

поэтому из приведенных экспериментальных результатов следует, что степень затухания взрывных волн в мягких грунтах существенно зависит от формы излученной волны.

Поступила в редакцию
24/XI 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. О. С. Колков, А. М. Тихомиров, А. Ф. Шацкевич. ФГВ, 1967, 3, 4.
2. И. Л. Зельманов, О. С. Колков и др. ФГВ, 1968, 4, 1.
3. Н. М. Кузнецов, К. К. Шведов. ФГВ, 1966, 2, 4.

УДК 550.348.425+624.131.551

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗРЫВОВ В ГРУНТАХ

А. А. Вовк, Г. И. Черный, А. В. Михалюк
(Киев)

Одним из наиболее действенных методов повышения эффективности взрыва при ведении горных работ является выбор взрывчатого вещества, характер взрывчатого разложения которого обеспечивает оптимальные условия деформирования окружающего породного массива. Для условий рыхления скальных пород обширные исследования в этом направлении, сопровождавшиеся богатым экспериментальным материалом, проведены Г. П. Демидюком и др. [1, 2].

Известные исследования эффективности различных взрывчатых веществ при взрывной проходке подземных выработок в мягких сжимаемых породах (грунтах) за счет их уплотнения при взрыве, по-видимому, ограничиваются работой [3], в которой дан анализ особенностей волновой картины в супесях при взрывах сосредоточенных зарядов камуфлетного действия, вес которых не превышал 0,2 кг. Было установлено, что внутренняя энергия ВВ, его плотность и скорость детонации в значительной степени определяют характер напряженного состояния грунтов при взрыве. Так, высокобризантные ВВ генерируют взрывные волны большей интенсивности, однако затухание их происходит гораздо быстрее, чем у волн относительно меньшей амплитуды, возникающих при взрывах ВВ с меньшими скоростями детонации. Аналогичная картина наблюдалась при рассмотрении изменения радиальных импульсов.

Авторами были проведены исследования, целью которых явилось изучение особенностей напряженно-деформированного состояния грунтового массива при взрывах на выброс линейно распределенных зарядов различных взрывчатых веществ и установление общих рекомендаций по выбору ВВ, детонационные свойства которых обеспечивают максимальную эффективность взрыва в произвольных грунтовых условиях.

Исследования проводились в диапазоне изменения плотности ВВ от 800—900 до 1600 кг/м³, скорости детонации от 2,1 до 8,6 км/сек и удельной внутренней энергии от 960 до 1400 ккал/кг.

Анализ напряженного состояния грунтов производился по результатам измерения параметров взрывного возмущения, распространяющегося от очага взрыва удлиненных (линейно распределенных) заря-

дов тэна, прессованного тротила и патронированного аммонита № 6ЖВ. Во всех экспериментах погонный расход ВВ составлял 4 кг/м, глубина заложения заряда 1 м. Экспериментальные работы производились в киевских суглинках плотностью 1990 кг/м³ и весовой влажностью 14,2%.

Измерение параметров волн напряжений осуществлялось с помощью комплекса тензометрической аппаратуры, включавшего мембранные тензодатчики давления (чувствительный элемент), усилители УТС-1ВТ-12 (промежуточное усиление сигналов чувствительного элемента) и шлейфовые осциллографы Н-70 (регистрирующий элемент). Датчики, предварительно проградуированные, устанавливались на глубину заложения заряда в специально пробуренные скважины, после чего они засыпались вынутым из скважины грунтом с послойной трамбовкой его до состояния естественной плотности. Датчики устанавливались, чтобы обеспечивалась возможность регистрации радиальных σ_r и окружных σ_ϕ компонент тензора напряжений и их изменение во времени. Измерениями была охвачена область действия взрыва от $61,7r_z$ до $152,0r_z$, что практически охватывало всю область необратимого деформирования грунта. При обработке осциллограмм экспериментов фиксировались следующие величины и их изменение с расстоянием от очага взрыва: максимальные радиальные и окружные напряжения, время прихода взрывного возмущения t_0 и время прихода максимального давления t_m , а также длительность взрывного импульса τ . По полученным результатам построен ряд зависимостей, характеризующих изменение напряженного состояния грунта при взрывах удлиненных зарядов различных взрывчатых веществ.

На рис. 1 приведены кривые, иллюстрирующие законы изменения главных нормальных и окружных напряжений в грунте с расстоянием от очага взрыва. Их анализ показывает, что взрывчатые вещества повышенной бризантности возбуждают в массиве грунта волны большей интенсивности, однако скорость их затухания выше, чем у волн, возникших при взрыве ВВ с меньшей скоростью детонации.

Характер кривых позволяет аппроксимировать анализируемые зависимости функциями вида

$$\sigma_r = M_1 r^{-\mu_1}; \quad \sigma_\phi = M_2 r^{-\mu_2},$$

которые обычно используются для описания распределения напряжений вокруг очага взрыва [4].

