

## О генерации ударной волны в установке градовой защиты

© А.А. Варданян,<sup>1</sup> Г.А. Галечян,<sup>2</sup> В.Г. Перепелкин,<sup>3</sup> И.П. Чунчужов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Инновационный центр „Барва“,  
Ереван, Армения

<sup>2</sup> Институт прикладных проблем физики НАН Армении,  
Ереван, Армения

<sup>3</sup> Институт физики атмосферы РАН,  
Москва, Россия

e-mail: galechian@web.am, vitaliper54@gmail.com, igor.chunchuzov@gmail.com

(Поступило в Редакцию 24 ноября 2010 г.)

Рассмотрены вопросы генерации ударной волны антиградовой установки. Приведены результаты осциллографирования ударной волны микрофонами, расположенными на разных высотах вдоль направления ее распространения. Определена средняя скорость движения ударной волны. На основе полученных осциллограмм проанализированы процессы, происходящие во взрывной камере сгорания.

Ударная волна (УВ), которая у людей ассоциируется с разрушениями, вызванными атомной, вакуумной или какой-либо другой бомбой, теперь служит в мирных целях, используется в народном хозяйстве для предотвращения градопадения и стимулирования осадков. Во многих странах, в том числе и в Армении, большое количество установок, генерирующих УВ, расположены на многих фермерских территориях и эффективно действуют с целью предотвращения падения града на сельскохозяйственные угодья.

В [1,2] приведены результаты исследований акустических волн, излучаемых УВ антиградовой установки. Получены зависимости частоты и интенсивности звуковых волн от времени в диапазоне от 100 до 4000 Hz; установлен диапазон частот (100–300 Hz), при которых происходит стимулирование осадков звуком [3]. Также в [1,2] получено, что акустическая волна, генерируемая антиградовой установкой, достигает ионосферы — высоты  $\approx 100$  Km. Этот результат получен на основании физических процессов, описанных в [4–7]. Теоретические аспекты распространения УВ приведены в [8–11].

В данной работе представлены результаты осциллографирования УВ, полученные с помощью микрофонов, расположенных на разных высотах вдоль направления ее распространения, экспериментально определены скорости движения волны, рассмотрены процессы, происходящие в камере сгорания топлива.

Принцип действия установки заключается в создании мощной УВ, направленной вертикально вверх, после поджига пропан-бутановой воздушной смеси во взрывной камере сгорания, расположенной в основании установки. При подаче искры зажигания в разрядник в камере сгорания повышается давление, благодаря этому в дальнейшем формируется УВ. В процессе одного импульса сгорает порядка 15–20 г газообразного топлива. Установка действует как в режиме одиночного импульса, так и в периодическом режиме с периодом следования импульсов 6 с. Угол раскрытия рупора излучателя УВ противоградовой установки равен  $\alpha = 8.5$  deg. Длина конической части рупора — 4 м, диаметр на выходе 0.8 м.

На рис. 1 приведены схема (а) и фото (b) установки.

Регистрация осциллограммы УВ производилась двумя микрофонами, один из которых был расположен на поверхности земли рядом с установкой, второй находился на высоте 30 м. Электрические сигналы с двух микрофонов поступали на вход компьютера, и производилась одновременная их регистрация. На рис. 2 приведена осциллограмма, на которой представлены оба сигнала: кривая 1 — сигнал с микрофона, расположенного около установки, кривая 2 — с микрофона, установленного на высоте 30 м. Из приведенных осциллограмм видно, что на обоих сигналах первые положительные импульсы имеют малую длительность. Сигнал с верхнего микрофона (кривая 2) свидетельствует, что после короткого острого положительного импульса (зона уплотнения, передний фронт волны) следует глубокая продолжительная область пониженного давления, которая продолжа-

