

удобно вычислять $N_2 = \frac{1}{\Omega}$, где

$$\Omega = \int_0^b dx \left[\int_0^{b-x} \lambda(r) \lambda(r+x) \exp\left(-\int_r^{r+x} \lambda(r) dr\right) \left(r + \frac{x}{2}\right) dr + \lambda(b-x) \exp\left(-\int_{b-x}^b \lambda(r) dr\right) \left(b - \frac{x}{2}\right) \right] dx.$$

Таким образом, формула (17) представляет собой распределение суммарного размера куса по его линейному размеру, выраженное через линейную плотность дислокаций при цилиндрической симметрии поля разрушений. Представленные выше теоретические соображения положены в основу критерия разрушения, который назван функцией дробности.

1. Мосинец В. М., Абрамов А. В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. М.: Недра, 1982. – 247 с.
2. Друкованый М. Ф., Ильин В. И., Ефремов Э. И. Буровзрывные работы на карьерах. М.: Недра, 1978. – 389 с.

УДК 539.375+624.139.329

КАМУФЛЕТНЫЙ ВЗРЫВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ЕГО НА ОДНОМ ИЗ ТОРЦОВ

Н. С. Ремез, канд. техн. наук (ЗАО "Техновзрыв")

Виконано чисельне моделювання взаємодії вибухових хвиль з ґрунтовим середовищем при ініціюванні циліндричного заряду вибухової речовини на одному з його торців. Розглядається зв'язана задача для продуктів детонації і ґрунту. Ґрунт моделюється твердим багатоконпонентним середовищем зі змінним коефіцієнтом в'язкості. Отримано залежності параметрів вибухових хвиль від часу. Проведено порівняння з результатами чисельного розв'язку інших авторів.

Подземный взрыв заряда химического взрывчатого вещества (ВВ) может быть разделен на две стадии: детонационный процесс в продуктах детонации (ПД) и волновой процесс в газе, полученном из ПД, и в окружающем грунтовом массиве.

Большинство численных исследований подземного взрыва основывается на упрощенных модельных представлениях взаимодействующих сред, при которых не учитывается процесс детонации ВВ и конечность размеров заряда, хотя в практике ведения взрывных работ реальные цилиндрические заряды имеют конечные размеры и инициируются, как правило, на одном из торцов.

В настоящее время имеется ограниченное число работ, посвященных численному исследованию взрывов цилиндрических зарядов конечной длины в различных средах. В работе [1] рассмотрен взрыв конечного цилиндра в совершенном газе. Подводный взрыв пентолитового цилиндра конечной длины с инициированием в центре или на торце заряда изучен в работе [2]. В [3] моделируется подводный взрыв TNT плиты при инициировании на одном из ее концов. Изучению взрыва цилиндрического заряда конечной длины в грунте посвящена работа [4].

В связи с этим численное исследование ударных волн с грунтовым пространством при взрыве цилиндрического заряда конечной длины с учетом инициирования детонации на одном из его торцов представляет научный и практический интерес.

Рассматривается взрыв цилиндрического заряда ВВ длиной l и радиусом r_0 в грунтовом массиве вдали от свободной поверхности. Уравнения движения в рамках механики сплошной среды в Лагранжевой системе координат r, z для осевой симметрии имеют следующий вид:

$$\frac{\partial \Sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial r} + \frac{\tau_{zr}}{r} = \rho \frac{du}{dt}, \quad u = \frac{dz}{dt}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{zr}}{\partial z} + \frac{\partial \Sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\Sigma_{rr} - \Sigma_{\theta\theta}}{r} = \rho \frac{dw}{dt}, \quad w = \frac{dr}{dt}; \quad (2)$$

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{w}{r}; \quad (3)$$

$$\sigma_{zz} = S_{zz} - P, \quad \sigma_{rr} = S_{rr} - P, \quad \sigma_{\theta\theta} = S_{\theta\theta} - P; \quad (4)$$

$$P = \frac{1}{3}(\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} + \sigma_{zz}); \quad V = \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (5)$$

где $\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{zz}$ – нормальные напряжения; τ_{zr} – касательное напряжение; $S_{zz}, S_{rr}, S_{\theta\theta}$ – компоненты девиатора тензора напряжений (для продуктов детонации $S_{zz}, S_{rr}, S_{\theta\theta} = 0$).

