

ИЗМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕПОЛЯРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ

В. А. Летягин, В. С. Соловьев, М. М. Бойко

(Москва)

Для цепи емкостного датчика [1] справедливо

$$V_C = E - V_{\text{вх}}, \quad (1)$$

где V_C — напряжение на измерительном конденсаторе; E — напряжение источника питания; $V_{\text{вх}}$ — падение напряжения на входном сопротивлении измерительного прибора (рис. 1). Так как $V_{\text{вх}} = i R_{\text{вх}}$, где i — ток в цепи датчика, а $i = \frac{dQ}{dt}$, где $Q = C V_C = C (E - V_{\text{вх}})$, то

$$V_{\text{вх}} dt = R_{\text{вх}} d [C (E - V_{\text{вх}})]. \quad (2)$$

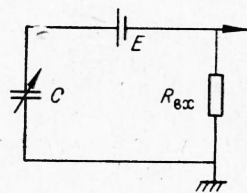


Рис. 1. Эквивалентная схема емкостного датчика без учета изменения диэлектрической проницаемости.

Проинтегрировав (2) от 0 до t , считая $V_{\text{вх}} \ll E$, получим значение текущей емкости:

$$C = \frac{C_0 R_{\text{вх}} E + \int_0^t V_{\text{вх}} dt}{R_{\text{вх}} (E - V_{\text{вх}})}; \quad (3)$$

начальная емкость измерительного плоскопараллельного конденсатора

$$C_0 = \frac{\varepsilon_1 \cdot S}{4 \pi x_0}.$$

Если не учитывать изменение диэлектрической проницаемости за фронтом ударной волны в диэлектрике, заполняющем измерительный конденсатор, текущее значение его емкости может быть записано

$$C = \frac{\varepsilon_1 S}{4 \pi x}. \quad (4)$$

Сравнивая (4) и (3), можно определить величину оставшегося зазора между обкладками конденсатора для момента времени t :

$$x = \frac{C_0 x_0 R_{\text{вх}} [E - V_{\text{вх}}]}{C_0 R_{\text{вх}} E + \int_0^t V_{\text{вх}} dt}, \quad (5)$$

с другой стороны,

$$x = x_0 - \int_0^t U(t) dt, \quad (6)$$

где $U(t)$ — скорость подвижной обкладки конденсатора.

Приравняв правые части (5) и (6) и разрешив относительно $\int_0^t U(t) dt$, после дифференцирования получим основную форму емкостного датчика [1]:

$$U(t) = \frac{V_{\text{вх}} E C_0 x_0 R_{\text{вх}}}{(C_0 R_{\text{вх}} E + \int_0^t V_{\text{вх}} dt)^2} \quad (7)$$

Если учесть изменение диэлектрической проницаемости при ударном сжатии диэлектрика, находящегося между обкладками конденсатора (рис. 2), эквивалентная схема датчика без учета изменения удельного сопротивления при ударном сжатии примет вид (рис. 3)

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 S}{4\pi(x - Dt)}; \quad (8)$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_2 S}{4\pi(Dt - \int_0^t U(t\epsilon) dt)}$$

Предполагается, что ударная волна в исследуемом диэлектрике не затухает. Общая емкость датчика во время движения ударной волны определяется

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 - C_2} \quad (9)$$

Подставив (3) и (8) в (9) и разрешив относительно $\int_0^t U(t\epsilon) dt$, после дифференцирования получим

$$U(t\epsilon) = \frac{V_{\text{вх}} E C_0 x_0 R_{\text{вх}}}{(C_0 R_{\text{вх}} E + \int_0^t V_{\text{вх}} dt)^2} \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - D \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - 1 \right) \quad (10)$$

Из сравнения (7) и (10)

$$\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{D - U(t, \epsilon)}{D - U(t)} \quad (11)$$

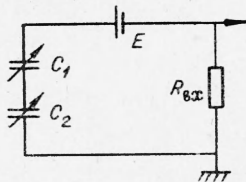


Рис. 3. Эквивалентная схема емкостного датчика с учетом изменения диэлектрической проницаемости (C_1 — емкость конденсатора, образованного неподвижной пластиной и ударным фронтом, C_2 — емкость конденсатора, образованного подвижной пластиной и ударным фронтом).

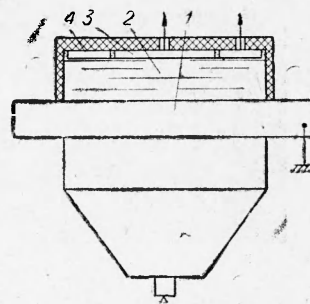


Рис. 2. Экспериментальная сборка.

1 — подвижная пластина; 2 — исследуемый диэлектрик; 3 — охранный диск; 4 — измерительный диск.

Полученная зависимость позволяет оценить изменение диэлектрической проницаемости при ударном сжатии. Эксперименты проводились с использованием емкостного датчика, показанного на рис. 2. В качестве исследуемых веществ брались неполярные жидкости — бензол и четыреххлористый углерод. Этот выбор определялся тем, что в неполярных диэлектриках в прямой волне поляризационный сигнал, который мог бы наложиться на запись скорости подвижной обкладки, не возникает в

исследуемом диапазоне давлений [2]. Типичная осциллограмма дана на рис. 4, а. По изменению входного напряжения осциллографа при движении обкладки измерительного конденсатора определялась скорость границы раздела $U(t)$ без учета изменения ϵ_1 (см. рис. 4, б). Истинная величина скорости границы раздела $U(t, \epsilon)$ находилась двумя способами.

