

## ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Максимов, Ю. М. Григорьев, А. Г. Мержанов. Изв. АН СССР, сер. хим., 1966, 3, 422.
2. H. Selzer. 11-th Symposium (International) on Combustion, 1966, 439—446.
3. M. Sammerfeld et al. Solid Propellant Rocketry. v. I. N. Y., Academic Press, 1960.
4. Н. Н. Бахман, А. Ф. Беляев. Горение гетерогенных конденсированных систем. М., «Наука», 1967.
5. R. L. Coats. Final report Research on Combustion of solids propellants. Lockheed Co, Redlands, Calif., 641-F (December 1965).
6. В. В. Болдырев, О. П. Коробейничев, В. П. Паньков. Кинетика и катализ, 1968, 1, 218.
7. О. П. Коробейничев, В. В. Болдырев, Ю. Я. Карпенко. ФГВ, 1968, 4, 1.
8. О. П. Коробейничев, В. В. Александров, Н. З. Ляхов. Изв. АН СССР, сер. хим., 1970, 3.
9. P. Bradt, V. H. Dibeller, F. L. Mohler. J. Res. Nat. Bur. Standard, 1953, 50, 201.
10. В. В. Болдырев, О. П. Коробейничев, Ю. Я. Карпенко. Изв. АН СССР, сер. хим., 1968, 6, 1372.

УДК 532.593

### О ФОРМЕ ИМПУЛЬСА СЖАТИЯ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ ПРОВОЛОЧЕК В ВОДЕ

*В. А. Коротков, Г. А. Несветайлов*

*(Минск)*

Мощный искровой заряд находит широкое применение как источник возмущений в различных средах, преимущественно в воде [1—3]. Главным действующим фактором при этом является ударная волна, профиль которой обычно близок к экспоненте и характеризуется амплитудой давления и постоянной времени.

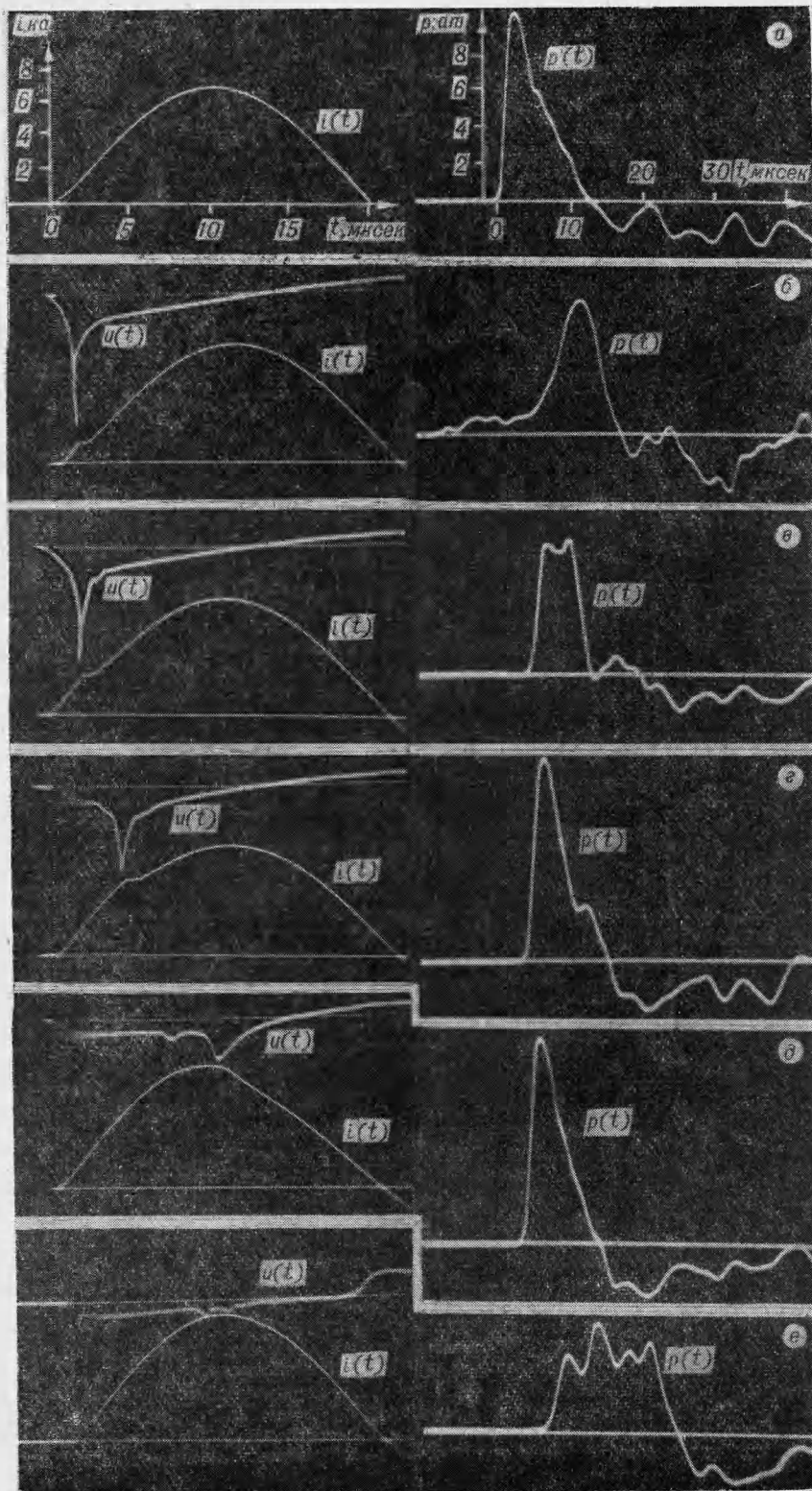
В большинстве научно-технических задач необходимо контролируемое изменение амплитуды и длительности импульса с обеспечением их воспроизводимости от разряда к разряду. При заданных свойствах среды и заданном линейном размере источника возмущений изменить характеристики волны давления от разряда можно лишь вариацией параметров разрядного контура, что технически сложно и не всегда осуществимо.