Грунт моделируется твердой пористой многокомпонентной вязкопластической средой с переменным коэффициентом объемной вязкости:

$$\dot{\epsilon} = \varphi(P, \epsilon) \dot{P} - \frac{\alpha_1 \lambda(P, \epsilon)}{\eta(P, \epsilon)} \psi(P, \epsilon), \quad (6)$$

где функции, входящие в это уравнение, определяются согласно [5].

Расширение продуктов детонации происходит согласно двучленной изохентропе [6]:

$$P = A\rho^N + B\rho^{\gamma+1}, \quad (7)$$

где A, N, B, γ – экспериментальные данные.

Начальные условия задачи:

- 1) заряд имеет одинаковую плотность ρ_n и давление P_0 , равное атмосферному;
- 2) взрыв инициируется в центре одного из торцов заряда, где задается давление P_n ;
- 3) плотность грунта равна ρ_0 при давлении P_0 .

Граничными являются условия непрерывности на контактной границе продукты детонации—грунт нормальных компонентов вектора скорости и среднего гидростатического давления.

Для решения поставленной задачи использовался конечно-разностный метод в Лагранжевой системе координат с автоматически расширяющейся подвижной сеткой в конце каждого вычислительного цикла с применением конечно-разностной схемы типа "крест" [7]. В уравнения движения в качестве добавки к давлению вводится линейно-квадратичная искусственная вязкость для возможности ведения сквозного счета как на гладких, так и на разрывных решениях.

В расчетах радиус заряда r_0 был равен 0,1 м, а длина заряда l принималась равной четырем радиусам заряда. В качестве ВВ был выбран тротил, константы для уравнения состояния (7) приведены в [4]. Расчеты проводились для глинистых грунтов [8].

На рис. 1 приведены зависимости среднего гидростатического давления от времени в различных точках внутри продуктов детонации при углах 180° , 90° , 0° относительно оси заряда. Из рисунка следует, что с удалением от детонатора максимальное давление падает, однако с течением времени наибольшее давление наблюдается при 90° . На рисунке видны повторные пики давления, вызванные взаимодействием волн, отраженных от границ раздела сред и от оси симметрии заряда.

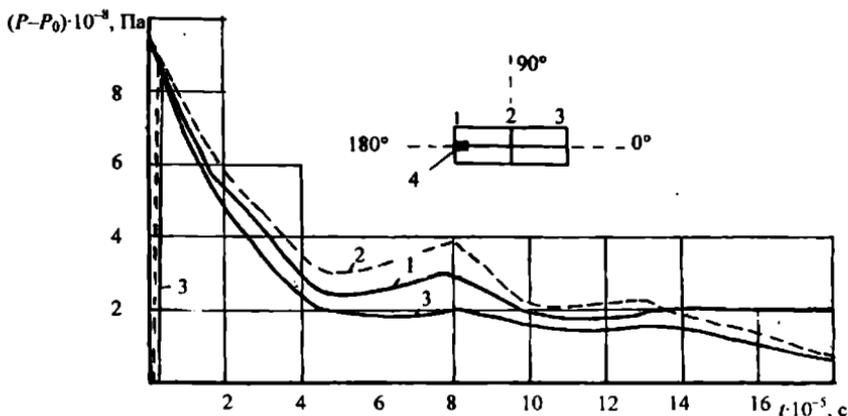


Рис. 1. Зависимость давления от времени внутри продуктов детонации при 180° (1), 90° (2), 0° (3); 4 — детонатор

На рис. 2 представлено начальное положение заряда (кривая 1), продуктов детонации (кривые 2 и 2') и головной ударной волны при $t = 0,8 \cdot 10^{-3}$ с в грунте (кривые 3, 3'). Кривая 4 соответствует положению головной ударной волны в воде при $t = 0,12 \cdot 10^{-3}$ с [2]. Кривые без штрихов соответствуют расчету по схеме мгновенной волновой детонации [4], кривые со штрихами – расчету при детонации заряда с одного из торцов. Полная поверхность получается при вращении этих линий вокруг оси z . Из рисунка следует, что при инициировании заряда на одном из торцов происходит отклонение от плоскости симметрии при развитии как взрывной полости, так и головной ударной волны. Из сопоставления кривых 3' и 4 следует, что когда головная ударная волна находится приблизительно на расстоянии 15 радиусов заряда, то ее форма в грунте и в воде подобна при инициировании заряда на одном из торцов. При этом в грунте ударная волна распространяется значительно быстрее.

