

в пиротехнической смеси является лимитирующей стадией в период воспламенения образцов.

Однако времена горения образцов, наблюдавшиеся в эксперименте, не могут быть рассчитаны по уравнениям (5) при использовании полученных кинетических параметров. Это указывает на иной механизм реагирования компонентов в волне горения. Для адекватного моделирования волны горения в пиротехнической смеси необходим учет таких факторов, как возможный рост тормозящего действия слоя SiO_2 на частицах кремния, кинетика распада свинцового сурика, транспорт окислителя к зоне окисления горючего.

Таким образом, в данной работе изложен общий подход к определению кинетических параметров из данных о воспламенении, зажигании и горении «безгазовых» систем, а также определены кинетические константы пиротехнической смеси, что позволило сделать предположение о лимитирующей стадии в период ее воспламенения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейнгартен Г. // Вспомогательные системы ракетно-космической техники/Под ред. И. В. Тишунина.— М.: Мир, 1970.
2. Boddington T., Cottrell A., Laye P. G. Combust. Flame.— 1989.— 76, N 1.— P. 63—69.
3. Бенин А. И., Израилит И. С., Косой А. А. и др. Кинетический анализ процессов термического разложения конденсированных веществ с использованием ЭЦВМ // ФГВ.— 1973.— 9, № 1.— С. 54—67.
4. Жилинских А., Шалтянис В. Поиск оптимума: компьютер расширяет возможности.— М.: Наука, 1989.
5. Александров В. В., Давыденко А. А., Еремин А. Ф. и др. Определение кинетических параметров и критического диаметра по зависимости скорости безгазового горения от температуры // ФГВ.— 1984.— 20, № 6.— С. 79—83.
6. Вилунов В. Н. Теория зажигания конденсированных веществ.— Новосибирск: Наука, 1984.
7. Термодинамические свойства индивидуальных веществ/Под ред. В. П. Глушко.— М.: Изд-во АН СССР, 1962.— Т. 2.
8. Митова И. Я. Физико-химия термического окисления кремния в присутствии примесей.— Воронеж: ВГУ, 1987.

г. Ленинград

Поступила в редакцию 2/X 1990

УДК 622.235.5

В. В. Боровиков, А. С. Иванов

О ВЛИЯНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОДАЧИ ГАЗА ПОД СЛОЙ ГРУНТА НА РЕЗУЛЬТАТ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВЫХ ИСТОЧНИКОВ

Рассмотрено влияние интенсивности подачи газа под слой грунта на результат совместного действия газовых источников. Установлено, что с уменьшением расхода газа расстояние между двумя соседними источниками, когда образуется общая воронка выброса, уменьшается. Получены зависимости для определения расстояния между источниками, при которых в зависимости от расхода газа, линии наименьшего сопротивления и показателя действия взрыва возникают характерные эффекты: общая воронка правильной формы, общая овальная в плане воронка, отдельные воронки.

Процессы газодинамического воздействия на слой грунта, в том числе и для совместного действия зарядов, рассматриваются в области взрывных процессов, для которых характерна максимальная интенсивность газообразования. В [1] приведена известная зависимость для определения максимального расстояния между зарядами a , при котором в результате взрыва в грунте образуется общая воронка:

$$a = 0,5W(n + 1), \quad (1)$$

где W — линия наименьшего сопротивления; n — показатель действия

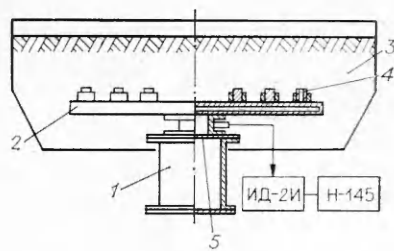


Рис. 1.

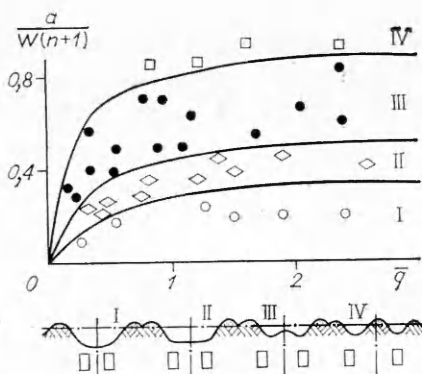


Рис. 2.

