

УДК 539.3

**І.Когут, канд.техн.наук**

*Інститут прикладних проблем механіки і математики  
імені Я.С.Підстригача НАН України*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ І ДЕМПФУЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ**

*Досліджено основні фізико-механічні характеристики в тім числі динамічну жорсткість і коефіцієнт демпфування ряду полімерних матеріалів. Матеріали проранжировано за питомими характеристиками міцності і демпфування.*

### **Умовні позначення**

$P$  – зусилля розтягу, згину;  
 $\Delta$  – абсолютне видовження;  
 $\varepsilon, \varepsilon'$  – осьова і поперечна деформації відповідно;  
 $F, F'$  – площі поперечних перетинів зразка, до і після руйнування;  
 $\sigma_T, \sigma_B$  – границі текучості і міцності відповідно;  
 $\varepsilon_T, \varepsilon_B$  – деформації текучості і в момент розриву відповідно;  
 $E, E_d$  – статичний і динамічний модулі Юнга відповідно;  
 $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  
 $a_0, a$  – амплітуди коливань;  
 $f$  – резонансна частота;  
 $w_0$  – прискорення;  
 $\rho$  – густина матеріалу;  
 $c$  – коефіцієнт демпфування;  
 $k$  – динамічна жорсткість.

Підвищення швидкості руху і потужності двигунів транспортних засобів (автомобілів, поїздів, екіпажів з електроприводом, літальних апаратів, суден і таке інше) спричиняє інтенсивні вібрації і динамічні навантаження на тягові і стартерні акумулятори, які встановлюються безпосередньо біля джерела вібрацій – двигуна внутрішнього згоряння. За таких умов надійність і міцність громіздких і масивних високоємнісних акумуляторів можуть забезпечити полімерні матеріали з високими питомими міцнісними і демпфуючими характеристиками, а також уточнені методи оцінки міцності конструкцій [1]. Для вибору матеріалу, розрахунку конструкцій моноблоків і демпфуючих пристроїв акумуляторів необхідні характеристики матеріалів. До таких насамперед належать модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона, границі текучості і міцності при розтягу, коефіцієнт демпфування і динамічна жорсткість при поперечних коливаннях зразків.

Досліджували пружні, міцнісні і демпфуючі характеристики поліетилену високої густини (ПЕВГ), співполімеру поліетилену з пропіленом (марки 22007-29 з добавкою спінюючого концентрату пінопона ПІУ в кількості 1%) ГОСТ 26996-86, термо- і радіаційно стійкого термопласту – полісульфону ПСФ-150, ебоніту ОСТ В38.057-82 і органічного скла. Випробуваннями на розтяг плоских зразків з двобічними лопатками (рис. 1) визначали модуль Юнга, міцнісні і деформативні характеристики; смуг завширшки 20 і завдовжки 150 мм – коефіцієнт Пуассона; випробуванням при поперечних коливаннях балкових зразків завдовжки 50 мм, з поперечним перетином  $8 \times h$  мм – динамічні характеристики. Зразки-лопатки із полісульфону і співполімеру виготовлені виливанням у форми, решта (крім балкових із поліетилену) вирізані із листів. Поліетиленові балкові зразки вирізані із стінки труби  $\varnothing 400 \times 8$  вздовж твірної і мають поперечний перетин  $8 \times 6$  мм.

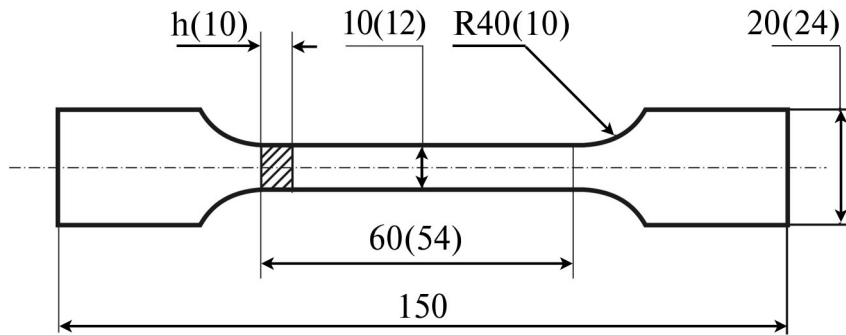


Рис.1. Зразки для дослідження міцності на розтяг. Товщина зразків із поліетилену, полісульфону, ебоніту, оргскла дорівнює 2,5; 4,2; 5,2 і 4,2 мм відповідно. В дужках розміри зразків із співполімеру

