

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ ВЗРЫВЕ В ГРУНТЕ

В. В. Боровиков, В. Д. Гуськов, А. Б. Соколов

Военный инженерно-космический университет им. А. Ф. Можайского, 197082 Санкт-Петербург

Показана возможность использования упругих свойств массива при перемещении масс сыпучего материала направленным взрывом, ведущая к экономии энергии. Положительный эффект основан на учете развития волновых процессов в массиве, а также рациональном выборе времени задержки до начала срабатывания последующих зарядов.

В [1] дано обоснование импульсного газодинамического способа перемещения сыпучих материалов. Суть процесса подобна известному во взрывном деле эффекту направленного взрыва. Так, при срабатывании i -го заряда (рис. 1) в массиве сыпучей среды образуется симметричная камуфлетная полость A . После этого с задержкой по времени срабатывает $(i+1)$ -й заряд, в результате чего масса сыпучего материала, заключенная между ними, получает вектор скорости, направленный в сторону предыдущего источника, и заполняет собой полость A . Затем может последовать срабатывание $(i+2)$ -го заряда и т. д. Таким образом организуется глубинное течение сыпучих масс и перемещение вещества. Направление перемещения массива противоположно направлению срабатывания газовых источников. Проведенные ранее исследования показывают хорошую производительность процесса.

Практическое применение данного физического эффекта как нового способа перемещения сыпучего вещества предусматривает использование в качестве энергоносителя сжатого атмосферного воздуха. В этом случае внезапный выброс порции сжатого воздуха из заглубленного источника представляет собой фи-

зический взрыв. Данный вид заглубленного взрыва сопровождается волновым воздействием на окружающую среду, похожим на химический взрыв. Ему сопутствует распространение ударной волны, волны сжатия и следующей за ними волны разрежения. За фронтом ударной волны происходит смещение массива со скоростью U .

В ранее проведенных исследованиях данного способа перемещения [1, 2] проанализированы физические особенности развития процесса и показана зависимость интенсивности перемещения массы от определяющих развитие процесса параметров. К ним относятся: полная энергия газа в каждом импульсе E , скорость реализации этой энергии (расход) Q , расстояние между соседними зарядами a и время задержки до начала срабатывания последующего заряда t_3 . В результате был найден оптимальный диапазон параметров E , Q , a , при которых наблюдается более высокая производительность процесса. Однако влияние времени задержки t_3 ранее не рассматривалось.

Предметом настоящих исследований является исследование влияния времени задержки на количественные показатели производительности процесса перемещения.

В качестве исходного предположения примем, что в рассматриваемом режиме перемещения с получением камуфлетных полостей (см. рис. 1) время включения последующего источника должно выбираться согласно картине развития волновых процессов [3], изображенных на рис. 2. Здесь W — глубина заложения зарядов; точка o — мнимый центр волны разрежения.

После реализации газодинамического выброса из i -го источника в слое сыпучего вещества развивается камуфлетная полость A

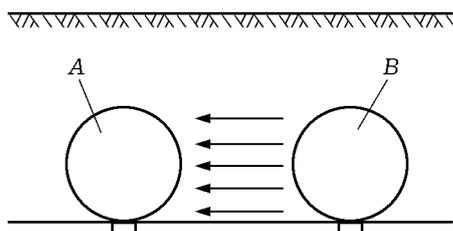


Рис. 1. Физическая суть способа перемещения сыпучих масс

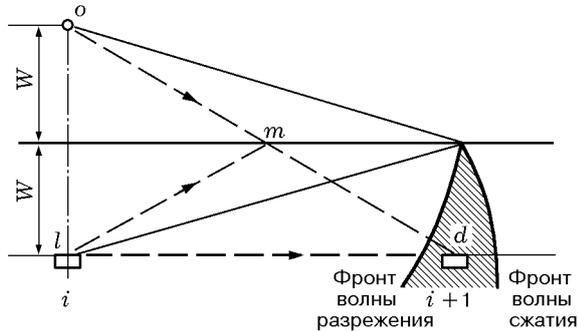


Рис. 2. Схема волновых процессов в перемещаемом массиве

(см. рис. 1). После прохождения волны сжатия в массиве распространяется волна разрежения и идет обратное движение грунта. Направление обратного движения грунта за фронтом волны разрежения совпадает с направлением перемещения грунта. Следовательно, существует возможность использовать это свойство для интенсификации процесса. Это может быть реализовано включением каждого последующего источника в тот момент времени, когда его достигнет фронт волны разрежения предыдущего источника. В таком случае будут использованы упругие свойства массива, когда на стадии снятия действующих в нем нагрузок при прохождении волны разрежения и локального движения массива при разгрузке ему будет дан дополнительный внешний импульс для перемещения в том же направлении за счет включения последующего источника.

