

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА АМПЛИТУДУ СЛАБЫХ ВОЗДУШНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН ОТ НАЗЕМНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ

Ю. С. Рыбнов, В. И. Кудрявцев, В. Ф. Евменов

Институт динамики геосфер РАН, 119334 Москва

Представлены материалы экспериментальных исследований влияния подстилающей поверхности, температурной стратификации и скорости ветра в приземном слое атмосферы на амплитуду слабой воздушной ударной волны на больших расстояниях.

Ключевые слова: взрыв, амплитуда давления, атмосфера.

### ВВЕДЕНИЕ

Основным фактором воздействия воздушной ударной волны на окружающую среду, людей и различные сооружения является избыточное давление в фазе сжатия. Максимальное значение амплитуды давления наблюдается при взрыве заряда на поверхности земли [1].

В случае, когда воздушная ударная волна может представлять опасность для людей, сооружений или, как часто бывает, для остекления зданий, необходимо применять различные способы защиты. Так, выбор соответствующего рельефа местности, типа подстилающей поверхности и метеоусловий может уменьшить интенсивность волн [2]. Однако в некоторых случаях возможно увеличение интенсивности волн за счет инверсионных эффектов в приземном слое атмосферы [2]. Влияние перечисленных выше факторов на амплитуду избыточного давления исследовалось в настоящей работе.

### ПОСТАНОВКА ОПЫТОВ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении исследований использовались наземные накладные взрывы с тротильным эквивалентом  $0,2 \div 1$  кг. Измерения проводились на расстояниях  $400 \div 4200$  м. В качестве приемников импульсов давления использовались измерительные микрофоны типа МКЭ-332 с полосой регистрируемых частот  $0,001 \div 10$  кГц, чувствительностью 40 Па/В и динамическим диапазоном 56 дБ. Для калибровки микрофонов использовался пистонфон модели 4220 (компания Briel & Kjaer). Поэтому погрешность измерений не превышала 20 %, что приемлемо при проведении прямых измерений.

Характерная форма импульса давления на расстоянии 1000 м от калибровочных взрывов с тротильным эквивалентом 1 кг, проведенных в условиях нормальной стратификации атмосферы и при средней скорости приземного ветра не более 0,5 м/с, показана на рис. 1. Амплитуда фазы сжатия ( $P_{\text{норм}}$ ), как видно из рисунка, равна  $\approx 10$  Па. Для других калибровочных взрывов, проведенных при данных условиях, амплитуда находилась в диапазоне  $9,5 \div 12$  Па. При сильном встречном ветре ( $3 \div 6$  м/с) наблюдалось уменьшение амплитуды ( $P_{\text{ветер}}$ ) до  $6 \div 8$  Па. По этим данным было оценено ослабление амплитуды фазы сжатия как

$$K = 20 \log \frac{P_{\text{норм}}}{P_{\text{ветер}}} \text{ [дБ]},$$

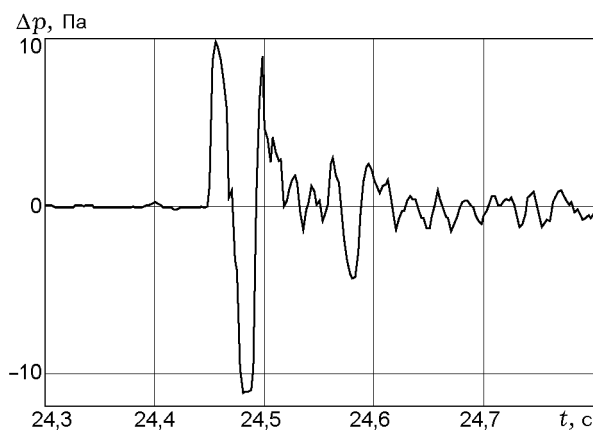


Рис. 1. Импульс давления от наземного взрыва с тротильным эквивалентом 1 кг на расстоянии 1000 м

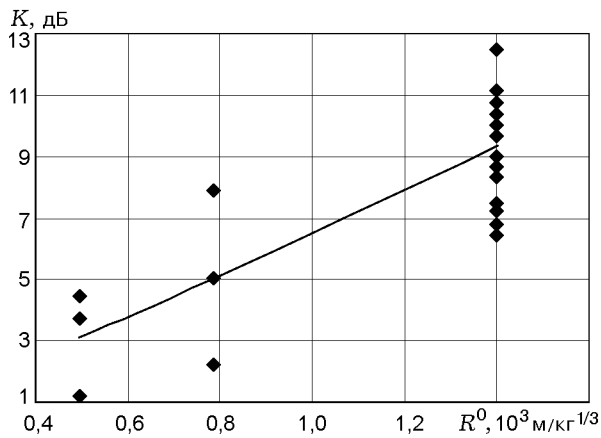


Рис. 2. Зависимость коэффициента ослабления амплитуды давления от ветра

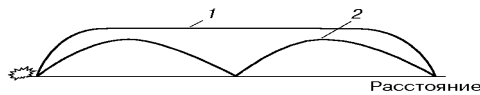


Рис. 3. Эффект фокусировки при инверсии

график этой зависимости приведен на рис. 2.