Результаты аппроксимации показывают, что величина коэффициента μ , характеризующего степень затухания амплитуды взрывного возмущения с расстоянием, составляет для тэна 2,00, тротила 1,87 и для аммонита № 6 ЖВ — 1,80. Эти данные подтверждают изложенное выше положение о более высокой скорости затухания взрывных волн, генерируемых взрывчатыми веществами с высокой скоростью детонации.

Рис. 2 позволяет судить об изменении с расстоянием времени вступления фронта возмущения, времени прихода и нарастания максимума давления при взрывах исследованных веществ. Распределение экспериментальных точек не позволило установить сколько-нибудь заметное влияние свойств ВВ на закон распространения фронта вступления взрывной волны. В то же время с уменьшением скорости детонации ВВ имеет место увеличение времени прихода максимума взрывного возмущения в данную точку грунтового массива. Это свидетельствует о том, что взрывные волны, генерируемые взрывчатыми веществами с пониженными детонационными свойствами, характеризуются увеличенным временем нарастания давления, одновременно со снижением

его максимального значения. Это способствует уменьшению скорости нагружения во всей зоне действия взрыва.

В [5, 6] показано, что сжимаемые грунты являются в общем случае упруго-вязко-пластическими телами, деформирование которых в значительной степени зависит от временных характеристик процесса нагружения, причем с уменьшением скорости нагружения деформации грунтов соответствующие равным уровням давления, резко возрастают. В связи с этим установленные выше особенности напряженного состояния грунтового массива при взрывах зарядов различных взрывчатых веществ позволяют ожидать, что для условий введения взрывных работ в сжимаемых грунтах наиболее эффективными окажутся взрывчатые вещества с пониженными детонационными свойствами, в том числе простейшие.

Для проверки высказанного предположения была проведена серия экспериментов в суглинках, взрывного полигона АН УССР и лессовых грунтах района строительства Каховской оросительной системы. При проведении экспериментов были использованы тэн, прессованный тротил, аммонит № 6 ЖВ, зерногранулит 79/21 и игданит. Вес одновременно взрывааемых зарядов колебался от 24 до 800 кг при погонном расходе ВВ от 4 до 20 кг/м. Результаты экспериментов, приведенные в таблице, позволяют построить ряд зависимостей, интегрально учитывающих эффективность различных ВВ при взрывах в сжимаемых грунтах.

На рис. 3 показано изменение в зависимости от скорости детонации удельного расхода взрывчатых веществ на 1 м³,

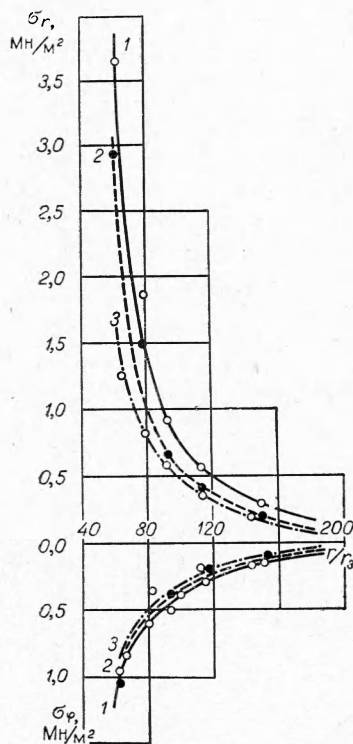


Рис. 1. Изменение главных радиальных и окружных напряжений с расстоянием от очагов взрывов на выброс линейно распределенных зарядов тэна (1), прессованного тротила (2) и патронированного аммонита № 6 ЖВ (3).

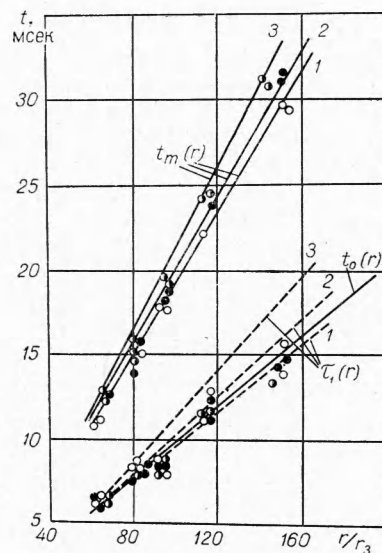


Рис. 2. Изменение с расстоянием времени вступления фронта взрывной волны $t_0(r)$, времени прихода $t_m(r)$ и нарастания $\tau_1(r)$ максимума давления при взрывах на выброс линейно распределенных зарядов тэна (1), тротила (2) и аммонита № 6 ЖВ (3).

