проволоки, K — коэффициент тензочувствительности.

Величина K определялась при растяжении нихромовой проволоки (первоначальной длиной 1 м) в диапазоне деформаций $\varepsilon = 1 \div 20\%$. Скорость деформирования проволоки составляла $\sim 10^{-3}$ 1/с. Результаты эксперимента показали, что зависимость $K(\varepsilon)$ может быть представлена в виде $K = K_0 + \alpha(\varepsilon - \varepsilon_0)$, где $K_0 = 1,933$, $\alpha = 0,006$, $\varepsilon_0 = 1\%$. При этом среднеквадратичная погрешность аппроксимации составляет 0,0007. Из (1) следует, что

$$\varepsilon(t) = K(\Delta R(t)/R_0) = K(U(t)/E), \quad (2)$$

где $U(t)$ — переменная составляющая падения напряжения на датчике (проволоке); E — напряжение источника тока. Так как в (2) входит $U(t)/E$, целесообразно для каждого конкретного датчика и источника питания исключить измерения абсолютных значений $U(t)$ и E , и воспользоваться калибровкой измерительного тракта.

Схема измерений во взрывных экспериментах приведена на рис. 1. В эксперименте измерялось $U(t)$ переменное падение напряжения на $R_{дх}$. Поскольку внутреннее сопротивление источника E велико в сравнении с величиной R_0 , то $U(t)$ является переменной составляющей падения напряжения на датчике. Калибровка измерительного тракта произво-

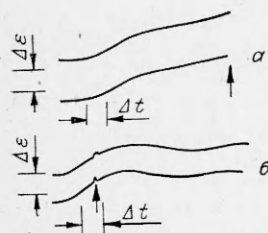


Рис. 2. Осциллограммы записей деформации во времени. Развертка слева направо. На каждой осциллограмме приведены записи с двух дублирующих датчиков.

а) $\Delta t = 100$ мкс, $\Delta \varepsilon = 6\%$, стрелка — момент разрушения трубы;
б) $\Delta t = 200$ мкс, $\Delta \varepsilon = 2\%$, стрелка — момент замыкания обкладок емкостного датчика, с помощью которого измерялась одновременно скорость разлета стенок трубы.

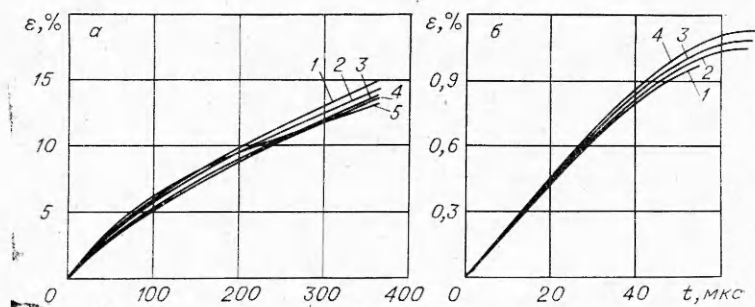


Рис. 3. Результаты измерения деформации проволочным датчиком и методом теневой фоторегистрации.

а) разлет трубы; 1, 3-5 — проволочные датчики; 2 — фоторегистрация;
б) разлет кольца; 1 — фоторегистрация, 2-4 — проволочные датчики.

дилась путем сравнения падения напряжения $U(t)$ с калиброванными величинами R_0 . На рис. 2 показаны осциллограммы $U(t)$ опытов со стальными трубами: а) диаметром $d=426$ мм, разрушилась, б) $d=1220$ мм, не разрушилась. При проведении экспериментов в центре подрывались сферические заряды ВВ. Начальная скорость разлета стенок трубы составляла $W_0=90$ м/с в первом опыте и $W_0=37$ м/с во втором. Таким образом скорость деформирования $\dot{\epsilon} \sim W_0/r_0$ составляла примерно 420 1/с в первом и $\dot{\epsilon} \sim 60$ 1/с во втором опыте.

