

УДК 621.396.6

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА УДАРНО- ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ПОРОЖДАЕМЫХ ДЕТОНАЦИЕЙ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ И АЭРОЗОЛЕЙ

© 2011 С.Ю. Ганигин, И.Д. Ибатуллин, В.В. Калашников, А.В. Керов,  
О.А. Кобякина, А.Ю. Мурзин, М.В. Ненашев, П.В. Письменный,  
И.Е. Хлыстова, А.А. Чеботаев

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 21.03.2011

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния свойств взрывчатых материалов на параметры акустических колебаний, обсуждаются вопросы оценки фугасности ВВ по параметрам ударных волн, и определения качества газовых детонирующих смесей, используемых в процессе детонационного напыления.

Ключевые слова: акустические колебания, взрывчатые вещества, детонация

Параметры ударных волн, порождаемых детонацией образцов взрывчатых веществ (ВВ), зависят от массы, физико-химических свойств, расстояния до точки инициирования. Для оценки мощности взрыва используют тротиловый эквивалент, определяемый по параметрам ударной волны. В [1] тротиловый эквивалент вводят для оценки работоспособности ВВ, как характеристика механического действия. Разработка методики определения работоспособности ВВ по параметрам ударных волн имеет практический интерес, т.к. такая методика дает возможность проведения экспресс-испытаний в лабораторных условиях на

малогабаритных образцах твердых веществ с массами 5-100 мг. При этом возникает необходимость регистрации и анализа слабых ударных и звуковых волн.

В работе приводятся экспериментальные данные, полученные при измерении параметров фронта ударной волны в воздухе, и результаты обработки акустических колебаний, полученных при детонации твердых и газообразных взрывчатых веществ с разными значениями работоспособности. Работа проводилась для подтверждения возможности определения фугасных свойств ВВ по параметрам воздушных ударных волн, образующихся при детонации зарядов малой массы (5-100 мг). Такое предположение имеет основание, так как мгновенные значения уровней давления определяются количеством, энергией и скоростью выделения продуктов детонации. Для создания колебаний среды с уровнями, надежно регистрируемыми измерительной аппаратурой, требуется гораздо меньшие количества взрывчатых веществ, чем в стандартных методиках измерения фугасности.

**Качественная оценка механического действия взрыва воспламенительного состава и азид свинца.** В лабораторных условиях осуществляли испытания термостойкого воспламенительного состава и азид свинца. Фугасные свойства рассматриваемых веществ сильно различны. Изготавливались заряды массой 20 мг в алюминиевой цилиндрической оболочке с давлением прессования 1000 кг/см<sup>2</sup>. При проведении экспериментов использовался

*Ганигин Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: gail@rambler.ru*

*Ибатуллин Ильдар Дугласович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». E-mail: tribo@rambler.ru*

*Калашников Владимир Васильевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология твердых химических веществ»*

*Керов Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ»*

*Кобякина Ольга Анатольевна, аспирантка*

*Мурзин Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: ttxb@inbox.ru*

*Ненашев Максим Владимирович, доктор технических наук, проректор по научной работе. E-mail: max71@mail.ru*

*Письменный Павел Владимирович, преподаватель кафедры «Радиотехнические системы»*

*Хлыстова Ирина Евгеньевна, аспирантка*

*Чеботаев Александр Анатольевич, аспирант*

датчик звукового давления – пьезорезистивный микрофон ENDEVCO 8510B – 1 (усилитель 4423 с источником питания 4225) с чувствительностью 27 мВ/1000 Па, частой резонанса 55 кГц, динамическим диапазоном 0-12 кПа и электродинамический микрофон АН59 с чувствительностью 18 В/Па. Для калибровки и поверки измерительных микрофонов использовался пистонфон ПП-101, предназначенный для создания постоянного звукового давления 125 дБ.

Инициирование осуществлялось сбросом груза массой 500 г на копре. Груз сбрасывали с высоты 15 см. Давление фиксировали на расстоянии 0,2 м и 0,6 м от заряда. Звуковой сигнал регистрировали и далее определяли удельную энергию, нормированную по времени

$$E \approx \sum_{i=0}^n \left[ \frac{s^2(t + \Delta t_i)}{(t + \Delta t_i)} \right] \quad (1)$$

Временная диаграмма результата обработки сигнала, полученного с электродинамического микрофона по алгоритму (1) и нормированная величина (1) по мощности азид свинца, представлена на рис. 1.