Краткая характеристика грунтов	Характеристика заряда				Параметры полученной выработки				Показатель действия взрыва	Удельный расход ВВ, кг/м³	Расход энергии ВВ на 1 м³ выработки, ккал/м³
	наименование ВВ	погонный расход, кг/м	глубина заложения заряда, м	длина заряда, м	глубина, м	ширина по верху, м	ширина по низу, м	площадь сечения, м²			
Суглинок плотностью 1990 кг/м³ и весовой влажностью 14,2 %	Тэн	4	1,0	6,0	1,34	4,70	0,03	3,17	2,35	1,26	1775
	Тротил. прессов. Аммонит	4	1,0	6,0	1,125	3,70	0,08	2,13	1,85	1,88	1900
	6 ЖВ	4	1,0	6,0	1,17	4,10	0,10	2,46	2,05	1,625	1680
Лесс плотностью 1550 кг/м³ и весовой влажностью 7%	Тротил пресов. То же	20	1,6	10,0	1,80	6,70	0,30	6,30	2,09	3,18	3210
	Зерногранулит 79/21	4	0,8	6,0	0,73	3,15	0,10	1,19	1,87	3,36	3400
	Аммонит	20	1,6	40,0	2,20	7,19	0,20	8,13	2,25	2,46	2410
	6 ЖВ	20	1,6	34,0	2,08	8,00	0,20	8,55	2,50	2,34	2440
	Игданит	20	1,6	40,0	2,18	7,45	0,20	8,33	2,20	2,40	2170
	„	20	1,6	10,0	2,05	7,95	0,45	8,62	2,10	2,32	2100
	„	20	1,6	10,0	2,05	7,95	0,45	8,62	2,10	2,32	2100

образующейся при взрыве выработки. Характерно резкое уменьшение удельного расхода ВВ с уменьшением скорости детонации. Следовательно, при взрывах ВВ с пониженными детонационными свойствами

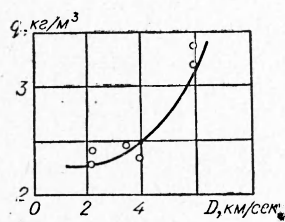


Рис. 3. Зависимость удельного расхода ВВ на 1 м³ объема выработки от скорости детонации взрывчатого вещества линейно-распределенного заряда выброса.

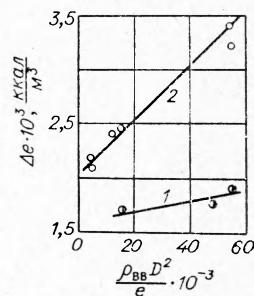


Рис. 4. Зависимость $\Delta e = f\left(\rho_{ВВ} \cdot \frac{D^2}{e}\right)$ для суглинков (1) и лессов (2) при взрывах линейно-распределенных зарядов выброса.

энергия продуктов детонации преимущественно расходуется на уплотняющее и метательное действие, а потери на пластическое деформирование уменьшаются.

На рис. 4 приведено изменение расхода энергии взрывчатого вещества на 1 м³ выработки в зависимости от показателя $\rho_{ВВ} \cdot \frac{D^2}{e}$, позволяющего учесть все основные характеристики ВВ и пропорционального величине начального давления продуктов детонации, приходящегося на единицу внутренней энергии взрывчатого вещества.

Как следует из анализа графиков уменьшение детонационных свойств взрывчатых веществ дает возможность снизить энергетические затраты на единицу объема образуемой взрывным способом выработки и соответственно повысить эффективность взрыва в сжимаемых грунтах.

Более подробный анализ действия взрыва в грунте при применении различных взрывчатых веществ может быть произведен с использованием рекомендаций изложенных в [6].

Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что для условий взрывной проходки выработок в сжимаемых грунтах предпочтительными являются взрывчатые вещества с малыми плотностью и скоростью детонации. Этим требованиям удовлетворяют простейшие аммиачно-селитрянные вещества (игданит и т. п.). В связи с низкой стоимостью таких взрывчатых веществ их применение при проходке выработок обеспечивает высокую экономичность работ.

*Поступила в редакцию
15/III 1971*

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Демидюк. Сб. «Буровзрывные работы в горной промышленности». М., Госгортехиздат, 1962.
 2. Опыт применения зарядов с воздушными промежутками и игданита. Матер. научн.-техн. совещ. М., Изд-во ИГД им. А. А. Скочинского, 1963.
 3. О. О. Вовк, В. О. Плаксий, С. Г. Лебідь. Доповіді АН УРСР, 1968, 10.
 4. А. А. Вовк, Г. И. Черный, А. Г. Смирнов. Основы взрывной проходки подземных выработок. Киев, «Наукова думка», 1966.
 5. Г. И. Черный, А. В. Михалюк. «Прикладная механика», 1970, VI, 3.
 6. А. В. Михалюк. В сб. «Взрыв в пористых и дисперсных средах». Киев, «Наукова думка», 1969.
-