

УДК 537.530

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. П. БОРОНИН, Ю. А. МЕДВЕДЕВ, В. М. СТЕПАНОВ

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬС
ИМПУЛЬСАЦИИ ОБЪЕМА ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ЗАРЯДА В. В.**

(Представлено академиком А. Ю. Ишлинским 21 II 1972)

В ряде работ (¹⁻⁵) описаны импульсы электрического поля, сопровождающие взрывы заряда в.в., а также высказаны чисто качественные предположения о природе возбуждения таких импульсов, основанные на интуитивном отборе наиболее важных из большого числа возможных механизмов, которые могут приводить к наблюдаемым электрическим эффектам.

Очевидно, однако, что основным источником информации о физике возбуждения электрического импульса являются сами осциллографические записи импульсов поля. Количественная обработка осциллограмм и корреляция с газодинамическими параметрами взрыва, насколько нам известно, выполнена лишь в работах (⁵⁻⁷) и относится к началу процесса, когда радиус ударной волны не превосходит $\sim 20 r_0$, где r_0 — радиус заряда в.в. (для массы заряда 50 г это время ~ 150 мсек.).

Выявление обобщенных количественных зависимостей, описывающих импульсы поля на различных расстояниях от взрыва разных масштабов в более широком интервале времени, и сопоставление этих зависимостей с автомодельными газодинамическими величинами облегчают интерпретацию и позволяют производить количественную проверку различных гипотез возбуждения импульса.

Для взрывов зарядов в.в. массой десятки — сотни грамм время развития основных газодинамических явлений составляет несколько миллисекунд. В проведенных опытах в течение 2 — 3 мсек. практически без искажения регистрировались собственные низкочастотные импульсы электрического поля на расстояниях нескольких метров от взрыва зарядов в.в. типа ТГ-50/50 с массами 54, 225, 660 г, подрываемых огнем способом в отсутствие внешних электрических и магнитных полей. В целом методика изменений мало отличалась от описанной в (⁵).

На рис. 1 а, б представлены типичные осциллограммы импульсов поля на расстоянии 2,5 м (нижние лучи) и 3,5 м (верхние лучи) от взрывов зарядов массой 54, 225 г. Частота меток времени 10 кГц. Из рис. 1а видно, что основной отрицательный сигнал имеет три достаточно хорошо выраженных максимума в моменты времени $t_2 \simeq 600$, $t_4 \simeq 1600$, $t_6 \simeq 2500$ мсек. соответственно. С увеличением массы заряда возрастает амплитуда и характерная длительность импульсов (рис. 1б), общий характер импульсов сохраняется.

Обработка достаточно большого статистического материала (несколько сот осциллограмм, полученных в ~ 100 опытов на разных расстояниях R от взрывов зарядов разных масс), выполненная методом наименьших квадратов, показывает, что импульс электрического поля может быть описан обобщенной зависимостью

$$\frac{E(t^0)}{E^*(t_2^0)} = \Psi(t^0) \left[\frac{2,5}{R} \right]^\beta \left[\frac{m}{54} \right]^\alpha, \quad [m] = \text{г}, \quad [R] = \text{м},$$

где $t^0 = tm^{-1/3}$ — безразмерное время (t в сек., m в кг); $\Psi(t^0)$ — универ-

