

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКИХ ГРАНИЦ НА НАПРАВЛЕННОСТЬ ВЗРЫВА НА ВЫБРОС

К. В. Алферьев, В. В. Боровиков, С. Д. Любарский

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

Приведены результаты экспериментальных исследований развития направленного взрыва на выброс в присутствии жестких недеформируемых поверхностей в зоне пластических деформаций массива. Показано влияние размеров, формы и углового положения этих поверхностей на степень несимметричности переноса массы сыпучего вещества при одиночном взрыве.

Взрыв на выброс, в частности направленный взрыв, находит все более широкое применение в различных отраслях промышленности [1]. Одним из вариантов использования этого эффекта является разработанный в последнее время импульсный газодинамический метод перемещения сыпучих материалов.

Суть способа заключается в последовательном срабатывании серии заглубленных «зарядов», при «взрыве» которых происходит импульсное истечение предварительно сжатого газа. Это явление можно рассматривать как серию разнесенных по пространству и чередующихся физических взрывов, которые осуществляются в режиме «бегущей волны» [2]. При этом «волна» перемещения распространяется в противоположную сторону. Так, при «взрыве» i -го заряда (рис. 1) в слое перемещаемого материала образуется симметричная воронка А. После этого с задержкой по времени срабатывает $(i + 1)$ -й «заряд», в результате чего образуется несимметричная воронка Б и, как показывают опыты, около 90 % массы сыпучего материала перемещается в нужном направлении. Затем срабатывает $(i + 2)$ -й «заряд» и т. д.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают работоспособность данного способа также и при получении камуфлетных полостей [3].

Интенсивность перемещения определяется энергией единичного импульса, временем задержки между срабатыванием соседних зарядов и расстоянием между ними. Рациональный диапазон этих параметров известен для случая срабатывания нескольких взаимодействующих зарядов [4], однако очевидно, что срабатывание даже единичного заряда может привести к несимметрии выброса сыпучего вещества, т. е.

к эффекту перемещения.

Так, при анализе доли полной энергии заглубленного взрыва, идущей на производство полезной работы перемещения сыпучего вещества, установлено, что существенную роль играют жесткие недеформируемые поверхности, которые находятся в зоне пластических деформаций взрыва [5].

В настоящей работе представлены результаты исследований эффекта направленности единичного заглубленного взрыва на выброс в зависимости от изменения положения, размеров и формы граничных поверхностей. Ими могут быть скальные массивы, располагаемые в зоне пластических деформаций грунтового слоя. С точки зрения перспектив использования данных результатов в описанном выше импульсном газодинамическом способе перемещения сыпучих материалов, граничные поверхности целесообразно рассматривать с точки зрения формирования профиля донной поверхности транспортного лотка.

В экспериментальных исследованиях в качестве источника энергии использовались навески порохового заряда постоянной массы, которые при постоянной глубине их заложения

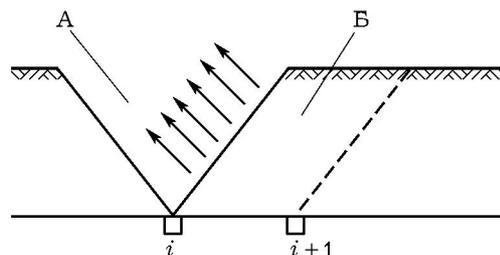


Рис. 1. Механизм перемещения сыпучего вещества при получении воронок выброса:

А — симметричная воронка, Б — несимметричная

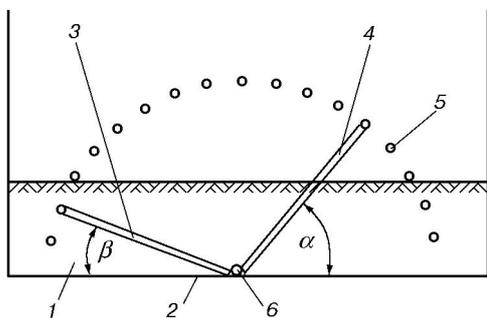


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:
1 — лоток, 2 — его передняя стенка, 3, 4 — граничные поверхности, 5 — шкала, 6 — заряд

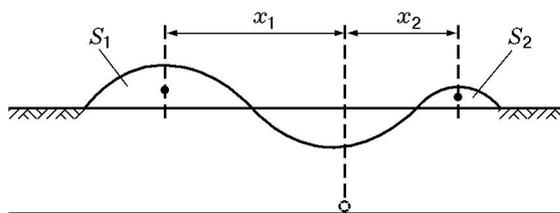


Рис. 3. Схема геометрических замеров для оценки показателя перемещения

($W = 0,15$ м) в массиве кварцевого песка производили «эталонный» эффект взрыва, т. е. воронку с показателем действия взрыва $\bar{n} = 1$, где $\bar{n} = R/W$, R — радиус получаемой воронки.

Исследования проводили на установке, схема которой представлена на рис. 2. Для визуального контроля интенсивности перемещения переднюю стенку лотка выполняли из органического стекла. Размеры лотка $1000 \times 600 \times 50$ мм. Две металлические граничные поверхности устанавливали на заданные в каждом опыте углы β и α по шкале и жестко фиксировали в этом положении. Пороховой заряд инициировали электрической нитью накаливания.

В качестве перемещаемого сыпучего материала использовался кварцевый песок средней крупности зерна и насыпной плотностью 1350 кг/м^3 . Песок располагался над и под граничными поверхностями.