Плоскі зразки розтягували на машині для випробування металів на повзучість і довготривалу міцність моделі АИМА-5-2 у самоцентрованих захватах зі швидкістю їх розсування 25 мм/хв [2], яку забезпечував спеціальний мотор-редуктор, з'єднаний з валом ручного приводу навантаження. Для запобігання проковзування зразка в захватах встановлювались прокладки із наждачного паперу абразивною поверхнею до зразка, а затискні пластини мали подвійну насічку. В процесі навантажування зразків-лопаток записували діаграми розтягу в координатах “навантаження–видовження” ( $P \sim \Delta$ ) двокоординатним реєструючим приладом ПДА-1. Зусилля розтягу і абсолютне видовження зразка вимірюються електромеханічними перетворювачами – кільцевим динамометром середньої жорсткості і  $I$ -подібним пружинним електротензометром, одиниці градування і діапазони лінійності показів яких становлять  $1,3 \cdot 10^{-3}$  мВ/Н, 1,7 мВ/мм і  $0 \dots 3 \cdot 10^4$  Н,  $\pm 30$  мм відповідно. Тензометр встановлювали безпосередньо на зразку. База  $l$  вимірювання видовження становить 60 мм, для зразків із співполімеру – 54 мм. В перетворювачах тензорезистори (2ПКП-10-100Б ТУ 25-06-1382-78) ввімкнені за схемою: чотири активні і компенсуючі тензодатчики – повний міст – згин [3]. В процесі розтягу зразків – смуг записували діаграми  $\varepsilon'(\varepsilon)$ . Деформації вимірювали тензорезисторами, включеними за схемою повного поста з активними і компенсуючими датчиками у протилежних плечах [4]. Для кожної деформації використовували два активні тензорезистори, які наклеювали (ціакрином) на протилежні грані в центрі зразка.

Дослідження показали, що зразки з ебоніту руйнуються без помітної локальної пластичної деформації, руйнування решти матеріалів супроводжується появою шийки. Для співполімеру довжина шийки сягала 10...12 мм, поперечний перетин шийки  $10 \times 7$  мм. Значну пластичність виявляє полісульфон – після утворення, шийка поширюється на всю робочу довжину зразка, перетин шийки після розриву  $7,8 \times 3,0$  мм. З діаграм розтягу (рис. 2) визначали зусилля і видовження в момент текучості і розриву зразка і за формулами  $\sigma_T = P_T/F$ ,  $\sigma_B = P_B/F'$ ,  $\varepsilon_T = \Delta_T/l$ ,  $\varepsilon_B = \Delta_B/l$  обчислювали граничні напруження і деформації. Січний модуль Юнга визначали при навантаженні, що становить 20% від руйнуючого. Коефіцієнт Пуассона  $\nu$  обчислювали як відношення максимальних деформацій  $\nu = \varepsilon'/\varepsilon$  на прямолінійній ділянці діаграми  $\varepsilon'(\varepsilon)$ . Для поліетилену коефіцієнт Пуассона не визначали, бо неможливо приклеїти датчики. Середні значення досліджуваних величин обчислені за результатами випробувань трьох зразків наведені в табл.1. Для визначення густини використовували аналітичну вагу з точністю зважування 0,5 г.