взрыва. В [2] рассмотрен характер взаимодействия зарядов в зависимости от a , предложена расчетная формула по определению оптимального расстояния между зарядами. При взрыве длительность процесса газообразования (детонации ВВ) неизмеримо меньше времени разрушения и разлета грунта. Однако для практики большой интерес представляет задача о совместном действии газовых источников с широким диапазоном расходов газа.

Цель исследований заключалась в определении эффекта совместного действия газовых источников, расположенных под слоем грунта, в зависимости от высоты слоя, расстояния между источниками и режима подачи газа.

Исследования проводили на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Под слоем песка 3 устанавливалась труба 1 с закрепленным на ней газовым коллектором 2, в верхней части которого сделаны отверстия с резьбой, куда устанавливались вкладыши 4 с калиброванными отверстиями или заглушки. Между трубой и коллектором расположена герметичная мембрана 5 из синтетической пленки. После наддува трубы сжатым воздухом до заданного давления мембрана принудительно прорывалась, чем и обеспечивалась подача газа из незаглушенных отверстий коллектора под слой песка. Интенсивность подачи газа регулировали путем использования вкладышей с различными диаметрами отверстий или изменением давления газа в трубе. Энергия газа варьировалась изменением объема трубы и давления газа. В каждом эксперименте газ в слой подавался одновременно из двух отверстий коллектора, причем суммарная площадь отверстий была значительно меньше площадей сечения коллектора или трубы.

В результате совместного действия двух газовых источников в грунте в зависимости от высоты слоя, энергии, расхода газа и расстояния между источниками образовывалась либо общая воронка правильной или овальной в плане формы, либо отдельные воронки, т. е. возникали те же эффекты, что и при совместном взрыве зарядов на выброс.

Масштабный множитель для расхода газа определяется масштабными множителями для массы газа и продолжительности его подачи. В [3, 4] приведены масштабные множители для энергии взрыва и времени разлета грунта. Для количественной оценки действия взрыва используется взрыв эталонного заряда нормального действия, в результате которого образуется воронка выброса с углом при вершине, равным 90° , и объемом $V \sim W^3$.

Учитывая, что диаметр отверстия, из которого подается газ, в рассматриваемом случае может быть соизмерим с W , в качестве эталона целесообразно использовать такие параметры подачи газа в слой, при которых возникает воронка выброса с углом при вершине 90° , образующая которой касается края отверстия. Тогда

$$V \sim (W + r)^3 - r^3,$$

где r — радиус отверстия, из которого осуществляется подача газа.

В качестве масштаба для энергии заряда во взрыве на выброс используется величина $(\gamma W + p + \sigma) W^3$, учитывающая затраты энергии на перемещение выбрасываемого грунта в поле гравитационных сил (γ — объемный вес грунта), на преодоление атмосферного давления p и на разрушение массива грунта (σ — прочность грунта).

Масштаб для времени может быть определен из следующих соображений. Кинетическая энергия выбрасываемого грунта пропорциональна величине $\rho u^2 [(W + r)^3 - r^3]$, где ρ — плотность, а u — скорость грунта. Из отношения кинетической энергии грунта к потенциальной, необходимой для подъема его в воронке выброса на высоту $W + r$, находим масштаб для скорости

$$\bar{u} = \frac{u}{\sqrt{gW + \frac{p}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho}}}.$$

Масштаб времени определяется делением характерной длины на характерную скорость

$$\bar{t} = \frac{t}{W + r} \sqrt{gW + \frac{p}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho}}.$$

Учитывая, что энергия газа связана с его массой уравнением состояния, можно получить безразмерный расход по формуле

$$\bar{q} = \frac{\bar{G}}{\bar{t}} = \frac{q \rho^{0,5} (W + r) RT}{(k - 1) (\gamma W + p + \sigma)^{1,5} [(W + r)^3 - r^3]}.$$

Здесь q — расход газа; G — безразмерная масса газа; k , R , T — показатель адиабаты, газовая постоянная и температура газа.

В экспериментах длительность подачи газа регистрировалась по показаниям датчика давления ДД-10, установленного в трубе и подключенного через индикатор ИД-2И к шлейфовому осциллографу. Значение расхода в каждом конкретном эксперименте определялось делением начальной массы газа на длительность процесса. Результаты экспериментов приведены на рис. 2, где одинаковыми символами обозначены однотипные эффекты. Линии, обозначающие границы эффектов на рис. 2, описываются уравнением вида:

$$a = B(1 - e^{-\alpha \bar{q}}), \quad (2)$$

где a — расстояние между газовыми источниками; B , α — эмпирические коэффициенты. В пользу зависимости (2) свидетельствует и тот факт, что при высоких расходах газа, характерных для взрыва зарядов, искомая зависимость должна совпадать с (1).