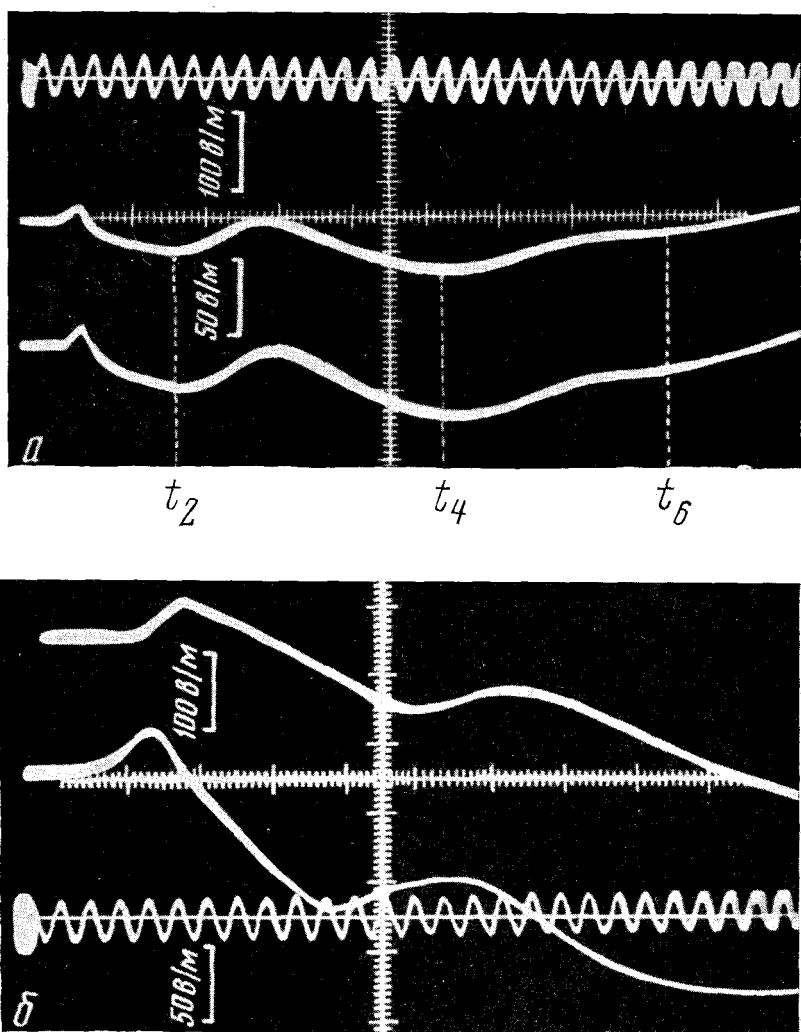


Рис. 1

сальная функция безразмерного времени t^0 , одинаковая для взрывов разных масштабов; $E^*(t_2^0)$ — напряженность электрического поля импульса в момент t_2 на расстоянии 2,5 м от взрыва заряда в.в. массой 54 г; показатели $\alpha = 0,99 \pm 0,2$, $\beta = 2,6 \pm 0,7$ (при доверительной вероятности 0,9).

Автомодельный характер зависимости формы импульса от времени проиллюстрирован рис. 2а, на котором изображены экспериментальные импульсы от заряда разных масс (сплошные кривые — $m = 54$ г, пунктирная — $m = 660$ г, штрих-пунктирная — $m = 225$ г), приведенные к автомодельному времени t^0 в соответствии с приведенным выше соотношением.

Таким образом, для зарядов в десятки — сотни грамм амплитуда импульса пропорциональна массе заряда, $\sim R^{-3}$, форма же всех импульсов описывается универсальной функцией автомодельного времени t^0 . Зависимость импульса от расстояния понятна, так как измерения проведены в ближней зоне источника поля. Автомодельный характер зависимости формы импульса от времени свидетельствует о том, что физический механизм возбуждения электрического поля в основном связан с газодинамическими процессами при взрыве.

Представляет интерес интерпретация трех плавных максимумов на обобщенном импульсе, достигаемых в моменты t_2^0 , t_4^0 , t_6^0 . Параметры удар-

ной волны взрыва монотонно меняются со временем, тогда как продукты взрыва в этом интервале времени испытывают пульсации, причем из-за быстрого затухания проявляются две-три пульсации⁽⁸⁾, поэтому форма обобщенного импульса коррелировалась с законом движения продуктов взрыва.

Поскольку экспериментальные данные о движении продуктов взрыва имеются только для стадии начального расширения, при сопоставлении использованы теоретические данные о движении передней границы продуктов взрыва⁽⁹⁾. На рис. 2б сплошной линией изображена теоретическая зависимость⁽⁹⁾ безразмерного радиуса $r(t^0)/r_0$ передней границы продук-