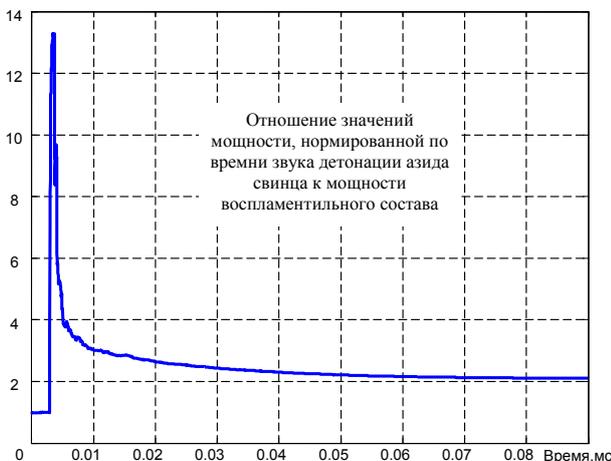
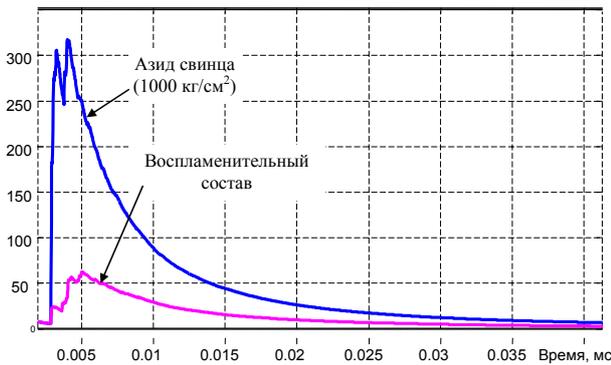


Рис. 1. Результаты обработки звука детонации азид свинца и воспламенительного состава

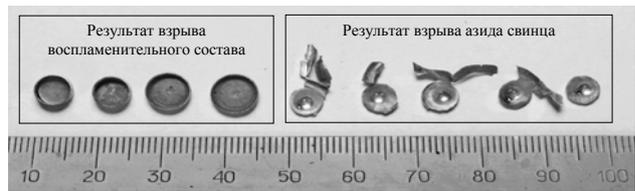


Рис. 2. Результаты взрыва воспламенительного состава и азид свинца

Качественно сравнить механическое действие взрывов можно по деформации оболочки зарядов образцов. Бризантность и фугасность воспламенительного состава меньше чем у азид свинца, что подтверждается соотношением мощностей звуковых сигналов.

**Влияние давления прессования зарядов азид свинца на параметры ударной волны.** В [2] представлены результаты сравнения параметров ударных волн при детонации азид свинца разной плотности для зарядов массой 300 г. В [3] описаны методики экспериментов с образцами массой от 5 до 20 мг. В нашем случае использовались образцы азид свинца массой 20 мг с давлением прессования 500 кг/см<sup>2</sup> и 1200 кг/см<sup>2</sup> в алюминиевой цилиндрической оболочке диаметром 3 мм и высотой 5 мм. Инициирование осуществлялось тепловым импульсом, генерируемым лазерным диодом и вводимым в вещество посредством оптоволоконного кабеля. Схема эксперимента приведена на рис. 3. В дальней зоне (на расстоянии 0,6 м) сигнал регистрировался электродинамическим микрофоном. На рис. 4 представлены реализации, усредненные по результатам десяти опытов. Сравнивая энергии сигналов (рис. 4а), видно, что механическое действие взрыва образца большей плотности больше чем образца меньшей плотности. Количественное сравнение можно выполнить по результатам нормирования по времени и расчета отношения мощности звука детонации одного и другого вещества (рис. 5).

