

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ВЗРЫВЕ СКВАЖИННОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ВОДОНАПОЛНЕННОЙ ПОЛОСТИ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ

*В. С. Прокопенко, докт. техн. наук (ЗАО «Техновзрыв»), Н. С. Ремез,
канд. техн. наук (ИГМ НАН Украины)*

Наведено результати чисельних розрахунків перерозподілу енергії при вибуху свердловинних зарядів у водонаповненій порожнині, розташованій в породному масиві.

Технологии, основанные на использовании энергии взрыва, получили широкое развитие в связи с необходимостью ведения огромных объемов работ в различных отраслях народного хозяйства. Постоянно растущие требования к энергосбережению предопределяют необходимость совершенствование известных и создание новых методов управления энергией взрыва на основе современных знаний о волновых процессах взрыва в различных средах. Как известно, эффективность использования энергии взрыва можно значительно повысить за счет ее распределения. Одним из путей управления энергией взрыва является понижение амплитуды и увеличение длительности взрывного импульса. Такого результата можно достичь либо выбором низкобризантных взрывчатых веществ, либо применением зарядов с водным или воздушным промежутком.

Исследованию действия взрывов зарядов с воздушными промежутками в грунтах, горных породах и воде посвящены многочисленные публикации, например работы [1–6]. Следует отметить, что в основу большинства исследований по данному вопросу положены экспериментальные исследования. Теоретическими являются работы [1, 4, 7–9]. Вопрос о перераспределении энергии при взрывах скважинных зарядов в полостях является недостаточно изученным. Поэтому численное исследование распределения энергии взрыва в зависимости от размера водонаполненной полости на основе современных модельных представлений взаимодействующих сред является актуальным и имеет непосредственную научную и практическую ценность.

В настоящей работе исследуется взрыв цилиндрического заряда взрывчатого вещества (ВВ) в заполненной водой соосной скважине, расположенной в горном массиве.

Принимается схема мгновенной волновой детонации [10].

Уравнения движения продуктов детонации, воды и горной породы представляют собой законы сохранения массы импульса и энергии [11].

В процессе распространения ударной волны в воде и горной породе происходят необратимые потери энергии. Уравнение энергии диссипации имеет следующий вид [11]:

$$E_{\text{Д}} = 2\pi\rho_0 \int_{r_0(t)}^{r_f(t)} r \left[\frac{(p_f - p_0)}{2} (V_0 - V_f) - \int_{V_f(t)}^{V_0} p(V) dV \right] dr. \quad (1)$$

Кинетическая энергия движущейся среды определяется согласно уравнению

$$E_{\text{К}} = \pi \int_{r_0(t)}^{R_f(t)} \rho(r) U^2 r dr. \quad (2)$$

Для энергии сжатия среды справедливо равенство

$$E_{\text{сж}} = 2\pi \int_{r_0(t)}^{r_f(t)} r \rho(t) \left(\int_{V_0}^{V(r)} p(V) dV \right) dr. \quad (3)$$

В уравнениях (1–3) приняты следующие обозначения: t – время; r – координата; U – скорость частиц среды; p – давление, ρ – плотность; $r_0(t)$, $r_f(t)$ – радиусы полости и фронта ударной волны; $V = 1/\rho$; индексам «0» и «f» соответствуют значения переменных при атмосферном давлении и на фронте волны.

Уравнением состояния продуктов детонации служит двучленная изэнтропа [11]. Уравнение состояния воды принято в форме Тэта. Динамическое поведение горной породы описывается упругопластической дилатансионной моделью [12].

Начальные условия задачи нулевые.

Граничные условия задачи:

- 1) на оси заряда: скорость равна нулю;
- 2) условие непрерывности напряжений σ_r и скорости U на подвижных контактах продукты детонации–вода и вода–горная порода.

Для решения поставленной задачи применялся конечно-разностный метод с использованием разностной схемы второго порядка точности типа «крест» [13] с линейно-квадратичной искусственной вязкостью. Условием устойчивости данной схемы служит условие типа Куранта. Задача решалась в связанной постановке, заключающейся в том, что на каждом временном слое производился расчет всех термодинамических величин для продуктов детонации, воды и горной породы. В процессе счета определялась координата фронта ударной волны и рассчитывались кинетическая энергия среды, энергия сжатия и диссипативные потери.

В качестве ВВ использовался заряд зерногранулита 79/21 радиусом $r_0 = 0,1$ м. При этом показатель зарядной полости составлял $\eta = r_{\text{П}} / r_0 = 1; 1,1; 1,22; 1,38; 1,57$. Рассматривался алевролит.

Из предыдущих исследований [8] установлено, что для данных условий взрывания оптимальным с точки зрения максимума зоны дробления является использование заряда с показателем полости, равным $\eta = 1,38$.