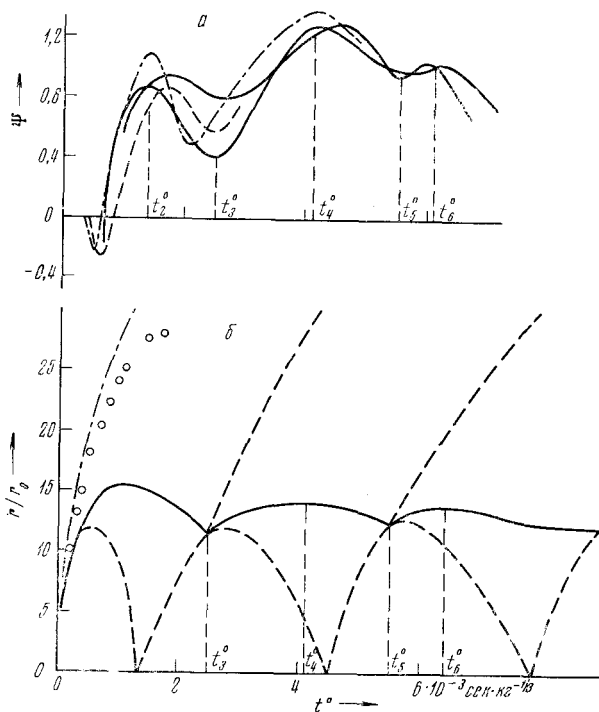


Рис. 2

тов взрыва от автомодельного времени t^0 . Там же изображены временные зависимости радиуса фронта основной ударной волны (штрих-пунктирная линия), распространяющейся в воздухе, и радиусы фронтов ударных волн, идущих по продуктам взрыва и последовательно отражающихся от границы продуктов взрыва и от центра, а также серия ударных волн, преломляющихся на границе продуктов взрыва (пунктирные линии).

Видно, что временное положение экстремумов зависимостей $r(t^0)/r_0$ в моменты t_3^0 , t_4^0 , t_5^0 , t_6^0 в пределах разброса экспериментальных кривых совпадает. Несколько больше различается временное положение максимума в момент t_2^0 . При объяснении этого расхождения следует иметь в виду, что при $t^0 \leq 10^{-3}$ имеющиеся экспериментальные данные о движении границы продуктов взрыва⁽¹⁰⁾ по зарядам типа ТГ-50/50 (кружки на рис. 2б) заметно расходятся с теоретическими⁽⁹⁾. Если учесть, что использованные теоретические данные по зависимости $r(t^0)/r_0$ относятся к чисто тротильовым зарядам, а импульсы электрического поля зарегистрированы от зарядов типа ТГ-50/50, то можно считать, что колебательная структура импульса поля удовлетворительно коррелируется с пульсациями объема, занятого продуктами взрыва.

Обнаруженный факт может служить прямым подтверждением (насколько нам известно, единственным) того, что процесс генерации низкочастотных импульсов электрического поля связан непосредственно с нестационарным расширением продуктов взрыва.

На основании установленной прямой пропорциональности амплитуды импульса и массы заряда можно сделать некоторые выводы относительно структуры источника поля. Если источник поля представляет собой эффективный электрический диполь с неравномерно распределенным по его объему зарядом (который может быть связан с зарядением частиц продуктов взрыва при разлете в результате электрокинетического эффекта ^(2, 3) или с каким-либо иным процессом), то можно сделать два естественных простейших предположения: 1) заряды распределены равномерно по объему продуктов взрыва, причем суммарный некомпенсированный электрический заряд частиц пропорционален массе заряда в.в.; 2) при разлете вещества заряды сосредоточены вблизи передней границы продуктов взрыва, причем суммарный заряд частиц пропорционален массе некоторого поверхностного слоя заряда в.в., т. е. поверхности заряда.

В первом случае амплитуда электрического импульса была бы пропорциональна $m^{1/3}$ (произведение суммарного электрического заряда на эффективное плечо диполя, пропорциональное $m^{1/3}$), что противоречит эксперименту. Второе же предположение приводит к правильной зависимости амплитуды сигнала от массы заряда.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт оптико-физических измерений

Поступило
26 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. Kolsky, Nature, **173**, № 4393 (1954). ² M. A. Cook, The Science of High Explosives, N. Y., 1958. ³ W. H. Anderson, C. L. Long, J. Appl. Phys., **36**, № 4 (1965). ⁴ Л. М. Горшунов, Г. П. Кононенко, Е. И. Сиротинин, ЖЭТФ, **53**, в. 3 (9) (1967). ⁵ А. П. Боронин, В. А. Вельмин и др., Журн. прикл. мех. и техн. физ., № 6 (1968). ⁶ А. П. Боронин, Ю. А. Медведев, Б. М. Степанов, Письма ЖЭТФ, **8**, в. 4 (1968). ⁷ А. П. Боронин, Ю. А. Медведев, Б. М. Степанов, ДАН, **192**, № 1 (1970). ⁸ Ф. А. Баум, Р. П. Станюкович, Б. И. Шехтер, Физика взрыва, М., 1959. ⁹ H. Y. Brode, Phys. of Fluids, **2**, № 2 (1959). ¹⁰ В. В. Адушкин, Журн. прикл. мех. и техн. физ., № 5 (1963).