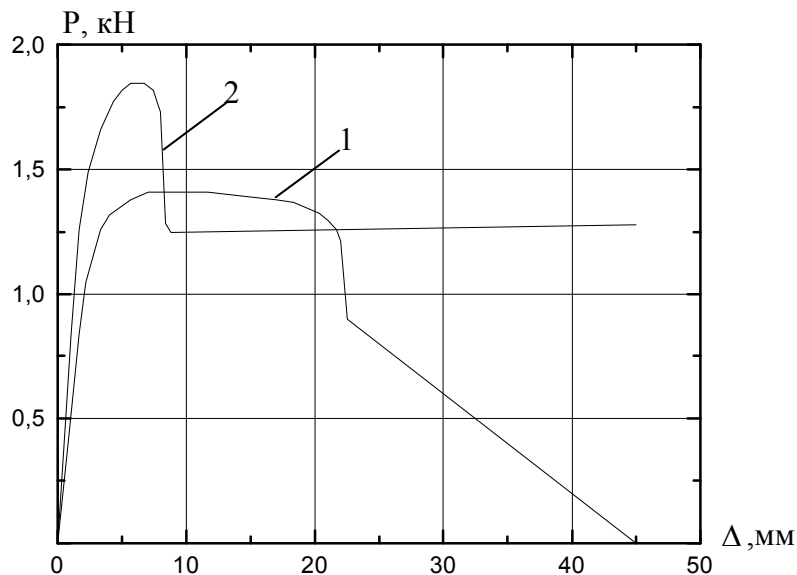


Рис.2. Діаграми розтягу зразків-лопаток:  
 1 – співполімеру поліетилену з пропіленом; 2 – полісульфону.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики матеріалів

Матеріал	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$E$ , МПа	$\nu$	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\epsilon_T$ , %	$\epsilon_B$ , %
ПЕВГ	960	1100	–	25,8	54,3	20	270
Співполімер	800	935	0,423	16,9	17,8	9,6	20
Полісульфон	1194	2495	0,360	46,5	54,5	5,4	37...75
Ебоніт	1383	4420	0,261	–	36,3	–	0,97
Органічне скло	1200	3200	0,338	–	74,4	–	2,8

Динамічні характеристики досліджували на установці [5] при резонансних коливаннях консольно закріплених на столі вібратора зразків. Зразки з інерційною масою 52,8 г на кінці консолі і робочою довжиною  $l = 36$  мм випробовували на межі втоми матеріалу, за яку приймали  $\sigma_{-1} = 0,25\sigma_B$  [6]. Для цього попередньо за формулою  $a = 2\sigma_{-1}l^2/3Eh$  обчислювали амплітуди вільного кінця зразка і за тарувальною залежністю (рис. 3) визначали відповідні їм покази  $U$  координатного фотоприймача (КФП). (Залежність знята для модулюючої діафрагми з отвором  $\varnothing 3,8$  мм, встановленої на оптичній осі між лазером ЛГ-78 і КФП на відстанях 1610 і 345 мм відповідно). При визначених показках  $U$ , що відповідають амплітудам, вимірювали частоти і прискорення і за формулою  $a_0 = W_0/4\pi^2f^2$  обчислювали амплітуди коливань стола вібратора (табл.2).

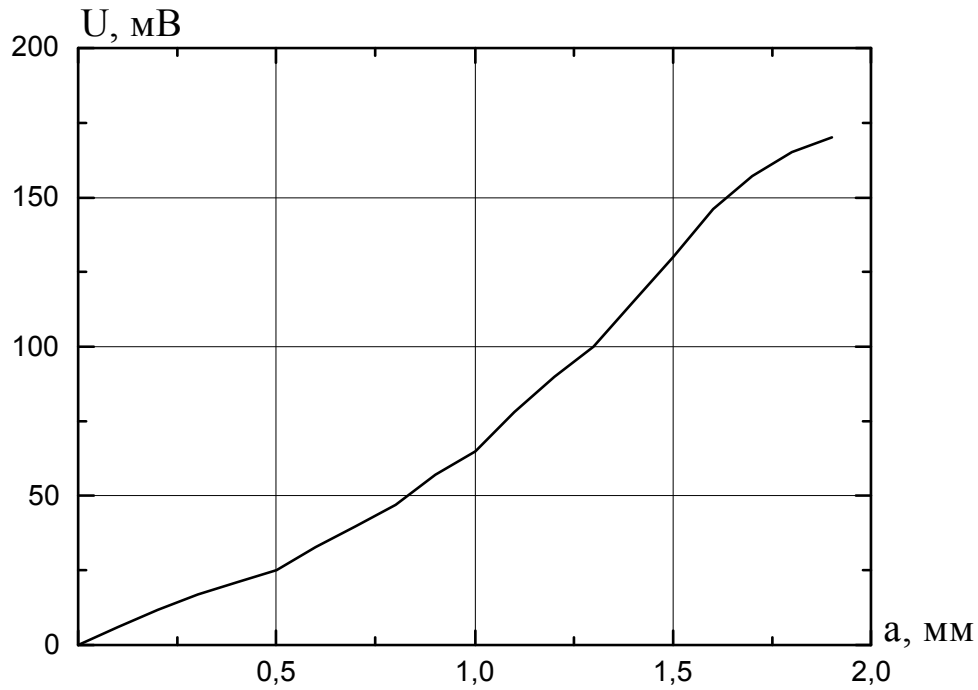


Рис.3. Залежність показів КФП від амплітуди коливань модулюючої діафрагми.

