

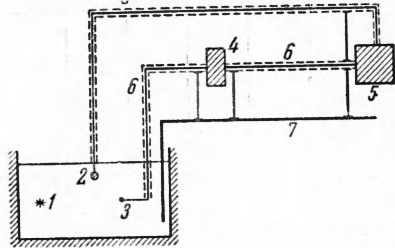
УСТРАНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ УДАРНЫХ ВОЛН В ВОДЕ

И. Б. Синани

(Ленинград)

Рассматривается возможность неискаженной регистрации ударных волн в воде, генерируемых взрывом или электрическим разрядом.

Рекомендуются меры, предотвращающие искажения, излагаются способы исправления осциллограмм. Приводятся примеры искаженных и свободных от искажений записей ударных волн и волн разрежений.



Фиг. 1

Турмалиновые датчики давления [1, 2] в сочетании с электронной регистрирующей аппаратурой представляют широкие возможности для изучения ударных волн в воде. Исследованию доступны давления порядка тысяч кг/см^2 и разрежения, достигающие нескольких десятков кг/см^2 в пределах интервала времени от микросекунды до нескольких секунд.

Ниже рассматриваются способы обнаружения и устранения искажений.

Регистрация ударных волн. Обобщенная схема регистрации, дающая представление о постановке опыта, приведена на фиг. 1.

Регистрация происходит следующим образом: ударная волна, распространяясь от источника 1, воздействует первоначально на упредитель 2, сигнал которого запускает осциллограф 5 и через промежуток времени, зависящий от расстояния между датчиком и упредителем, доходит до датчика 3.

Вынесенный из осциллографа предварительный усилитель 4 увеличивает гибкость схемы, так как может находиться в любом месте между бассейном и осциллографом.

Коаксиальные линии 6, транспортирующие сигналы датчика и упредителя, соединяются с заземлением 7 в точках, указанных на схеме.

Форма ударной волны. Источником ударных волн может служить как взрыв, так и электрический разряд. Форма волн точечного, сферического и бесконечного линейного источников, как показывает опыт, может быть приближенно выражена уравнением

$$p(t) = p_0 e^{-t/\theta} \quad (0 \leq t < \theta = \text{const}) \quad (1)$$

где t — время, $p(t)$ — давление, $p_0 = p(0)$ — начальное давление при $t = 0$.

Количественная оценка правильности экспериментальных результатов осуществляется методами, разработанными для взрывчатых веществ [3].

Обобщение формул и графиков на случай произвольного источника достигается заменой веса заряда энергией заряда или энергией, выделяющейся в искровом промежутке. Например, для максимального давления p_m на фронте ударной волны сферического источника получим выражение

$$p_m = 1.46 \cdot 10^4 \left(\frac{r}{R} \right)^{1.13} \quad \left(r = \frac{1}{3} Q^{\frac{1}{3}} \text{ мм} \right) \quad (2)$$

Здесь R — расстояние, r — обобщенный радиус источника, Q — энергия источника в джоулях. Радиус бесконечного цилиндрического источника

$$r = 7 \cdot 10^{-2} Q^{\frac{1}{3}} \text{ (мм)} \quad (3)$$

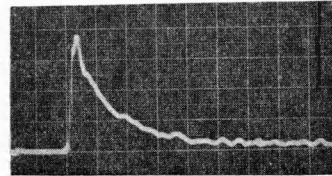
Здесь Q^* — энергия в джоулях на один сантиметр длины источника.

Для тротила приведенные формулы точны, а в остальных случаях приближенны, так как не учтена зависимость параметров ударной волны от характера выделения энергии. Тем не менее формулы пригодны для обнаружения грубых ошибок эксперимента и для расчета требующихся параметров аппаратуры.

Для линейного источника уравнение (1) удовлетворяется только в тех случаях, когда ось источника расположена перпендикулярно к линии, соединяющей источник с датчиком. Степень расхождения зависит от отношения длины источника к его диаметру.

На фиг. 2 и 3 приведены осциллограммы ударных волн от искрового разряда, снятые при двух взаимно перпендикулярных положениях оси источника. Расстояние — 13 длин источника, масштаб времени — 1 деление — 1,7 мксек .