Задача затрудняется статистической природой процесса пробоя жидкости, в результате чего можно говорить лишь о вероятностных значениях возникающего давления.

В связи с этим значительный интерес представляет формирование ударной волны в воде с помощью электрического взрыва проводников, в частности проволочек [4]. Можно предполагать, что материал и размеры проволочки должны оказывать влияние на характеристики импульса сжатия, однако убедительные данные по этому вопросу отсутствуют. В работе [5] экспериментально исследованы вопросы моделирования подводных взрывов, однако эксперименты проводились только с нихромовой проволочкой фиксированных размеров, в то время как в работе [6] показано, что размеры проволочки существенно влияют на амплитуду давления. Параметры импульса сжатия оценивались в работе [7] для ближней зоны электрического взрыва в полиэтилене и воде по пластической деформации стальной трубки, причем для всех режимов априорно предполагалась экспоненциальная форма импульса.

Целью настоящей работы является исследование влияния режима взрыва и материала взрывающейся проволочки на характеристики волны давления в воде при фиксированных параметрах разрядного контура:  $u=25$  кв,  $C=9$  мкф,  $L=4,5$  мкн. Режим взрыва регулировался путем изменения диаметра проволочки. Для разделения во времени электрической наводки от разряда и сигнала от датчика давление фиксировалось в точке, удаленной от взрывающейся проволочки на 0,6 м. Датчик давления (турмалиновый точечный) изготовлен по методике И. Б. Синани [8].

На рисунке представлены осциллограммы изменения давления в воде и тока для искрового разряда при длине разрядного промежутка 25 мм, что в условиях данного эксперимента обеспечивает аperiодический режим разряда, который обычно в



Осциллограммы разрядного тока (слева) и давления в воде (справа).  
 а — искровой разряд; б, в, г, д, е — электрический взрыв медной проволоки длиной  
 25 мм и диаметром 0,02, 0,08, 0,29, 0,38, 0,55 мм соответственно.

прикладных задачах считается оптимальным. Здесь же представлены результаты взрыва в воде медных проволочек с длиной, равной искровому промежутку.

Из рисунка (*b* — *e*) следует, что форма импульса сжатия в воде существенно зависит от режима взрыва, который может быть охарактеризован моментом появления излома на кривой тока и пика на кривой напряжения, соответствующего моменту собственно взрыва или фазового перехода металла в парообразное состояние.