Анализ полученных результатов показывает, что в координатах безразмерный расход — относительное расстояние между источниками можно выделить четыре зоны с характерными эффектами. В зоне I в результате совместного действия двух газовых источников образуется общая воронка правильной формы. Для границы этой зоны

$$a = 0,3W(n + 1)(1 - e^{-1,8\bar{q}}).$$

В зоне II образуется общая овальная в плане воронка, большая ось которой ориентирована по линии, соединяющей газовые источники. Здесь

$$a = 0,5W(n + 1)(1 - e^{-2,5\bar{q}}).$$

В третьей зоне по мере увеличения расстояния между газовыми источниками наблюдается формирование перемишки между воронками и на границе, описываемой уравнением

$$a = 0,85W(n + 1)(1 - e^{-3,3\bar{q}}),$$

происходит окончательное разделение воронок. Газовые источники в четвертой зоне не оказывают взаимного влияния, а в результате их действия образуются две отдельные воронки.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что при $\bar{q} \geq 3$ интенсивность подачи газа в грунт практически не влияет на размеры воронки, а результат газодинамического воздействия может быть определен по известным зависимостям для сосредоточенных зарядов выброса. Однако при $\bar{q} < 3$ со снижением расхода газа расстояние между газовыми источниками, при котором образуется общая воронка выброса, уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев Ф. А., Барон В. Л., Блейман И. Л. Производство массовых взрывов.— М.: Недра, 1977.— 312 с.
2. Арутюнов О. А., Григорян С. С., Камалин Р. З. Об эффективном взаимодействии сосредоточенных зарядов выброса // ФГВ.— 1985.— 21, № 4.— С. 104—110.
3. Адушкин В. В., Кривошеев С. Г. Моделирование промышленных взрывов на выброс в условиях несложного рельефа свободной поверхности грунта // Взрывное дело, № 73/30.— М.: Недра, 1974.— С. 161—170.
4. Адушкин В. В., Родионов В. Н. Моделирование взрывов на выброс при помощи лабораторной вакуумной установки // Там же, № 64/21.— М.: Недра, 1968.— С. 24—42.

г. Ленинград

*Поступила в редакцию 5/VI 1990,
после доработки — 13/XI 1990*

УДК 620.171.3

С. А. Новиков, В. А. Петров, Л. М. Тимонин

УСТАНОВКИ ВЗРЫВНОГО ТИПА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Дается описание принципов работы и конструкций ряда взрывных испытательных установок для динамических испытаний материалов и конструкций. Большая энергоемкость ВВ позволяет получать параметры нагружающих импульсов, практически недостижимые существующими механическими системами копрового типа. Описанные установки имеют малые габариты, стоимость их значительно меньше стоимости соответствующих копровых установок. Надежная локализация взрыва позволяет широко применять установки взрывного типа в лабораторных условиях. Опыт работы с такими установками свидетельствует о широких возможностях их применения в различных отраслях техники.

Способы формирования импульса давления заданной формы

В ряду технических решений, позволяющих создать сравнительно дешевые малогабаритные установки с большой энергоемкостью, стоит применение бризантных взрывчатых веществ (ВВ) в качестве энергоносителя. При этом обеспечивается выполнение точной синхронизации момента нагружения с другими процессами.

Основные задачи при создании установок взрывного типа: 1) растягивание импульса давления (снижение давления на фронте волны, увеличение длительности), 2) локализация эффекта взрыва, что существенно для стационарных установок в условиях лаборатории.

Способ растягивания импульса давления с помощью крешеров (демпферов), применяемый при обычных копровых испытаниях, успешно используется и при взрывном нагружении [1]. Принципиальная схема такого нагружающего устройства представлена на рис. 1, где 1 — заряд ВВ, 2 — ударник, 3 — демпфер, 4 — объект испытаний (ОИ). Для формирования ударного импульса трапецеидальной формы динамическая диаграмма сжатия демпфера должна соответствовать идеальному упругопластическому телу. Из реальных материалов близкой по форме диаграммой обладают некоторые пористые вещества и трубчатые крешеры