На фиг. 2 ось источника перпендикулярна к линии, соединяющей источник и датчик, на фиг. 3 — параллельна.



Фиг. 2

Ударные волны от линейного источника могут быть аппроксимированы формулой (1) только в случае строгой прямолинейности источника.

Если цилиндрическая ударная волна генерируется электрическим разрядом и возможность аппроксимации важна, надлежит стабилизировать путь разряда плавкой вставкой из тонкой проволоки, натянутой между электродами.

Преобразование, совершаемое датчиком. Зависимость результата измерения от геометрических и электрических параметров датчика рассмотрена достаточно подробно [1, 2, 3].

Для датчиков с прямоугольным воспринимающим элементом это преобразование сводится к простому интегрированию, в результате которого получаем

$$A(t) = A_m e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (0 \leq t \leq \theta) \quad (4)$$

$$A_m = k p_0 e^{-0.5\tau/\theta} \quad \left(\theta \leq \frac{\tau}{\theta} < 1\right) \quad (5)$$



Фиг. 3

Здесь $A(t)$ — амплитуда отклонения на осциллограмме, k — суммарный градуировочный коэффициент и τ — время обтекания ударной волной воспринимающего элемента датчика, в смысле преобразования эквивалентное времени установления датчика.

Отсюда видно, что кривая на осциллограмме не отличается по форме от истинной кривой для всех $t \geq \tau$, причем максимум на осциллограмме сдвинут относительно максимума истинной кривой на величину τ .

Из (5) и (6) следует, что кривая на осциллограмме совместится с истинной кривой, будучи сдвинутой на $1/2\tau$ для всех $t \geq 1/2\tau$.

Кривые совместятся полностью при $\tau = 0$ и тогда

$$A_m = k p_0 \quad (6)$$

Величина погрешности, очевидно, равна

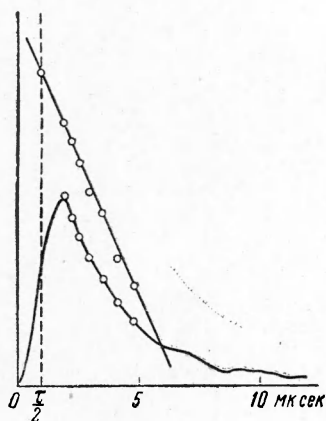
$$\Delta A_m = k p_0 (1 - e^{-0.5\tau/\theta}) \quad (7)$$

Для исключения влияния конечности τ можно применить графическую экстраполяцию с учетом сдвига на $1/2\tau$.

Фиг. 4 иллюстрирует процедуру исправления. На фиг. 5 приведена исправленная осциллограмма с нанесенной на нее вычисленной кривой.

Для наглядности осциллограмма снята датчиком с относительно большими размерами воспринимающего элемента, а именно 2.2 мм. Масштаб времени 1 деление = 1.6 мксек. Искровой разряд.

Применение датчиков меньших размеров уменьшает искажения этого рода, что отчетливо видно



Фиг. 4

по осциллограмме на фиг. 6, снятой датчиком 0.5 мм. Расстояние 0.1 длины источника, максимальное давление 1500 кг/см², масштаб времени 1 деление = 2.5 мксек. Искровой разряд.

Влияние пузырьков газа. Пузырьки газа, оседающие на поверхности датчика, возбуждаются ударной волной на резонансных частотах.

Возникает сложная интерференционная картина, искажающая кривую давления.

На фиг. 7 и 8 приведены осциллограммы ударной волны, снятые в идентичных условиях датчиками с пузырьками на поверхности и без них.

Масштаб времени 1 деление = 1.74 мксек. Заряд пентолита 10 г.

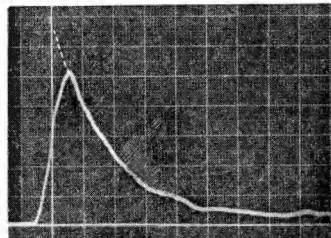
Во избежание искажений необходимо перед измерением удалять с датчиков пузырьки газа.

Водопроводной воде, содержащей много растворенного газа, целесообразно дать перед опытом отстояться.

Резонансные явления. На осциллограммах, записанных аппаратурой, свободной от резонансов можно иногда наблюдать искажения резонансного характера.