Условный путь волны разрежения (прямая $l = omd$ на рис. 2) можно записать в виде

$$l = 2\sqrt{W^2 + (a/2)^2} = \sqrt{4W^2 + a^2}. \quad (1)$$

Данные о характере распространения волны сжатия в грунте после заглубленного газодинамического выброса приведены в [4]. Полученные ранее эмпирические зависимости определяют нагружение массива $\bar{\sigma}$. Оно проявляется на расстоянии \bar{L} от источника газовой энергии. Согласно [4] безразмерный параметр $\bar{\sigma}$ определяется зависимостью

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma\eta RT_{\Gamma}}{(k-1)(\rho gW + p_a)^2}, \quad \eta = 1 - \left(\frac{p_a}{p_3}\right)^{(k-1)/k},$$

где p_3 — зарядное давление в газовом источнике; R , T_{Γ} — газовая постоянная и температура энергоносителя; k — показатель адиабаты газа; ρ — насыпная плотность массива; g —

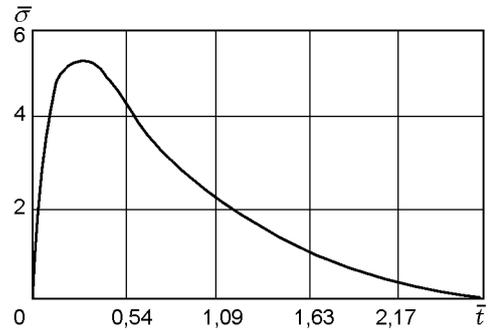


Рис. 3. Нагружение массива

ускорение силы тяжести; p_a — давление окружающей среды; η — КПД процесса, определяемый степенью расширения газа. Безразмерное расстояние от центра выброса до точки замера нагружения определяется так: $\bar{L} = L/W$. Безразмерное время выражается соотношением

$$\bar{t} = \frac{t}{W} \sqrt{\frac{\gamma W + p_a}{\rho}}, \quad (2)$$

где γ — удельная масса грунта, t — истинное значение времени.

Безразмерная энергия газа в одном импульсе определяется зависимостью

$$\bar{E}_n = \frac{E}{(\gamma W + p_a)W^3} \eta,$$

где E — истинное значение энергии.

Безразмерный расход выражается соотношением

$$\bar{Q} = \frac{Q\rho^{0,5}\eta RT_{\Gamma}}{(k-1)(\gamma W + p_a)W^2},$$

где Q — истинное значение расхода, ρ — плотность грунта.

Эмпирическое соотношение, которое связывает нагружение массива и время его действия, имеет вид

$$\bar{\sigma} = 2200 \frac{\bar{E}_n^{0,56} \bar{Q}^{0,14} (13,2\bar{t})^{0,5}}{\bar{L}^{1,7} \exp(2,1\bar{t})}. \quad (3)$$

Зависимость (3) приведена на рис. 3, где $\bar{E}_n = 0,06$, $Q = 0,015$, $\bar{L} = 0,42$. Плавное нарастание нагружения показывает, что при газодинамическом выбросе в грунте преобладают волны сжатия.

Как было показано выше, влияние волны разрежения может проявляться при включении последующего источника после прохождения его данной волной. Исследование на экстре-

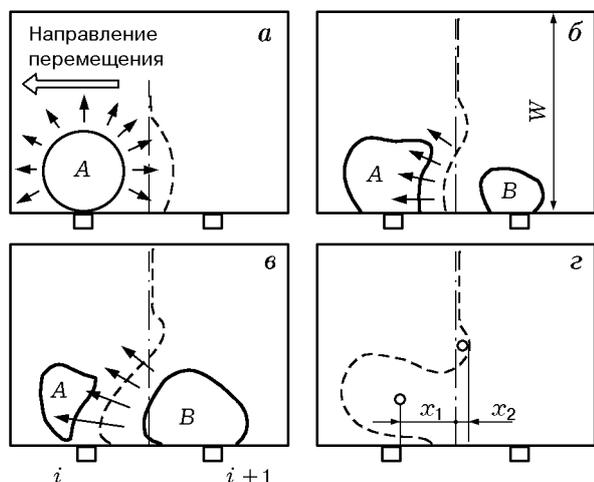


Рис. 4. Схема контроля интенсивности перемещения массива:

a — включение первого источника, *б* — включение второго источника, *в* — перемещение массива, *г* — конечная деформация разделительной линии

мум функции (3) показывает, что этому соответствует время $\bar{t} \approx 0,3$. Используя (2), получаем абсолютное значение оптимального времени задержки для рассматриваемого в эксперименте варианта: $t_3 \approx 0,035$ с.