Точно так же были проведены исследования при взрывах с тротильным эквивалентом 0,2, 0,4, 0,8 и 10 кг на расстояниях 460 ÷ 4500 м. Полученные данные представлены на рис. 2.

Боковой ветер, как показали эксперименты, практически не влияет на амплитуду сигнала. Эксперименты при попутном ветре не проводились.

При инверсии температура (скорость звука) растет с высотой. В этом случае звуковые лучи (в соответствии с законом преломления) будут отклоняться к земле. Схематично это показано на рис. 3. Луч 1, вышедший под углом  $\alpha$ , отклонится и достигнет поверхности земли на некотором расстоянии. Луч 2, вышедший под углом  $\beta$  ( $\beta < \alpha$ ), достигнет поверхности земли на меньшем расстоянии. Отразившись от поверхности, он совершит еще один цикл. При соответствующем соотношении  $\alpha$  и  $\beta$  луч 2 придет в ту же точку, что и луч 1. То есть луч 2 совершит два цикла. Таких циклов может быть больше. Сложение лучей в точке прихода приведет к увеличению давления в фазе сжатия (эффект фокусировки [3]).

По имеющимся метеоданным при проведении эксперимента наблюдалась приповерх-

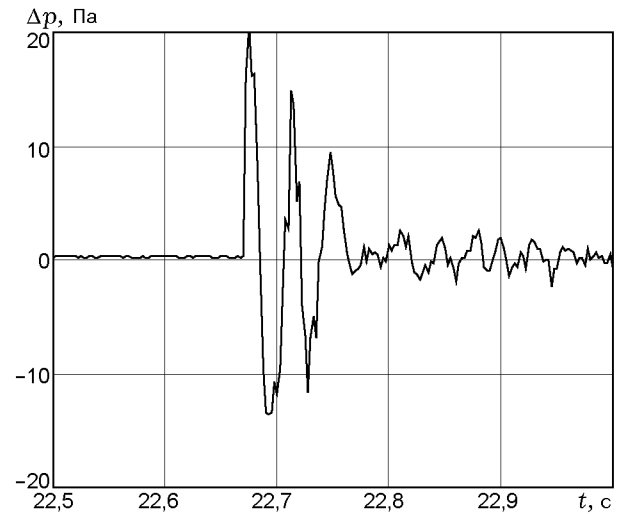


Рис. 4. Импульс давления от наземного взрыва с тротильным эквивалентом 1 кг на расстоянии 1000 м в условиях приземной инверсии

ностная инверсия со следующими характеристиками. Температура у поверхности земли составляла  $\approx 5$  °С, а на высоте 200 м  $\approx 11,6$  °С. Скорость ветра у поверхности земли не превышала  $0,2 \div 0,4$  м/с.

Без инверсии амплитуда фазы сжатия ( $P_{\text{норм}}$ ), как видно из рис. 1, равна  $\approx 10$  Па. При инверсии, когда наблюдается эффект фокусировки, амплитуда фазы сжатия на расстоянии 1000 м от взрыва с тротильным эквивалентом 1 кг равна  $\approx 20$  Па (рис. 4), т. е. в два раза больше. Таким образом, с учетом параметров приповерхностной инверсии рассчитанный фактор фокусировки на расстоянии 1000 ÷ 4500 м может достигать значений  $1,5 \div 2,5$ , что и подтверждается результатами эксперимента. Данное обстоятельство необходимо учитывать при определении радиуса опасной зоны во время проведения взрывных работ.

Для исследования влияния подстилающей поверхности на амплитуду импульсов давления измерительные микрофоны устанавливались в лесном массиве и на открытой местности на одинаковых эпицентральных расстояниях. Запись сигналов осуществлялась синхронно на один регистратор при средней скорости ветра не более 0,5 м/с и в отсутствие приземной инверсии. Во всех случаях наблюдалось определенное ослабление импульсов давления, что иллюстрирует рис. 5.