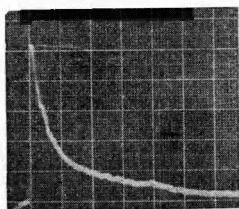
Подобное явление, показанное на фиг. 9, имеет место в тех случаях, когда линия, соединяющая датчик с предварительным усилителем, значительной длины при небольшой удельной емкости.

Индуктивность коаксиальной линии, нагруженной емкостью датчика, с одной стороны, и емкостью входа, с другой, составляет колебательный контур, частота ко-

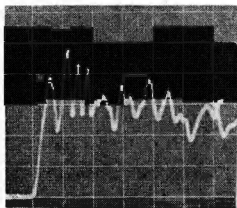


Фиг. 5

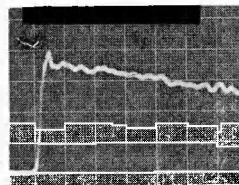
того может оказаться в пределах регистрируемого спектра, так как за границей спектра необходимого для неискаженной передачи развиваемых датчиком напряжений, чувствительность осциллографа не равна нулю.



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

Если по условиям эксперимента линию укоротить невозможно, то искажения устраняются введением в измерительную систему фильтра, настроенного на мешающую частоту, что допустимо в тех случаях, когда мешающая частота лежит за пределами частотного спектра датчика.

Электромагнитные помехи. Помехи от искрящих установок, радиостанций и от сетей переменного тока промышленной частоты устраняются экранировкой всех линий, подключенных ко входам усилителей, правильным выбором точек заземлений блоков аппаратуры и защитой высокочастотными фильтрами выпрямителей.

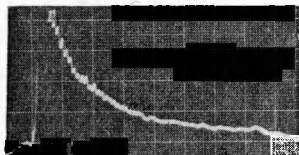
При изучении ударных волн от искрового разряда этих мер часто оказывается недостаточно вследствие большой интенсивности электромагнитного поля в районе расположения измерительной аппаратуры.

Планируя эксперимент, необходимо принимать во внимание, что приборы для регистрации ударных волн располагаются в индуктивной зоне излучающего контура, в которой, как известно, напряженность магнитного поля обратно пропорциональна квадрату расстояния, а напряженность электрического поля обратно пропорциональна третьей степени расстояния между излучателем и точкой измерения.

Рациональное размещение элементов установки с учетом этих закономерностей может существенно снизить уровень помех.

Помеха искажает процесс и совершенно исключает возможность записи в близких к источнику зонах.

В удаленных зонах регистрация может быть упрощена радикальной защитой, заключающейся в закорачивании быстродействующими реле всех точек установки, способных блокироваться.



Фиг. 9

Выключение релейной защиты, после чего может производиться регистрация процесса, осуществляется тиратронной схемой, срабатывающей от помехи при разряде. Время действия схемы с реле РП-7 не превышает 0,5 мсек, следовательно, защита применима для измерений на расстояниях не менее 60 см от источника.

Если почему-либо нельзя или нежелательно запускать схему защиты самой помехой и необходима большая автономность установки, то возможно применение другого варианта, в котором управление осуществляется механическим инерционным упредителем. Механический инерционный упредитель представляет собой мембранный прибор, через постоянно замкнутые контакты которого течет ток, удерживающий все реле схемы в первом, защищающем установку, положении.

Под воздействием ударной волны контакты инерционного упревателя размыкаются на время, достаточное для перехода всех реле схемы во второе нейтральное положение. Полное время разблокировки порядка одной миллисекунды, и, таким образом, схема применима для расстояний не менее 1,5 м.

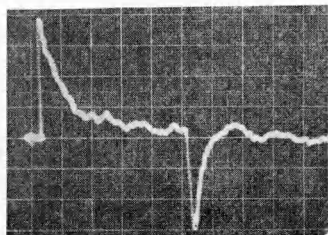
Вибрационные помехи. При действии ударной волны непосредственно на детали аппаратуры возникают искажения как из-за вибрации электродов усилительных ламп, так и из-за перемещений проводов, связанных со входами электрометрических каскадов, вблизи каких-либо диэлектриков, так как диэлектрики легко заряжаются от трения и чрезвычайно долго сохраняют заряд.