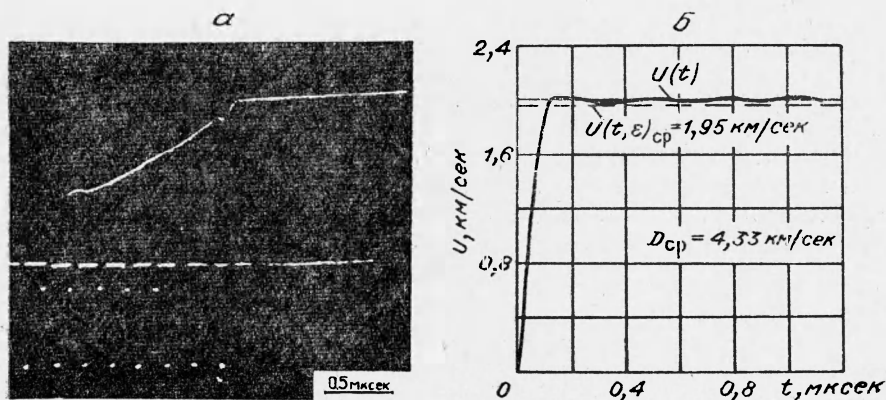


Рис. 4. Типичная осциллограмма явления (а) и результат ее обработки (б).

По известной сжимаемости диэлектрика [3] и известным параметрам ударной волны в материале подвижной пластины теоретически определялись значения D_T и $U(t, \epsilon)_T$. Формула (11) принимала вид

$$\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{D_T - U(t, \epsilon)_T}{D_T - U(t)} \quad (12)$$

Кроме этого, скорость ударной волны в исследуемом веществе можно определить непосредственно из осциллограмм. На рис. 4, а время t_1 соответствует моменту, когда ударная волна дошла до неподвижной обкладки измерительного конденсатора. В этом случае скорость ударной волны определяется как средняя на зазоре x_0 : $D_{ср} = x_0/t_1$. Формула (11) принимает вид

$$\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{D_{ср} - U(t, \epsilon)_{ср}}{D_{ср} - U(t)} \quad (13)$$

В таблице приведены результаты экспериментов с использованием

Исследуемое вещество	σ	ϵ/ϵ_0 по формулам		
		(12)	(13)	(14)
Четыреххлористый углерод	1,71	1,31	1,66	1,38
	1,65	1,15	1,29	1,22
	1,59	1,02	1,02	1,22
Бензол	1,73	—	1,63	1,56
	1,70	—	1,31	1,49
	1,68	—	1,23	—
	1,67	—	1,15	1,20
	1,63	—	1,17	1,21
	1,53	—	1,04	1,14

для вычислений зависимостей (12), (13) и результаты вычислений, выполненных по формуле, предложенной в работе [4]:

$$\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{2\sqrt{I_{1,0}/I_{0,5} - 1}}{\sigma} \quad (14)$$

где $I_{1,0}$ — ток в цепи датчика в момент времени t_1 ; $I_{0,5}$ — ток в цепи датчика для $t_1/2$; σ — степень сжатия в ударной волне. Формула (14) предполагает постоянство скорости подвижной обкладки конденсатора на всем интервале времени $t_0 - t_1$.

Как видно из таблицы, наиболее существенное возрастание диэлектрической проницаемости наблюдается при степенях сжатия $\sigma > 1,65$. Сравнение полученных результатов с измерениями $\varepsilon(p)$ в статике [5] показывает существенное превышение последних над динамическими. Это объясняется тем, что при ударном сжатии на диэлектрик действуют одновременно давление и температура, которые в исследуемом диапазоне давлений противоположно влияют на диэлектрическую проницаемость.

Поступила в редакцию
13/II 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, 1963, 1.
2. А. Н. Дремин, О. К. Розанов, В. В. Якушев. ПМТФ, 1968, 5.
3. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников. ПМТФ, 1969, 4.
4. А. Г. Иванов, Е. З. Новицкий. ПМТФ, 1966, 5.
5. Г. И. Сканава. Физика диэлектриков (область слабых полей). М., ГИТТЛ, 1949.

УДК 532.593

К ВОПРОСУ О ВОЗБУЖДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВАХ В МЯГКИХ ГРУНТАХ

Н. П. Горбачева
(Москва)

С целью изучения зависимости величины энергии взрыва, передаваемой в упругую волну, от характеристик воздействия взрывного источника на грунт были проведены опыты с использованием взрывчатых веществ с нормальной и пониженной скоростями детонации.

В опытах использовались смеси, изготовленные на основе аммиачной селитры с добавлением тротила (угленил) или гексогена (смесь № 2). В качестве инертной добавки, способствующей снижению скорости детонации, применялась поваренная соль. Типы взрывчатых веществ, состав и основные характеристики приведены в табл. 1. Вес заряда, изготовленного из ВВ с малой скоростью детонации, рассчитывался таким образом, чтобы общее количество его энергии соответствовало энергии эталонного тротилового заряда:

$$q = q_{\text{ТНТ}} \frac{Q_{\text{ТНТ}}}{Q},$$

где $q_{\text{ТНТ}}$, $Q_{\text{ТНТ}}$ и q , Q — соответственно вес и теплота взрывчатого превращения тротилового заряда и сравниваемого ВВ. Поскольку удельная энергия тротила почти втрое превышает удельную энергию угленила и смеси № 2, то и вес зарядов, изготовленных из взрывчатых веществ с малой скоростью детонации, почти втрое превышал вес эталонного