Прозрачные стенки лотка позволили фиксировать на кальке очертания воронки и навалов песка по обе стороны от источника энергии. Для оценки интенсивности перемещения измеряли площади полученных навалов в декартовых координатах (рис. 3). Показатель интенсивности перемещения определялся выражением

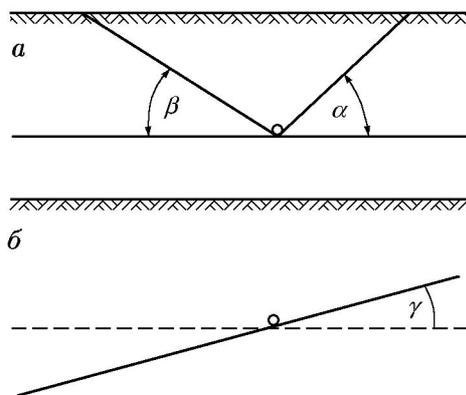


Рис. 4. Варианты размещения граничных поверхностей

$$\bar{N} = \frac{S_1 x_1 - S_2 x_2}{W^3},$$

где S — площадь навала; x — расстояние от геометрического центра навала до заряда в горизонтальном направлении; индексами 1, 2 обозначены навалы песка по направлению перемещения и в противоположную сторону соответственно.

В первой серии экспериментов изучалось влияние угла наклона α граничной поверхности 4 при отсутствии поверхности 3 (рис. 4, а). Зависимость $\bar{N}(\alpha)$ представлена на рис. 5. Видно, что с увеличением угла α до 80° интенсивность перемещения повышается почти линейно, после чего отмечается некоторое снижение данного эффекта. Дальнейшее расширение диапазона исследований и увеличение угла α не имеет практического интереса с точки зрения описанного выше способа перемещения, так как при повышенной влажности сыпучего вещества усложняется гравитационное заполнение им узких пространств между граничными поверхностями.

Во второй серии опытов рассматривалось влияние угла β наклона поверхности 3, расположенной по направлению потока (см. рис. 4, а). Поверхность 4 фиксировалась в положении, соответствующем $\alpha = 80^\circ$. Зависимость $\bar{N}(\beta)$ представлена на рис. 5. Многочисленные опыты показали, что при $\beta = 45^\circ$ показатель перемещения резко повышается. Дальнейшее увеличение этого угла существенно снижает эффект перемещения. Это обусловлено тем, что исходное положение двух поверхностей стремится к симметричному, что исключает положительный эффект несимметрии выброса массива. Заметим, что на зависимостях рис. 5 по-

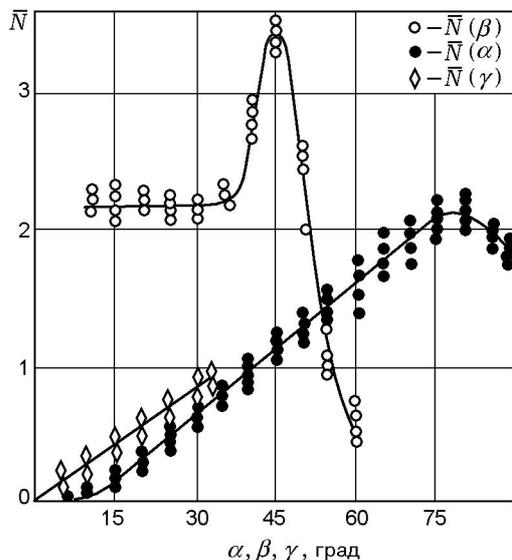


Рис. 5. Влияние граничных поверхностей на показатель перемещения

казаны результаты только части проведенных опытов.

Таким образом, наибольшая интенсивность перемещения наблюдается в случае, когда у каждого источника энергии жесткие граничные поверхности расположены под углами $\alpha = 80^\circ$, $\beta = 45^\circ$.

Наклон жесткой прямой поверхности под зарядом (см. рис. 4, б) при горизонтальном расположении линии дневной поверхности представляет интерес при производстве взрывных работ. Проведенные исследования показывают, что влияние угла наклона γ донной поверхности на интенсивность перемещения $\bar{N}(\gamma)$ линейно растет с увеличением этого угла (см. рис. 5). Однако этот диапазон ограничен углом естественного откоса перемещаемой сыпучей массы. Для кварцевого песка этот угол составляет 33° .

Очевидно, что размеры граничных поверхностей могут изменяться относительно высоты перемещаемого слоя. Соответственно должно изменяться их влияние на интенсивность перемещения. В проведенных исследованиях обнаружено, что с увеличением длины граничной поверхности 4 (см. рис. 2) от нуля до уровня дневной поверхности при угле наклона $\alpha = 80^\circ$ интенсивность перемещения повышается примерно линейно. Дальнейшее увеличение размеров поверхности не приводит к росту эффекта перемещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский Г. И. Возведение плотин направленным взрывом. М.: Наука, 1974.
2. 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.
3. Боровиков В. В., Быстров А. В. Газодинамический способ снижения усилия проникания твердого тела в грунт // ПМТФ. 1999. Т. 40, № 3. С. 194–197.
4. Боровиков В. В., Гуськов В. Д., Соколов А. Б. Использование волновых эффектов при направленном взрыве в грунте // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36, № 3. С. 141–144.
5. Боровиков В. В., Иванов А. С., Любарский С. Д., Пивак Б. А. Анализ затрат энергии при газодинамическом выбросе в слое сыпучего материала // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых. 1995. № 3. С. 53–59.

Поступила в редакцию 22/IX 2000 г.