

Положим в первом уравнении системы (11) $\rho=1$, $\beta=\pi/2$, тогда

$$\lambda_2 = h[\gamma \sin \gamma - \cos \gamma \ln(\cos \gamma)]/\pi.$$

Выражение для λ_3 очевидно:

$$\lambda_3 = h(1 - \cos \gamma)/(2 \sin \gamma) = h \operatorname{tg}(\gamma/2)/2.$$

Зависимость $\lambda_0(\gamma)$, задаваемая выражением (4), показана на рис. 3, 2. Из рис. 3 видно, что длина начального участка в пределах углов соударения $2\gamma=30\div 130^\circ$ (область струеобразования) оказывается примерно одинаковой и равной толщине пластины. Учет этой поправки на рентгеновских снимках дает добавку в 10% к величине l_1/l_2 .

При малых углах соударения длина начального участка стремится к бесконечности, однако в эксперименте при этих углах реализуется режим волнообразования и полученные результаты оказываются неприменимыми. В работе приводится оценка наименьшей длины начального участка; реально же величина λ_0 должна быть больше вследствие влияния вязких сил на скорость развития нестационарного процесса.

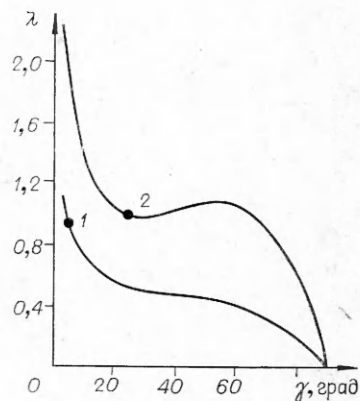


Рис. 3.

Красноярский
государственный университет

Поступила в редакцию
30/XI 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. С. К. Годунов, А. А. Дерибас, В. И. Мали. ФГВ, 1975, 11, 1.
2. А. А. Дерибас, И. Д. Захаренко. ФГВ, 1974, 10, 3.
3. С. К. Годунов, А. А. Дерибас и др. ФГВ, 1971, 7, 1.
4. Л. М. Милн-Томсон. Теоретическая гидродинамика. М., «Мир», 1964.

О НЕКОТОРЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ВЗРЫВОВ АЭРОДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

В. С. Сергеев, В. И. Кулиш, П. М. Петрухин,
М. И. Нецепляев

Распространение пламени в трубах с постоянной скоростью практически невозможно. Как правило, оно распространяется с переменной скоростью. Исключение составляет только детонация.

Наиболее полно в настоящее время изучены ускоряющиеся пламена в газоздушных и газокислородных смесях, которые приводят к детонации или недетонационному горению с весьма большой скоростью [1]. В последнее время большое внимание уделяется исследованиям по изучению механизма воспламенения и развития взрыва аэродисперсных систем [2—4]. При этом, как правило, изучается горение системы газ —

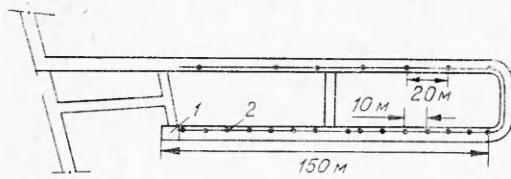


Рис. 1.

твердые частицы. Взрыв угольной пыли в шахтах — один из частных случаев горения аэродисперсных систем. Процесс распространения горения в выработках большого диаметра и на большое расстояние недостаточно изучен, хотя он представляет большой интерес

в теоретическом плане и важен для практических целей.

Распространение взрывов пылеугольной аэродисперсной среды изучалось в системе горизонтальных горных выработок с двумя поворотами (рис. 1). Выработки круглого сечения диаметром около 3 м пройдены на глубине порядка 40 м от земной поверхности и соединены с ней через наклонную выработку и горизонтальную штольню. Они закреплены металлической кольцевой крепью, которая на отдельных участках покрыта бетоном. Общая длина рабочей части выработок составляет 320 м.

Взрыв пылевоздушной среды инициировался у закрытого конца одной из выработок, для чего в ее тупиковой части при помощи бумажной диафрагмы создавалась камера 1 объемом 40 м³. Последняя заполнялась метано-воздушной стехиометрической смесью. Смесью воспламенялась взрывом заряда ВВ (ПЖВ-20, Т-19) весом 0,15 кг. В зависимости от условий опыта на участке системы выработок длиной 150 м (опыт 1) или 270 м (опыты 2, 3) создавались отложения угольной пыли из расчета 350 г/м³. В опытах использовалась тонкодисперсная пыль углей различной стадии метаморфизма, содержащая 85—90% частиц диаметром менее 75 мкм.