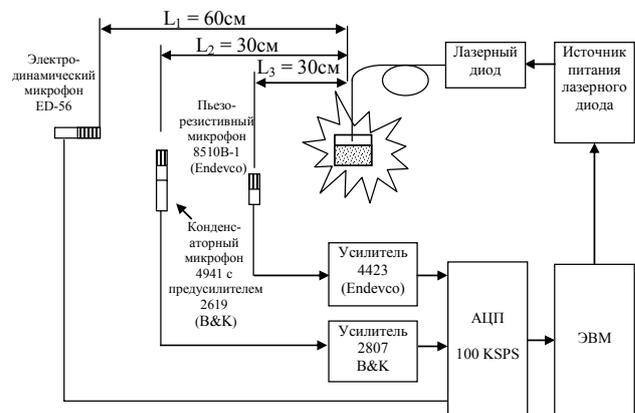


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

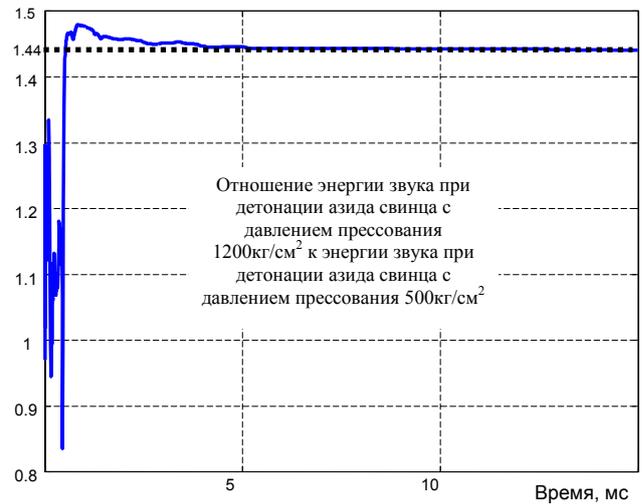
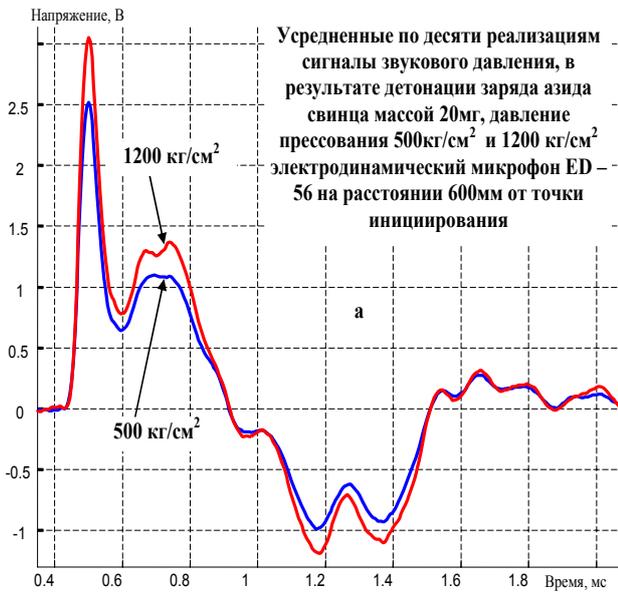


Рис. 5. а) распределение мощности звука, б) отношение мощностей звука

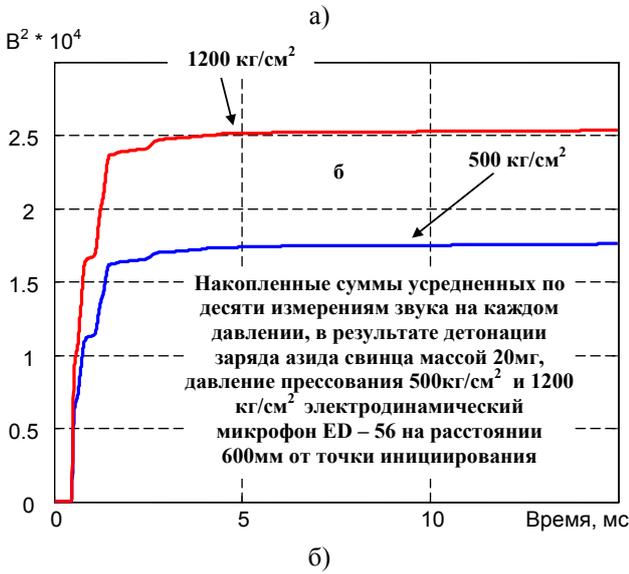
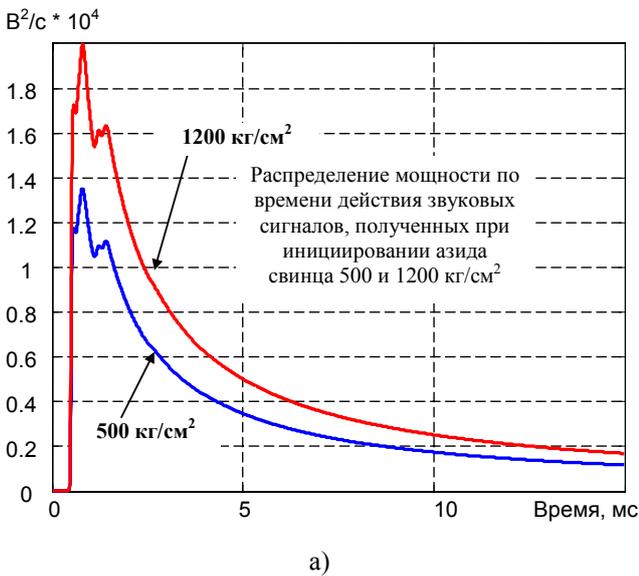