На рис. 1 представлены закономерности изменения нормального радиального напряжения на фронте ударной волны в зависимости от η в

фиксированных точках $\bar{r} = r/r_0$: 1 – на стенке скважины; 2 – $\bar{r} = 20$; 3 – $\bar{r} = 40$; 4 – $\bar{r} = 80$. Из рисунка следует, что в ближней к заряду зоне максимальное напряжение достигается при взрыве заряда без водонаполненной полости. С удалением от заряда существуют максимумы напряжения, которые смещаются в область больших значений η . В средней и дальней зонах взрыва наибольшие напряжения достигаются при взрыве цилиндрического заряда с $\eta = 1,38$. Этот факт можно объяснить с точки зрения перераспределения энергии взрыва. Закономерности изменения относительных величин кинетической энергии среды, энергии сжатия и диссипативных потерь представлены на рис. 2–4. Здесь через ε обозначена полная энергия взрыва. Нумерация кривых на этих рисунках соответствует различным значениям показателя зарядной полости η .

$\sigma_r \cdot 10^{-7}$, Па

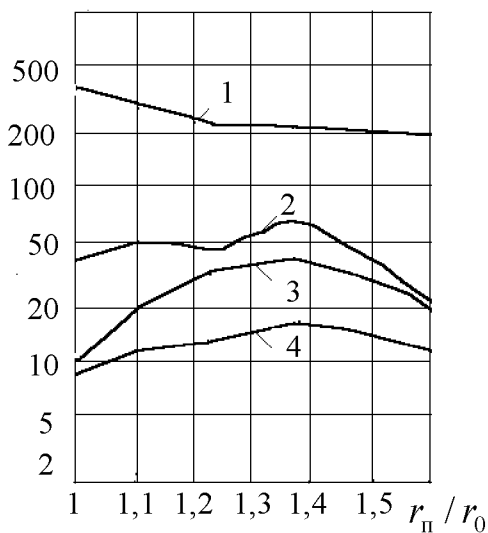


Рис. 1

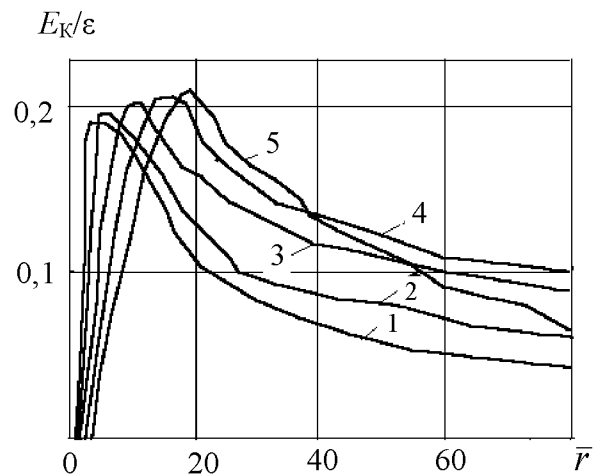


Рис. 2

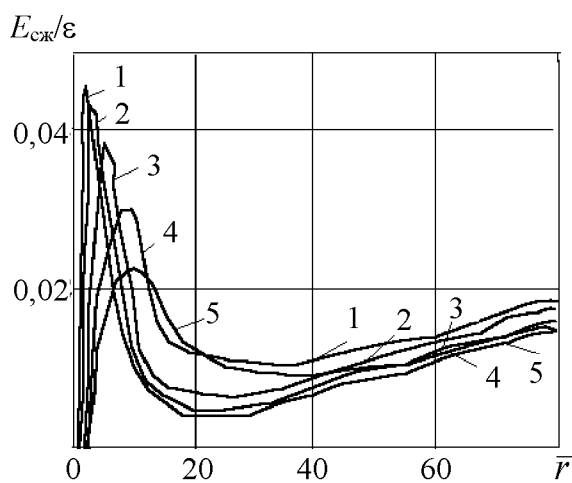


Рис. 3

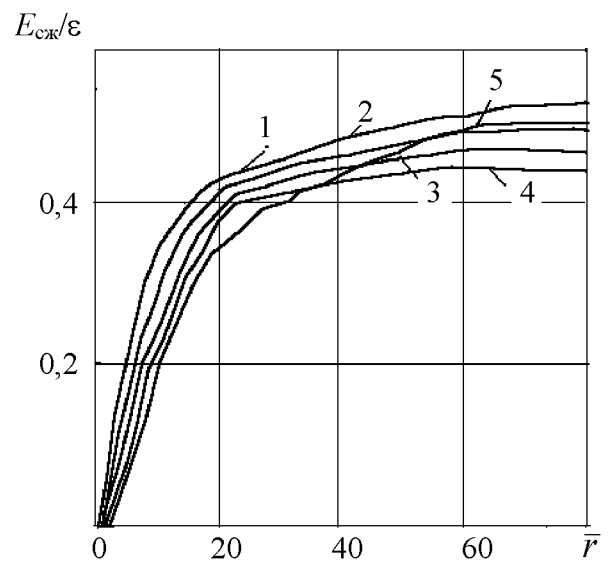


Рис. 4

Из рисунков следует, что в ближней к заряду области кинетическая энергия больше при взрыве заряда без водонаполненной полости. С