Параметры взрывов регистрировались фотоэлектрическими датчиками пламени и датчиками давления 2, которые располагались в специальных боксах (через 10 м при изучении процесса распространения взрыва по прямолинейному участку и через 20 м — по остальной сети выработок).

В результате проведенных экспериментов установлено, что скорость распространения фронта пламени по пылевоздушной среде носит пульсационный характер, периодически нарастая и снижаясь по величине (рис. 2). На прямолинейном участке выработки первый пик скорости распространения фронта пламени наблюдается на удалении 35—40 м от места инициирования взрыва. В этой зоне преобладающее участие во взрыве принимает метано-воздушная смесь. В дальнейшем распространение пламени взрыва происходит только по пылевоздушной смеси и его скорость за счет больших затрат тепла на газификацию частиц несколько снижается. В дальнейшем в зоне развившегося горения аэровзвеси скорость пламени, пульсируя, имеет тенденцию к возрастанию.

Особенно резкий рост скорости пламени зарегистрирован при его распространении по криволинейному участку выработки (рис. 2, 2, 3). При этом скорость пламени возрастала в 2,7—8,6 раза по сравнению со значением на прямолинейном участке.

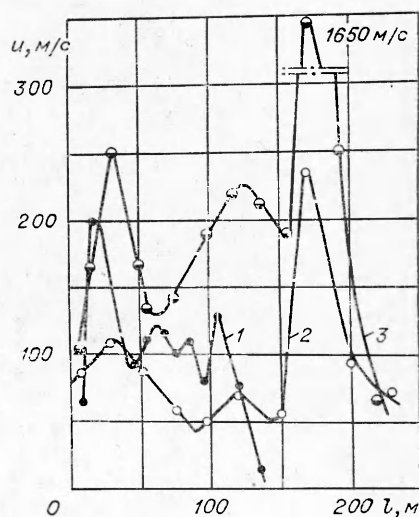


Рис. 2.

Пульсационный характер распространения пламени взрыва аэродисперсной среды можно объяснить следующим образом. После воспламенения метано-воздушной смеси в камере, вызванного практически точечным источником, пламя начинает ускоряться ввиду неустойчивости нормального фронта горения и турбулизации среды отраженными ударными волнами. Возникает первый скачок скорости распространения пламени.

Это ускорение фронта пламени приводит к образованию новой поверхности разрыва, т. е. фронта ударной волны. В определенных условиях эта волна могла бы вызвать переход горения в детонацию, однако для аэродисперсных систем такой переход в горных выработках не реализуется [5], и скорость пламени начинает убывать. В то же время сформированная ранее ударная волна создает перед фронтом пламени аэродисперсную среду взрывчатой концентрации, а за счет теплообмена между зоной горения и холодной смесью происходит подготовка среды — пиролиз угольных частиц. К этому моменту распространение первичной ударной волны начинает затухать, в результате чего концентрация пылевоздушного облака снижается. Возникает зона с обедненной питательной средой.

При распространении горения в зоне с заранее подготовленной взрывчатой средой фронт пламени ускоряется, генерируя повторную ударную волну. В дальнейшем эти процессы повторяются. На участке выработки длиной 150 м, как правило, наблюдается 3—4 скачка скорости пламени.

Протекание взрыва по криволинейному участку выработки характеризуется неравномерным распределением скоростей и давлений в потоке [6], наличием поперечных градиентов давления, в результате чего образуется вторичное вихревое движение среды. Это способствует турбулизации взрывчатой среды как перед фронтом пламени, так и самой зоны горения, вследствие чего скорость распространения пламени возрастает. С увеличением скорости входа потока в криволинейный канал общая неравномерность распределения скоростей и давлений в потоке на криволинейном участке канала также увеличивается. При этом на выпуклой стенке криволинейного участка выработки могут реализоваться сверхзвуковые скорости, что подтверждается ростом скорости распространения пламени в опыте 3 (см. рис. 2) со 195 до 1650 м/с. За пределами поворота вторичное вихревое движение исчезает и скорость распространения пламени снижается.