Рис. 4. а) усредненные звуковые сигналы, б) удельная энергия сигналов



**Эксперименты с бризантными веществами.** Практический интерес представляет связь параметров ВУВ с параметрами бризантных ВВ. Определялся акустический эквивалент работоспособности по параметрам взрыва опорного вещества (тротил) для ТЭНа, гексогена и тетрила. Испытывались навески массой 50 мг. Иницирование осуществлялось сбросом груза массой 10кг на копре К44-2. Использовался электродинамический микрофон, установленный на расстоянии 3 м от образца. Зарегистрированные сигналы выравались по времени и определялись накопленные суммы квадратов отсчетов сигнала. Относительная работоспособность определялась как:

$$B = \frac{\sum_{i=0}^n s_{xi}^2}{\sum_{i=0}^n s_{0i}^2} \quad (2)$$

где  $s_x$  – сигнал, полученный при «пробе» вещества с искомой работоспособностью,  $s_0$  – сигнал, полученный при «пробе» вещества с эталонной работоспособностью (тротил). На рис. 6 представлен результат эксперимента. На графике отмечены справочные данные относительной работоспособности. На рис.8 приведено сравнение нормированной мощности звуковых сигналов, зарегистрированных при детонации зарядов веществ малой массы и нормированных значений работоспособности, полученных методом Траудля.

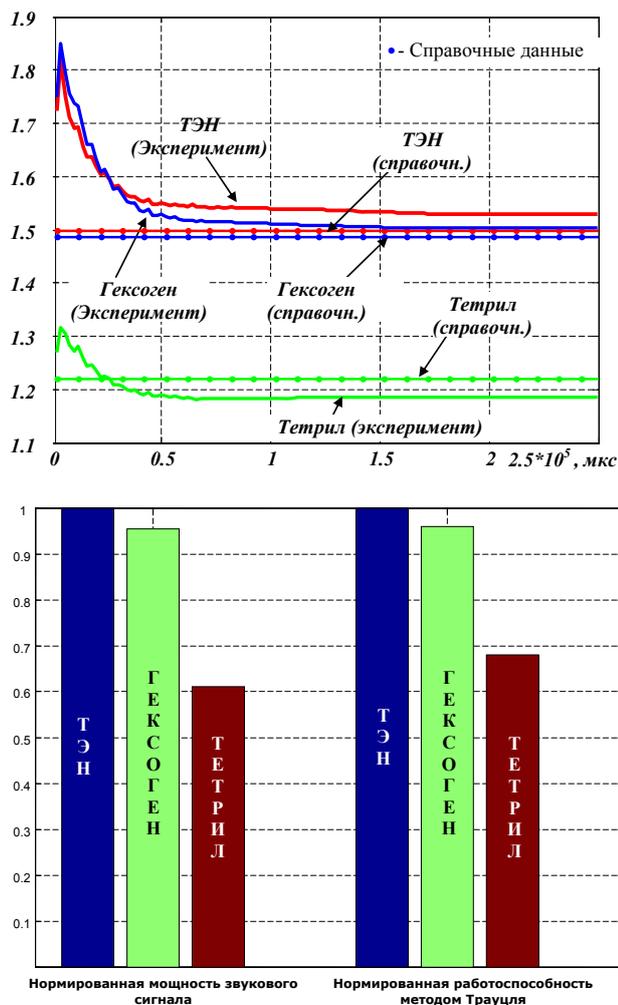


Рис. 6. Результат обработки эксперимента по определению относительной работоспособности, нормированной по тротилу