На рис. 6 показана зависимость коэффициента ослабления амплитуды от приведенного

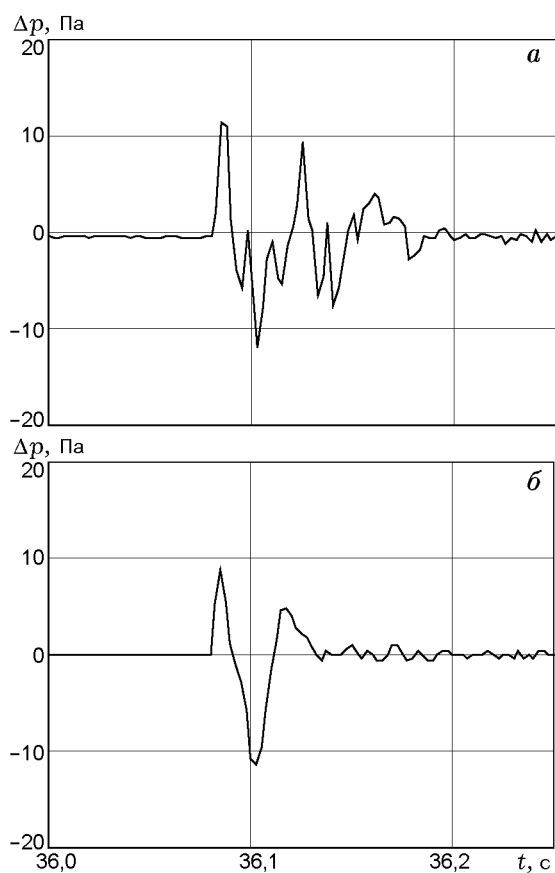


Рис. 5. Импульсы давления, зарегистрированные на открытой местности (а) и в лесу (б)

расстояния, рассчитанная по полученным экспериментальным данным. Измерения проведены при взрывах с тротильным эквивалентом 0,8 кг на расстояниях 2500 и 4500 м и с тротильным эквивалентом 1 кг на расстоянии 1000 м (см. экспериментальные точки на рис. 6). Из полученных результатов видно, что характер подстилающей поверхности (ее импеданс) незначительно влияет на амплитуду импульса. Однако при этом лесной массив фильтрует из спектра импульса высокочастотные компоненты (сглаживает импульс). Анализ перечисленных выше факторов позволит разработать практические рекомендации по учету их влияния на амплитуду воздушной ударной волны. Со-

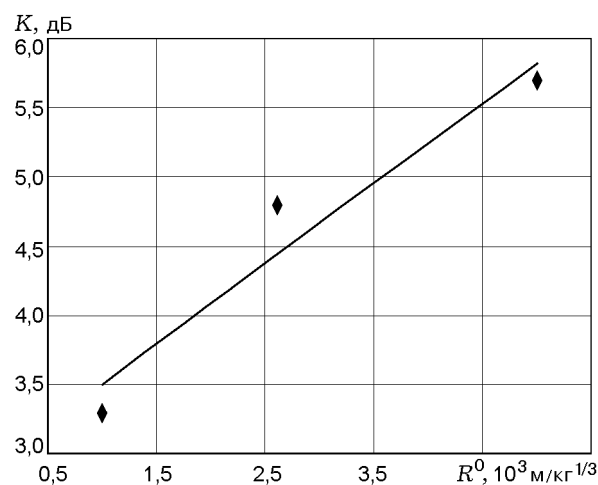


Рис. 6. Ослабление амплитуды давления лесным массивом

бразные вместе, они, в свою очередь, позволят разработать специальные меры защиты и, следовательно, снизить риск негативного воздействия, а также уменьшить материальные потери.

## ВЫВОДЫ

1. Исследованы вариации амплитуды импульсов давления от маломощных (до 1 кг) наземных взрывов при различных параметрах окружающей среды.
2. Определены коэффициенты ослабления амплитуды импульсов встречным ветром и лесным массивом.
3. Оценено влияние приземной инверсии на увеличение амплитуды давления в импульсе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М. А. Геофизика и физика взрыва / Под ред. В. В. Адушкина. М.: Наука, 1999.
2. Адушкин В. В. Основные факторы воздействия открытых горных работ на окружающую среду // Горн. журн. 1996. № 4. С. 49–55.
3. Бреховских Л. М., Лысанов Ю. П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеоздат, 1982. С. 264.

Поступила в редакцию 7/VI 2004 г.