Для подтверждения вышеизложенного были проведены исследования с использованием двух зарядов, которые располагались в донной части транспортного лотка на расстоянии 0,16 м. В качестве сыпучего вещества использовался кварцевый песок со средней крупностью зерна и насыпной плотностью $\rho = 1350$ кг/м³. Для контроля интенсивности переноса массива транспортный лоток выполнен с прозрачной стенкой. В исходном состоянии на одинаковом расстоянии от источников энергии в массиве перемещаемого сыпучего вещества помещалась дополнительная засыпка подкрашенного кварцевого песка в виде вертикальной полосы. Характер смещения данной полосы при срабатывании источников показан на рис. 4.

Производительность процесса определялась как соотношение массы вещества, сместившегося в нужном направлении на расстояние x_1 , к массе вещества, заключенного в пространстве между источниками:

$$\bar{N} = \frac{m_1 x_1 - m_2 x_2}{\rho W^3 B}$$

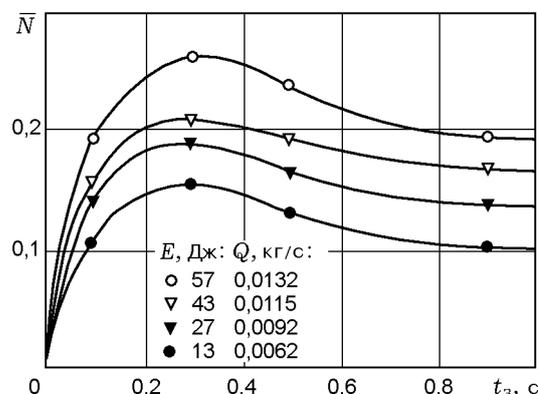


Рис. 5. Влияние времени задержки на интенсивность процесса перемещения

Здесь B — ширина потока перемещаемого вещества; m_1, m_2 — массы сыпучего вещества, перенесенные в направлении перемещения и противоположном направлении, а x_1, x_2 — координаты центров этих масс. В эксперименте $B = 0,05$ м, что существенно меньше длины лотка ($L = 1$ м) и глубины слоя ($W = 0,4$ м). Это позволило оценивать количество перемещенного вещества по площади, которая ограничена изогнутой линией из подкрашенного песка (см. рис. 4,г).

На рис. 5 приведены зависимости производительности процесса от времени задержки. Видно, что при раннем срабатывании последующего источника (время задержки мало) распространяющаяся в массиве волна сжатия от i -го источника встречается с начинающей свое движение аналогичной волной от последующего источника. При этом источники работают в режиме противодействия, импульс перемещения массива гасится встречным движением, и производительность процесса незначительна.

В случае оптимального времени задержки, независимо от энергетических и расходных характеристик процесса, производительность повышается. Это обусловлено наложением импульсов, полученных массивом от прохождения волны разрежения предыдущего источника и волны сжатия последующего источника. При дальнейшем повышении времени задержки производительность несколько снижается. Однако противодействия импульсов двух источников в данном случае не наблюдается и снижение эффекта менее заметно, чем в случае раннего включения последующего источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Боровиков В. В., Иванов А. С., Пивак Б. А.** Импульсный газодинамический способ транспортирования сыпучих материалов // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых. 1995. № 3. С. 44–52.
2. **Боровиков В. В., Иванов А. С.** О влиянии интенсивности подачи газа под слой грунта на результат совместного действия газовых источников // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 4. С. 84–87.
3. **Ляхов Г. М., Покровский Г. И.** Взрывные волны в грунтах. М.: Госгортехиздат, 1962.
4. **Боровиков В. В.** Оценка интенсивности нагружения массива сыпучего материала в зоне действия заглубленного газодинамического выброса // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых. 1995. № 6. С. 22–27.

Поступила в редакцию 7/IV 1999 г.