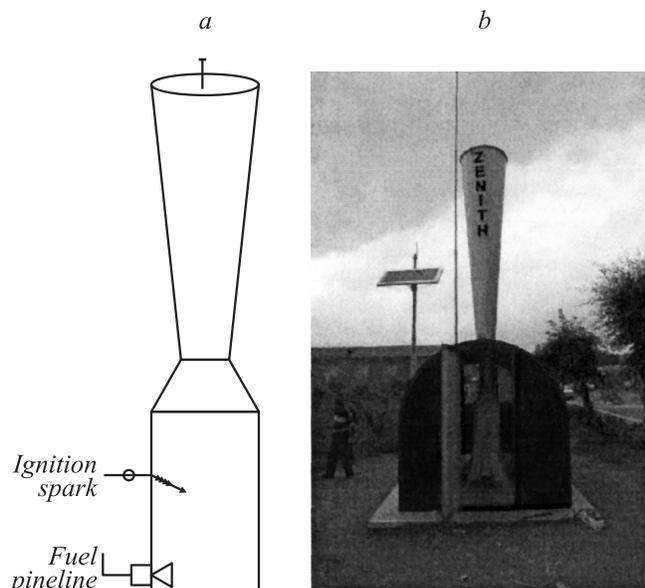
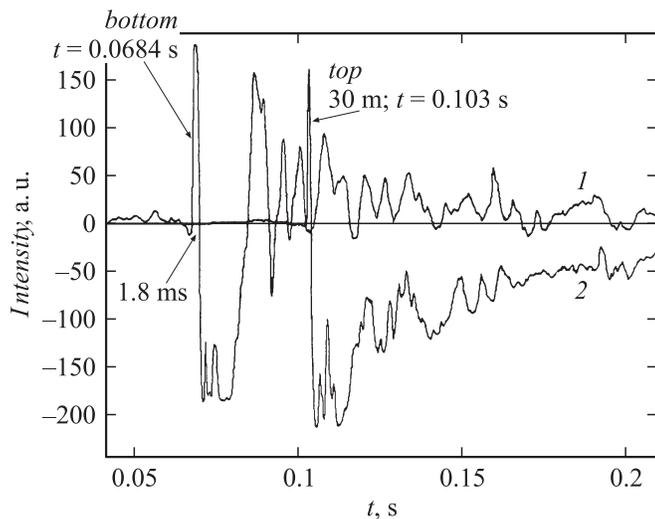
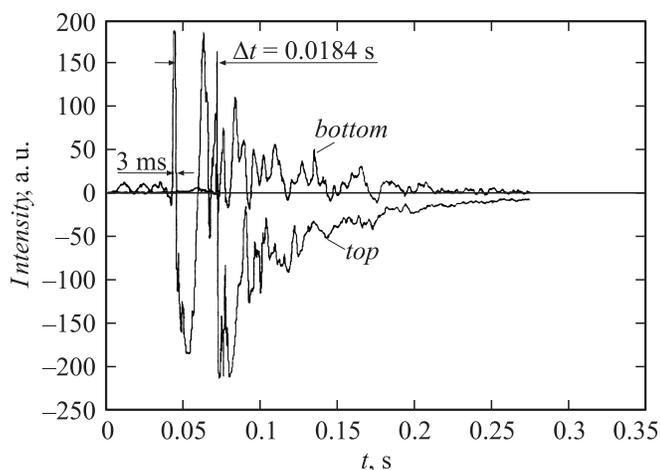


Рис. 1. Антиградовая акустическая установка: а — схема и b — фото.



**Рис. 2.** Осциллограммы с двух микрофонов, детектирующих акустические волны: 1 — сигнал с микрофона, расположенного внизу около установки на расстоянии 8 м от наружного конца рупора; 2 — сигнал с микрофона, установленного на высоте 30 м.



**Рис. 3.** Осциллограммы, аналогичные приведенным на рис. 2. Другой выстрел.

ется порядка 150–200 мс. По мере удаления переднего фронта волны в зону разрежения, окруженную воздухом вследствие образовавшегося градиента давления, поступает газ, заполняет его и соответственно уменьшает его величину.

Таким образом, можно прийти к заключению, что сигнал с верхнего микрофона свидетельствует, что на высоте 24 м от верхнего края рупора распространяется УВ с узким передним фронтом и с достаточно длинной областью пониженного давления за зоной уплотнения.

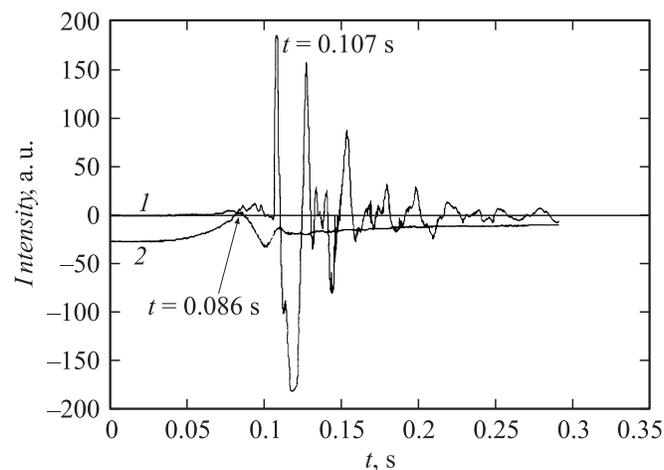
Временной промежуток между передним фронтом сигнала с нижнего и с верхнего микрофонов составляет порядка 35 мс. Учитывая расположение микрофонов по отношению к высоте рупора, можно определить сред-

нюю скорость распространения волны, которая, согласно осциллограмме, равна 650 м/с.

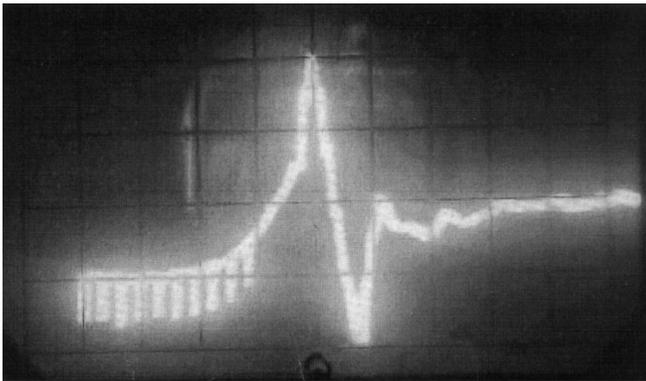
Электрический сигнал с нижнего микрофона показывает, что после положительной части волны следует непродолжительная область пониженного давления, после чего видны звуковые колебания около нулевой оси, так как вниз поступает сферическая волна.