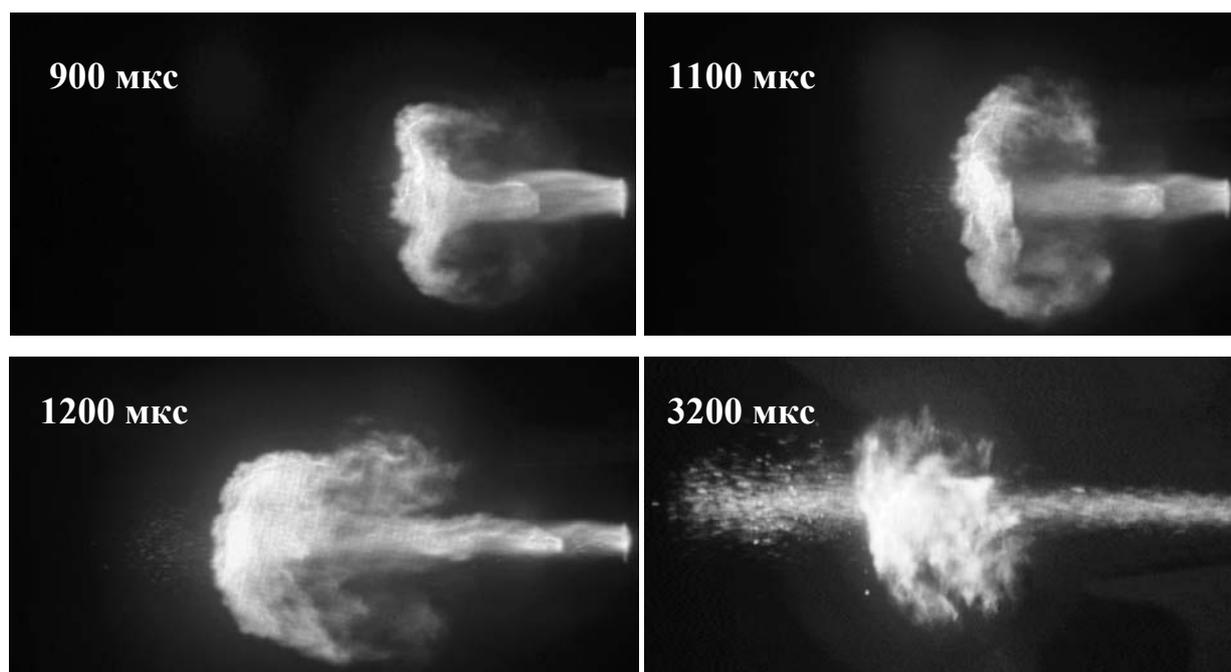


Рис. 7. Фотографии, полученные высокоскоростной фотокамерой процесса детонационного метания частиц порошка (время экспозиции 20 мкс)

Эксперименты с газовой детонацией выполнялись для определения характера зависимости мощности звукового сигнала от количества детонирующей газовой смеси ацетилен-кислород. Параметры покрытий, получаемых детонационным методом определяются количеством и качественным составом газовой смеси [5, 6]. Непрерывный контроль этих свойств является актуальной проблемой и имеет практический интерес. Эксперименты проводились на установке детонационного напыления с длиной ствола 0,6 м и диаметром 20 мм. Фотографии процесса формирования потока частиц приведены на рис. 7.

В качестве датчика использовался микрофон, установленный на расстоянии 1,5 м от среза ствола по нормали к направлению движения газового потока. На каждом режиме выполнялось по 20 опытов (рис. 8). Определялись значения накопленных сумм квадратов отсчетов (рис. 9). По усредненным значениям строилась зависимость максимальных значений от относительной массы газовой смеси (рис. 10). Таким образом, анализируя рис. 10, видно, что удельная энергия сигнала имеет монотонный, близкий к линейному характер зависимости мощности от количества детонирующей газовой смеси.