Проволочка диаметром 0,02 мм практически не изменяет осциллограмму тока искрового разряда, но вносит заметные искажения в форму импульса сжатия, создавая предварительное возмущение — предвестник. Вся запасенная в конденсаторах энергия выделяется в канале разряда, который служит практически единственным источником ударной волны. Увеличение диаметра проволочки до 0,08 мм повышает влияние взрыва проволочки на процесс образования импульса сжатия, который в общем случае формируется под действием двух факторов: непосредственно электрического взрыва (фазового превращения) проволочки и последующего разряда в парах металла. Излом кривой тока более заметен, но по-прежнему располагается в самом начале и почти не изменяет ее формы. Примечательной особенностью этого режима можно считать приближение формы результирующего импульса к прямоугольной. Этот эффект является устойчивым и может рассматриваться как метод получения волны давления с почти прямоугольным профилем.

Дальнейшее увеличение диаметра взрывающейся проволочки приводит к вырождению импульса от разряда в парах металла и к превращению импульса сжатия в ударную волну (начиная с диаметра 0,16 мм). Максимально возможная при данных параметрах контура амплитуда ударной волны наблюдается в тех случаях, когда испарение происходит вблизи максимума тока. Этот режим соответствует диаметру проволочки около 0,40 мм, который можно считать оптимальным при выбранной длине.

Как видно из рисунка (*g*, *d*), на большом расстоянии от места взрыва амплитуда и длительность ударной волны при искровом разряде и взрыве медной проволочки не отличаются значительно для случая, когда длина проволочки равна длине оптимального искрового промежутка, а ее диаметр близок к оптимальному.

С увеличением диаметра сверх оптимального значения зависимость эффективности взрыва проволочки от диаметра становится весьма критичной. Импульс сжатия для проволочки диаметром 0,55 мм теряет форму ударной волны, его амплитуда снижается, длительность увеличивается, характерный пик на осциллограмме напряжения вырождается. Устойчивой особенностью данного режима является близкая к прямоугольной форма импульса сжатия (см. рисунок, *в*). Отличие состоит в большей величине удельного механического импульса ( $6,8 \text{ н} \cdot \text{сек} \cdot \text{м}^{-2}$  для диаметра 0,55 мм и  $4,3 \text{ н} \cdot \text{сек} \cdot \text{м}^{-2}$  для 0,08 мм), хотя удельная энергия, переносимая волной сжатия, одинакова и равна  $1,9 \text{ н} \cdot \text{м}^{-1}$ .

При дальнейшем увеличении диаметра проволочки взрыв вырождается в быстрое плавление и разрушение проводника с частичным испарением. Соответственно этому осциллограмма давления состоит из нескольких отдельных пиков, хаотично следующих друг за другом. Такой режим крайне нестабилен и практического интереса не представляет.

Таким образом, регистрация давления в воде в акустической зоне показывает, что при данных параметрах разрядного контура можно в широких пределах изменять форму импульса сжатия путем изменения диаметра взрывающейся проволочки.

В настоящем исследовании существенного влияния материала проволочек на характеристики ударной волны в акустической зоне не обнаружено. Осциллограммы давления от взрыва в режимах, когда испарение происходит вблизи максимума токовой кривой для проволочек из меди, алюминия, никеля, никрома, практически не отличаются, что подтверждает результаты [6].

Поступила в редакцию  
24/III 1969

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Т. В. Баженова, Р. И. Солоухин. Сб. «Физическая газодинамика». М., Изд-во АН СССР, 1959.
2. К. А. Наугольных, Н. А. Рой. Докл. АН СССР, 1966, 168, 3, 556—559.
3. И. Л. Зельманов, О. С. Колков и др. ФГВ, 1968, 4, 3, 408.
4. Электрический взрыв проводников. М., «Мир», 1965.
5. J. R. McGrath. J. Appl. Phys., 1966, 37, 12, 4439.
6. M. Quane, S. Masaki. Bulletin of J. S. M. E., 1964, 7, 26, 474.
7. В. А. Коротков, Ю. Е. Шарин. Изв. АН СССР, сер. физ.-энерг. наук, 1968, 2, 102.
8. И. Б. Синани. Приборы и техника эксперимента, 1957, 4.