Результаты измерения средней деформации и помощью предложенной методики сравнивались с результатами, полученными путем теневой фоторегистрации процесса разлета конструкций. Обе методики применялись одновременно при взрывном нагружении тонкой трубы (двуосное напряженное состояние элемента стенки) и тонкого кольца (одноосное напряженное состояние). Результаты этих опытов приведены на рис. 3. В каждом опыте использовалось 2—4 проволочных датчика. Анализ результатов опытов показал, что максимальный разброс изме-

Конструкция	D, мм	δ, мм	W ₀ , м/с	ε _{max} , %	f, кГц	
					расчет	эксперимент
Труба из стали 17ГС1	1220	15	37	3,1	1,3	1,0
Кольцо из отожженного дюралюминия Д16	110	2	34	1,0	7,4	7,2

ряемых деформаций проволочными датчиками составляет $\pm 10\%$. Результаты сравниваемых измерений деформаций в пределах точности измерений совпадают.

Предложенная методика позволила также экспериментально зарегистрировать собственные частоты колебаний труб и колец, которые во взрывных опытах не были доведены до разрушения (см., например, осциллограмму на рис. 2, б). В таблице приведены условия эксперимента с трубой и кольцом (D — наружный диаметр, δ — толщина стенки, ε_{max} — максимальная деформация), а также значения собственных частот f их радиальных колебаний.

Москва

Поступила в редакцию
20/IX 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Иванов, Л. И. Кочкин и др. ФГВ, 1974, **10**, 1.
2. А. Г. Иванов, В. Н. Минеев и др. ФГВ, 1974, **10**, 4, 603.
3. C. R. Hoggar, R. F. Recht. Exp. Mech., 1969, 9, 10.
4. P. C. Johnson, B. A. Stein, R. S. Davis. Symposium on Dynamic Behavior of Materials. ASTM Spec. Tech. Publ., № 336, 1962.
5. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, 1963, 1.
6. M. H. Rice. RST, 1961, **32**, 4.

УДК 536.468

О ПРЕДЕЛАХ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Л. А. Ловачев

Проблемы определения пределов распространения пламен (пределов воспламенения) в газовых смесях рассматривались в обзоре [1]. Пределы, которые измеряются в стандартных трубах [2, 3] или иных малоразмерных сосудах [2, 4], не сопоставлялись с данными для достаточно больших объемов, соответствующих условиям практического применения. Влияние всевозможных схем зажигания [5] не было систематически изучено и обобщено. Основные данные по пределам получены для точечных источников зажигания [2—4]. Такой специфичный выбор не был проверен и противоречит общепринятому определению понятия предела воспламенения [1, 2]. Еще менее приемлемо зажигание точечными источниками околораспределительных турбулизированных смесей, так как возрастание характеристик теплопереноса, свойственное турбулентным пламенам, сопровождается увеличением минимально необходимого зажигающего очага. Другая возможная крайность при опытном измерении пределов воспламенения в малоразмерных сосудах — выжигание фактически негорючей смеси излишне большим источником зажигания [1, 2]. Таким образом, возможности применимости данных по пределам воспламенения к большим объемам остаются не проверенными.

В работе [6] рассматривается и состояние проблемы определения пределов воспламенения. Все принятые в разных странах методы измерения характеристик взрываемости пылевоздушных смесей основаны на применении малоразмерных труб или сосудов [7—9]. Исследование взрывчатости угольных пылей в длинных галереях отличается особой специфичностью [10] и в настоящей статье обсуждаться не будет. Данные отечественной справочной литературы по пылям неметаллических материалов [11] основаны, главным образом, на результатах и методах [12]. Всем данным по пределам воспламенения пылей свойственна та же неопределенность, что и по газовым смесям [1—5]. Для пылей ситуация еще более осложняется трудностями диспергирования частиц в воздухе. Влияние турбулентности на пределы воспламенения пылей не изучалось [13].

Рассмотрим некоторые вопросы соответствия между пределами воспламенения для газов и для пылей (см. таблицу). В первой колонке приводятся значения для метана. Соответствующие данные для других более тяжелых углеводородов будут очень мало отличаться от $K=1,8$