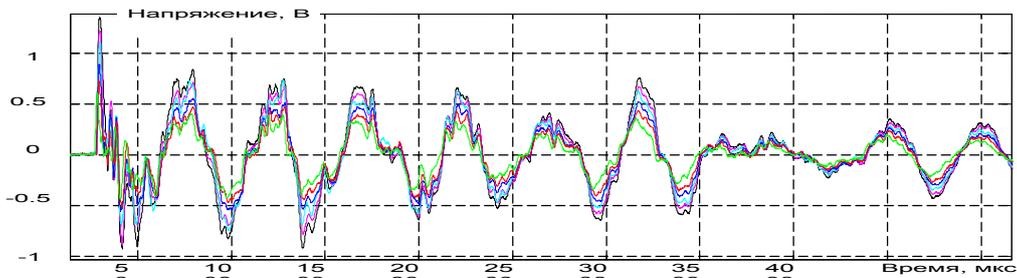


Рис. 8. Реализации сигналов, полученных с микрофона при детонации газовой смеси ацетилен-кислород

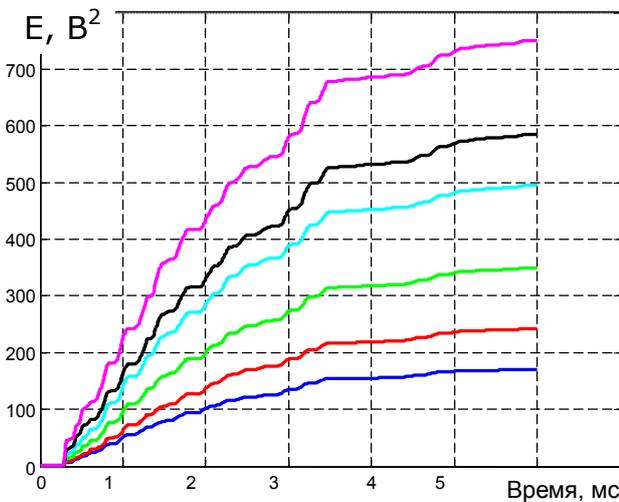
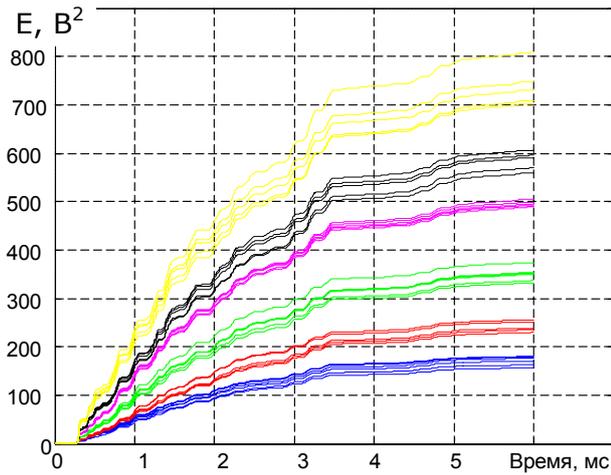


Рис. 9. Накопленные суммы

**Выводы:** очевидно, что анализ параметров звуковых колебаний, порождаемых детонацией ВВ, имеет практический интерес. В частности, может быть построена методика определения эффективности механического действия взрывчатых материалов, синтезируемых в малых количествах, с массами испытуемых образцов в десятки и сотни раз меньшими, чем требуется в стандартных методиках (от 10 г до 200 г).

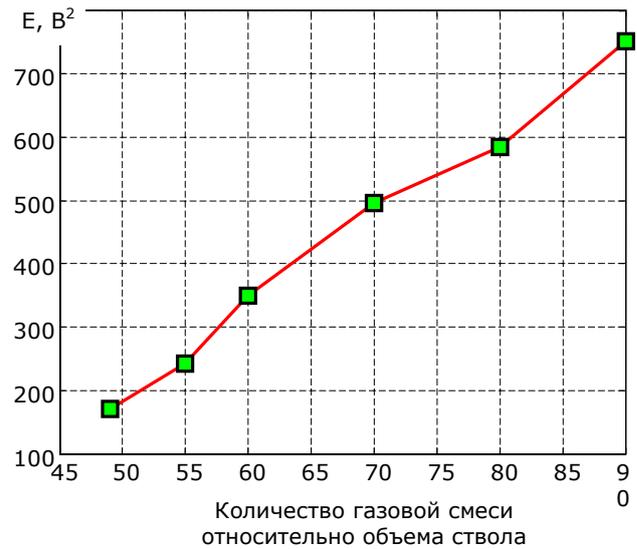


Рис. 10. Зависимость удельной энергии сигнала от относительного количества газовой смеси