Приведем еще один пример осциллограмм (рис. 3), которые получены при другом выстреле. Рассчитанная по этой осциллограмме скорость УВ равна 1200 м/с. Следует отметить, что при работе антиградовой установки в периодическом режиме имеется разброс от выстрела к выстрелу по силе УВ, по различным другим параметрам, в силу разного наполнения камеры сгорания газовой топливной смесью, поэтому и скорости УВ различаются от импульса к импульсу. В связи с этим были рассчитаны скорости УВ по пяти осциллограммам и усреднены. Усредненная скорость УВ равна 1100 м/с.

Рассмотрим процессы, происходящие во взрывной камере сгорания установки, и их взаимосвязь с излучением из рупора УВ. Для этого обратимся к осциллограммам, представленным на рис. 4. На наружной стороне камеры был установлен тензодатчик для измерения давления внутри камеры после поступления электрического сигнала на разрядник. Отметим, что внутренний диаметр камеры сгорания равен 53 см, толщина стенки 0.5 см, электроды разрядника расположены в середине камеры ближе к основанию, высота камеры примерно равна 130 см. На осциллограмме видно, что сигнал с тензодатчика начинает увеличиваться по временной шкале примерно с 0.03 с и в течение 30 мс медленно нарастает и достигает наибольшей величины, затем сигнал уменьшается в течение 20 мс и падает практически до нуля примерно через 15 мс. Передний фронт мощного акустического сигнала поступает на нижний микрофон примерно через 56 мс после начала увеличения сигнала с тензодатчика.



**Рис. 4.** Осциллограммы: 1 — акустический сигнал с микрофона, расположенного внизу около установки; 2 — сигнал с тензодатчика, укрепленного на наружной стороне стенки взрывной камеры сгорания.



**Рис. 5.** Осциллограмма с тензодатчика, установленного на стенке камеры сгорания, полученная с экрана осциллографа.

Для более наглядного анализа процессов, происходящих в камере сгорания, обратимся к еще одной осциллограмме с тензодатчика, полученной на экране осциллографа и приведенной на рис. 5. В начале импульса видны 10 вертикальных тонких импульсов, идущих на электроды разрядника от схемы запуска. Следует отметить, что с первого сигнала разрядник пробивается (это установлено экспериментально) и образуется плазма, после чего устанавливается ламинарный режим горения, который через некоторое время переходит в дефлекционный. После начала поступления электрического импульса на электроды разрядника давление в камере взрыва достигает максимального значения примерно через 40 ms. Затем через рупор происходит выброс продуктов горения, давление в камере резко уменьшается и становится меньше, чем в самом начале, до поступления тока на разрядник, т.е. в камере взрыва возникает разрежение, что подтверждается стягиванием заслонок, укрепленных с внутренней стороны стенки камеры сгорания. На осциллограмме (рис. 4) видно, что примерно в это время происходит генерация акустической волны, поступающей на микрофон. Принимая время быстрого радиального распространения взрывной волны  $\sim 15$  ms и учитывая значение радиуса камеры сгорания, можно оценить среднюю радиальную скорость распространения взрыва, которая составляет приблизительно 20 m/s.

Авторы выражают благодарность О.Г. Налбандяну за участие в работе, полезные обсуждения и ценные замечания.

## Список литературы

- [1] Арамян А.Р., Арамян Г.Р., Ароян К.П., Галечян Г.А., Варданян А.А., Даниелян Г.А., Нерсисян Г.Б. // Вестник МАНЭБ. 2009. Т. 14. № 4. С. 51–55.
- [2] Арамян А.Р., Арамян Г.Р., Ароян К.П., Галечян Г.А., Варданян А.А., Даниелян Г.А., Нерсисян Г.Б. // Акуст. журн. 2011. Т. 57. Вып. 3.
- [3] Галечян Г.А. // ЖТФ. 2005. Т. 75. Вып. 9. С. 85–88.
- [4] Галечян Г.А. // УФН. 1995. Т. 165. Вып. 12. С. 1357–1378.

- [5] Galechyan G.A. // Laser Physics. 1994. Т. 4. С. 23–26.
- [6] Арамян А.Р., Галечян Г.А. // УФН. 2007. Т. 177. Вып. 11. С. 1207–1230.
- [7] Галечян Г.А. // Природа. 1994. № 3. С. 65–71.
- [8] Лазарев А.Л., Коваленок В.В., Авакян С.В. Исследование Земли с пилотируемых космических кораблей. Л.: Гидрометеониздат, 1987. С. 15.
- [9] Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. С. 464.
- [10] Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. С. 441.
- [11] Зельдович Я.Б. Теория ударных волн и введение в газодинамику. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 187 с.