Ускоряющийся фронт пламени генерирует новую ударную волну, распространяющуюся с большей скоростью, чем первичная. Так, в опыте 3 (см. рис. 2) ускорение фронта пламени через 0,012 с после входа его в криволинейный участок выработки привело к появлению вторичной ударной волны, распространяющейся со скоростью более 600 м/с. При этом давление на фронте новой ударной волны возросло в 4—5 раз и достигло значений $(2,0—2,8) \cdot 10^5$ Па. Первичная волна распространялась со скоростью 445 м/с, а давление на ее фронте составляло около $0,7 \cdot 10^5$ Па.

Возникновение второй и даже третьей ударных волн наблюдается также и на прямолинейном участке выработки (рис. 3). Вторичная ударная волна 2 возникает, как правило, на удалении 50 м от тупика и спустя 0,1—0,26 с догоняет первичную. Этот процесс реализуется на участке выработки длиной 40—80 м. В случае возникновения вторичной ударной волны на удалении 70 м и более от тупика выработки новая волна в пределах участка наблюдения (до 280 м) не догоняла первичную 1.

Таким образом, в результате исследований, проведенных в условиях горных выработок, установлен пульсационный характер изменения фронта пламени при распространении взрыва пылеугольного облака.

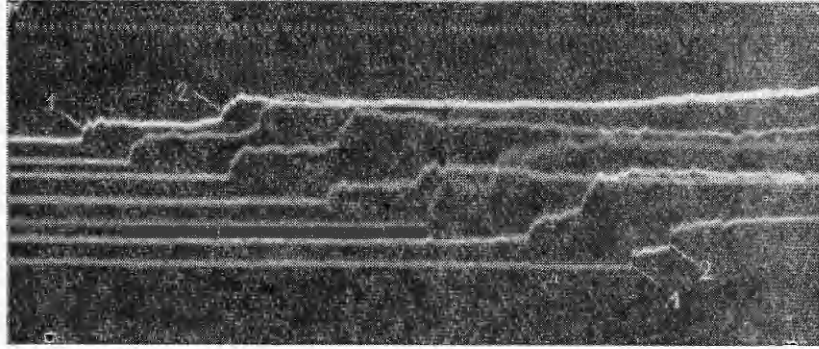


Рис. 3.

В случае распространения взрыва по криволинейному участку выработки наблюдается резкое ускорение фронта пламени. Скачки скорости распространения способствуют образованию вторичных ударных волн, которые, как правило, догоняют первичную.

*Макеевский НИИ
по безопасности работ
в горной промышленности*

*Поступила в редакцию
16/VI 1975*

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Щелкин, Я. К. Трошин. Газодинамика горения. М., Изд-во АН СССР, 1963.
2. Р. И. Нигматулин, П. Б. Вайнштейн.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука» 1972.
3. О. М. Тодес, А. Д. Гольцикер и др.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука» 1972.
4. О. М. Тодес, А. Д. Гольцикер, К. К. Ионушас. ФГВ, 1974, 10, 1.
5. И. Ф. Ярембаш, В. С. Сергеев, В. В. Бахтин. ФТПРПИ, 1973, 4.
6. М. Е. Дейч. Техническая газодинамика. М., «Энергия», 1974.

ЗАТУХАНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПРИ РАЗЛЕТЕ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ВВ В ГАЗ

О. С. Попель, О. А. Синкевич, А. Л. Шевченко

Экспериментальное исследование процесса движения ударных волн во взрывных ударных трубах [1—4] показывает, что в отличие от обычных диафрагменных ударных труб затухание ударной волны в них начинается уже с момента ее образования и должно учитываться при расчете движения ударной волны в канале трубы. Попытка расчета затухания ударной волны предпринята в работе [5]. На основе интегральных соотношений с введением ряда предположений о распределении параметров в продуктах взрыва в [5] получено уравнение траектории ударной волны. Как показывает анализ этого уравнения, начальная скорость ударной волны равна $(\gamma+1)\epsilon$ (γ — показатель адиабаты газа, ϵ — удельная энергия взрыва, отнесенная к 1 кг ВВ) и не зависит от плотности (давления) газа. В связи с этим вызывает сомнение совпадение расчетных и экспериментальных данных, представленных в [5] для различных газов.