определенного расстояния, характерного для каждого значения η , происходит увеличение кинетической энергии с ростом η . Для каждой кривой наблюдается максимум, который для рассматриваемой среды не превышал 23 %. При расстояниях $\bar{r} \geq 40$ наибольшая кинетическая энергия наблюдается при взрывах с $\eta = 1,38$.

Изменение энергии сжатия в зависимости от координаты фронта ударной волны с увеличением показателя η происходит аналогично. Однако максимальное значение энергии сжатия, в отличие от кинетической энергии, для рассматриваемой горной породы не превышало 4,5 %.

Диссипативные потери энергии взрыва, в отличие от кинетической энергии и энергии сжатия, при взрывах зарядов с водонаполненными полостями меньше, чем для заряда без полости на всех рассматриваемых расстояниях. Так, при достижении ударной волной точки $\bar{r} = 20$ диссипативные потери при взрыве заряда без полости составили 53 %, а при взрыве заряда с показателем $\eta = 1,38$ – всего 43 % полной энергии взрыва.

Таким образом, применение водонаполненных полостей приводит к такому перераспределению энергии взрыва, что с увеличением показателя зарядной полости происходит увеличение кинетической энергии и энергии сжатия с одновременным уменьшением диссипативных потерь. Для любого конкретного типа ВВ и горной породы существует оптимальный размер водонаполненной полости, при котором достигается наибольший радиус зоны дробления. Для рассматриваемого случая максимум показателя составил η составил 1,38.

Выводы

1. Решена задача о действии взрыва цилиндрического скважинного заряда взрывчатого вещества в водонаполненной полости, расположенной в горном массиве.

2. Проведено численное исследование перераспределения энергии взрыва, на основе которого установлено, что с увеличением радиуса водонаполненной полости происходит увеличение кинетической энергии и энергии сжатия при одновременном уменьшении диссипативных потерь.

3. Учет волновых процессов в продуктах детонации и воде и взаимодействия их с горной породой при взрыве цилиндрического заряда позволило впервые теоретически подтвердить экспериментально установленный факт существования оптимального размера водонаполненной полости, при котором достигается наибольший радиус зоны дробления для данных конкретных условий взрывания.

4. Исследования необходимо продолжить с целью обоснования наиболее рационального использования энергии взрыва с применением различных новых ВВ и в различных горно-геологических условиях ведения взрывных работ.

1. Брод Г. Расчеты взрывов на ЭВМ. Подземные взрывы. – М.: Мир, 1975. – 162 с.
2. Вовк А. А., Черный Г. И., Михалюк А. В. Основные закономерности взрывов зарядов с воздушными промежутками // Действие взрыва в грунтах. – Киев: Наук. думка. – 1970. – С. 156–161.
3. Марченко Л. Н., Жариков И. Ф. Влияние механизма передачи энергии взрыва твердой среде на параметры движения грунта // Взрывное дело. – 1979. – № 81/38. – С. 123–129.
4. Родионов В. Н. К вопросу о повышении эффективности взрыва в твердой среде. – М.: Ин-т горного дела им. А. А. Скочинского, 1962. – 23 с.
5. Стивак А. А. Волны сжатия в твердой среде при взрыве заряда ВВ в воздушной полости // Физика горения и взрыва. – 1973. – № 2. – С. 263–268.
6. Эффективные методы управления процессами взрывного дробления и выброса / Н. В. Мельников, Л. Н. Марченко, Н. П. Сеинов и др. // Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых. – 1971. – № 1. – С. 37–46.
7. Механический эффект взрыва в грунтах / И. А. Лучко, В. А. Плаксий, Н. С. Ремез и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.
8. Прокопенко В. С. Обгрунтування ефективності вибуху свердловинних зарядів у полімерних оболонках // Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ. – 1999. – Вип. 1. – С. 52–67.
9. Прокопенко В. С. Деформирование горной породы при взрывах скважинных зарядов в водных оболочках с учетом дилатансии // Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ. – 2000. – Вип. 3. – С. 52–67.
10. Ляхов Г. М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
11. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович и др. – М.: Наука, 1975. – 704.
12. Капустянский С. М., Николаевский В. Н. Параметры упругопластической дилатансионной модели для геоматериалов // ПМТФ. – 1985. – № 6. – С. 145–150.
13. Уилкинс М. Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир. – 1967. – С. 212–263.