Возможно упрощение испытаний взрывчатых веществ на фугасное и бризантное действие путем снижения массы испытуемых образцов, материалоемкости и себестоимости. Ярким подтверждением является результат сравнения относительной работоспособности, полученной акустическим методом с результатами испытаний ВВ в свинцовой бомбе (рис. 6). Важен факт качественной корреляции полученных данных со стандартной методикой, так как данные стандартных методов в относительных величинах количественно не совпадают [3]. Результаты, полученные при экспериментах с детонацией газовых смесей, например, позволяют контролировать качество технологического процесса детонационного напыления.

*Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Андреев, С.Г. Физика взрыва: в 2-х т. / С.Г. Андреев и др.; ред. Л.П. Орленко. - 3-е изд., испр. - М.: Физматлит. Т.1 - 2004. 832 с.

2. Христофоров, Б.Д. Параметры фронта ударной волны в воздухе при взрыве зарядов из тэна и азида свинца разной плотности // ПТМФ. 1961. №6. С. 175-182.
3. Kleine, H. Characteristics of Blast Waves Generated by Milligram Charges / H. Kleine, K. Ohashi, T. Mizukaki, K. Takayama // American Physical Society, 53rd Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics November 19 - 21, 2000 Washington.
4. Авакян, Г.А. Об экспериментальных и расчетных методах оценки работоспособности (фугасности) взрывчатых веществ / Г.А. Авакян, Л.В. Дубнов, А.А. Мельников, Ю.М. Ким // Взрывное дело. 1978. № 80/37. С. 22-29.
5. Ненашев, М.В. Оптимизация технологии нанесения детонационных покрытий на опоры буровых долот с использованием энергетических критериев прочности / М.В. Ненашев, В.В. Калашников, И.Д. Ибатуллин др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, №1. С. 462-466.
6. Ненашев, М.В. Опыт исследования и применения технологии нанесения детонационных покрытий / М.В. Ненашев, В.В. Калашников, И.Д. Ибатуллин и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, №1. С. 569-575.

**USE THE ACOUSTIC FLUCTUATIONS FOR QUALITATIVE  
AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF SHOCK-WAVE PROCESSES,  
GENERATED BY DETONATION OF EXPLOSIVES, GAS  
MIXTURES AND AEROSOLS**

© 2011 S.Yu. Ganigin, I.D. Ibatullin, V.V. Kalashnikov, A.V. Kerov, O.A. Kobyakina,  
A.Yu. Murzin, M.V. Nenashev, P.V. Pismenniy, I.E. Hlystova, A.A. Chebotaev

Samara State Technical University

In work results of experimental researches the influence of explosive materials (EM) properties on parameters of acoustic fluctuations are presented, estimation questions of land mining EM on parameters of shock waves, and definitions the quality of gas detonating mixes, used in detonation dusting process are discussed.

Key words: *acoustic fluctuations, explosives, detonation*

---

*Sergey Ganygin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" Department. E-mail: [grail@rambler.ru](mailto:grail@rambler.ru)*

*Ildar Ibatullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Machine Building Technology" Department. E-mail: [tribo@rambler.ru](mailto:tribo@rambler.ru)*

*Vladimir Kalashnikov, Doctor of Technical Sciences, Head of the "Technology of Solid Chemical Substances" Department*

*Andrey Kerov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances" Department*

*Olga Kobyakina, Post-graduate Student*

*Andrey Murzin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Technology of Solid Chemical Substances". E-mail: [ttxb@inbox.ru](mailto:ttxb@inbox.ru)*

*Maxim Nenashev, Doctor of Technical Sciences, Deputy Rector on Scientific Work. E-mail: [max71@mail.ru](mailto:max71@mail.ru)*

*Pavel Pismenniy, Teacher at the "Radio-technical Systems" Department*

*Irina Hlystova, Post-graduate Student*

*Alexander Chebotaev, Post-graduate Student*