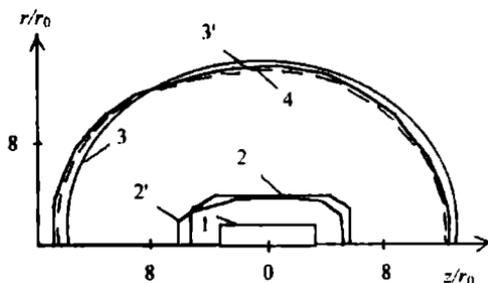


Рис. 2. Начальное положение заряда (1), продуктов детонации (кривые 2 и 2'), головной ударной волны при $t = 0,8 \cdot 10^{-3}$ с в грунте (кривые 3, 3') и в воде при $t = 0,12 \cdot 10^{-3}$ с (4)

Это косвенное сопоставление с численными результатами, полученными другими авторами, позволяет сделать вывод об эффективности разработанной методики расчета подземного взрыва при инициировании заряда на одном из торцов.

1. Шуришалов Л. В. К расчету взрыва цилиндрического заряда конечной длины // Механика сплошной среды. Труды вычислительного центра АН СССР. – 1971. – С. 1262–1264.

2. Sternberg H. M. Underwater detonation of pentolite cylinders // Phys. Fluids 30 (3). – March 1987. – P. 761–769.

3. Shin J. S. and Chisum J. E. Modeling and simulation of underwater approach // Shock and Vibration. – 1997. – 4. – P. 1–10.

4. Лучко И. А., Плакий В. А., Ремез Н. С. Развитие исследований по геогидродинамике взрыва // Гидромеханика. – Вып. 70. – 1996. – С. 61–69.

5. Ремез Н. С. Особливості деформування твердого багатоконпонентного в'язкопластичного середовища зі змінним коефіцієнтом в'язкості при

динамічних навантажень // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво": Збірник наукових праць. – Київ, 2000. – Вип. 3. – С. 34–39.

6. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П. и др. // Физика взрыва. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

7. Уилкинс М. Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир, 1967. – С. 212–263.

8. Лучко И. А., Плаксий И. А., Ремез Н. С. и др. Механический эффект взрыва в грунтах / Под ред. И. А. Лучко. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.

УДК 539.4.011.25.019.3: 621.314.26

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ИМПУЛЬСНО-ВОЛНОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВЯЗИ СРЕДЫ

О. М. Терентьев, канд. техн. наук (НТУУ "КПИ")

Розглянуто методичку визначення частоти власних коливань, часу релаксації та вимушеної частоти коливань міжмолекулярних зв'язків нафтових сумішей. Трансформація частоти зовнішнього джерела енергії до субрезонансного діапазону забезпечує руйнування зв'язків між молекулами середовища зі зниженою енергоємністю та підвищеним коефіцієнтом корисної дії.

Снижение энергоёмкости и повышение КПД процесса разрушения достигается за счет физического воздействия на электромагнитные связи внешней среды управляемыми электромагнитными потоками [1]. Такое воздействие основано на нагружении разрушаемой среды импульсно-волновыми колебаниями частотой, равной или близкой к собственным частотам молекулярных связей среды. В результате резонансных явлений происходит разрыв электромагнитных связей среды. Расчет собственных колебаний среды проведен на основе анализа энергетического баланса системы внешний источник–среда с учетом взаимодействия ближайших молекул с разными массами (рис. 1).

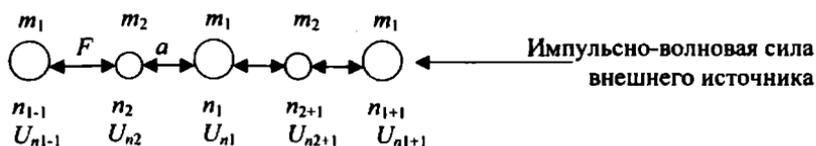


Рис. 1. Цепочка, состоящая из чередующихся молекул: a – среднее расстояние между молекулами; U_n – амплитуда колебаний; m – масса молекулы; $F = md^2x/dr^2$ – сила, действующая между молекулами, кратна мгновенному значению расстояния между ними