Влияние вибрации электродов усилительных ламп устраняется таким размещением аппаратуры, при котором ударная волна доходит до восприимчивых к вибрациям частей аппаратуры после окончания записи.

В тех крайних случаях, когда это невозможно, аппаратура амортизируется способом, зависящим от частных условий опыта.

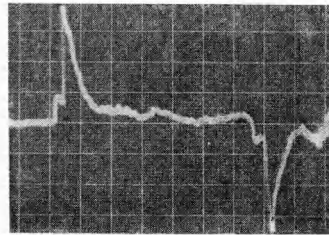
Радикальным методом устранения помех, происходящих от наличия зарядов на поверхностях диэлектриков, является жесткое скрепление проводов с изоляторами; например, заливка термоактивной смолой с последующей металлизацией поверхности смолы. Такой метод устранения вибрационных помех применен в конструкции турмалиновых датчиков давления [2].

Диэлектрики гибких элементов, например кабелей, освобождаются от зарядов поверхностным покрытием пластическими проводящими веществами.



Фиг. 10

Фиг. 10 — заряд пентолита 1 г. Давление 11 кг/см². Масштаб времени 1 деление = 16 мксек.



Фиг. 11

Фиг. 11 — искровой разряд. Давление 6 кг/см². Масштаб времени 1 деление = 16 мксек.

Для этой цели применяется проводящая резина или мелкодисперсный графит, скрепленный с поверхностью диэлектрика клеем [13].

Степень виброустойчивости аппаратуры проверяется в условиях опыта, для чего производится запись датчиком, на один порядок менее чувствительным, чем тот, с которым предстоит работать.

По другому способу датчик ставится в зону, в которой за ударной волной развивается кавитация, препятствующая повторным воздействиям на датчик.

При отсутствии вибрационных помех за ударной волной будет следовать совершенно чистая линия вплоть до импульса, соответствующего разрушению зоны кавитации.

Измерение разрежений. При измерении разрежений добавляется возможность появления искажений за счет сеточных токов входного каскада, так как в этом случае измеряемые импульсы симметричны.

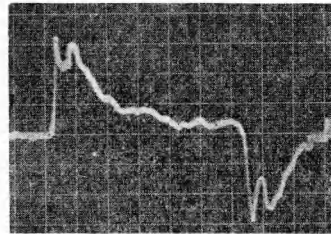
Для предотвращения искажений необходима симметричная градуировка аппаратуры по чувствительности к заряду. Если разрежения создаются отражением ударных волн от свободной поверхности, то надежным методом качественного контроля правильности регистрации является применение ударных волн неправильной формы.

Образцы осциллограмм волн разрежения, соответствующих регулярному отражению, приведены на фиг. 10, 11 и 12. Максимальные разрежения, наблюдавшиеся в водопроводной воде, достигали 50 кг/см².

Заключение. Ударная волна, генерируемая взрывом или электрическим разрядом, при соблюдении надлежащих условий имеет форму, допускающую простую математическую обработку.

Искажения, возникающие в процессе преобразования и передачи сигнала, могут быть устранены рациональной постановкой эксперимента или же исключены при обработке осциллограмм. В обычной водопроводной воде могут быть образованы волны разрежения порядка 50 кг/см².

Осциллограммы, иллюстрирующие различные случаи искажений, сняты в условиях, наиболее резко подчеркивающих ошибки эксперимента, и приведены без всякой ретуши и иных исправлений.



Фиг. 12 — искровой разряд. Давление 5 кг/см². Масштаб времени 1 деление = 16 мксек

Поступила
12 I 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. A r o n s A. B. Design and use of piezoelectric gauges for measurement of large transient pressures. Rev. Sci. Instr., Jan. 1950, 21 (1): 31—9.
2. С и н а н и И. Б. Турмалиновые индикаторы ударных волн в жидкостях. ПТЭ, 1957 (4): 85—9.
3. К о у л Р. Подводные взрывы. ИИЛ, 1950.
4. P e r l s T. A. Electric noise from instrument cables subjected to shock and vibration. Journ. Appl. Phys., June 1952, 23 (6): 674—80.
5. L o r a n t M. Noise-free instrument cable. Electron Engng. Jul. 1953, 25 (305): 293.