Динамічні характеристики матеріалів (табл.3) знаходили за відомими співвідношеннями [5], приведену масу зразків і динамічний модуль Юнга – за формулами  $m_{np} = 52,8 + 0,24 \cdot \rho b h l$ ,  $E_0 = k l^3 / 3J$ : де  $J$ ,  $b$  – осьовий момент інерції і ширина поперечного перетину зразка відповідно.

Таблиця 2

Параметри коливань зразків

Зразки		$a \cdot 10^3$ , м	$U$ , мВ	$f$ , с <sup>-1</sup>	$W_0$ , м/с <sup>2</sup>	$a_0 \cdot 10^3$ , м
Матеріал	$N$					
ПЕВГ	1	0,86	53	74,7	8,5	0,038
	2			72,6	8,2	0,039
	3			75,5	7,8	0,035
Співполімер	1	1,07	66	56,7	6,7	0,053
	2			55,6	6,4	0,052
	3			55,5	6,3	0,052
Полісульфон	1	1,69	155	54,5	2,8	0,024
	2			56,9	2,9	0,023
	3			56,5	2,8	0,022
Ебоніт	1	0,37	21	100,4	5,0	0,013
	2			111,1	4,7	0,010
	3			115,9	4,1	0,008
Оргскло	1	0,95	59	70,9	15,0	0,076
	2			72,3	14,0	0,068
	3			71,4	13,5	0,067

Таблиця 3

Значення динамічних і питомих характеристик матеріалів

Матеріал	$c$ , Н·с/м	$k$ , Н/м	$E_d$ , МПа	$\sigma_{-1}/\rho$ , кПа·м <sup>3</sup> /кг	$c \cdot \sigma_{-1}/\rho$ , Н·м/с
ПЕВГ	1,0649	11 568	1 249	14,1328	15 050
Співполімер	0,9108	6 544	1 086	5,5625	5 066
Полісульфон	0,3659	6 605	2 080	11,4112	4 175
Ебоніт	1,0086	25 144	4 172	6,5618	6 618
Оргскло	1,7589	10 682	3 364	15,5000	27 263

Матеріали ранжирували за питомими характеристиками втомної міцності і демпфування консольних балок з прямокутним перерізом  $b \times h$  при поперечному згині циклічною силою  $P$ . Висоти балок визначені із умови міцності при згині визначаються за формулою  $h = \sqrt{6Pl / b\sigma_{-1}}$ , а їх маси –  $m = \rho \sqrt{6Pbl^3} / \sqrt{\sigma_{-1}}$ . Відомо, чим більше значення приведенного коефіцієнта демпфування  $c/m_{np}$ , тим менша амплітуда вимушених коливань, а отже, і напруженість пружного елемента гармонічного осцилятора з лінійним демпфуванням. Із формул для приведеної маси  $m_{np} = 0,24m$  і приведенного коефіцієнта демпфування балки  $c/m_{np} = c \sqrt{\sigma_{-1}} / 0,24\rho \sqrt{6Pbl^3}$  видно, що найлегша конструкція з найбільшими міцністю і демпфуванням буде з матеріалу, для якого питомі характеристики міцності  $\sigma_{-1}/\rho$  і демпфування  $c \cdot \sigma_{-1}/\rho$  найбільші.

Як видно із табл.3, матеріали можна проранжувати так: за питомою міцністю – полісульфон, органічне скло, ПЕВГ, співполімер, ебоніт; за питомим демпфуванням – органічне скло, ПЕВГ, полісульфон, співполімер, ебоніт. Отже, із досліджуваних матеріалів ебоніт має найнижчі характеристики за міцністю і демпфуванням. Органічне скло має високі характеристики, але, як відомо, хімічно нетривке і досліджувалось лише для порівняння.

*The principal physical-mechanical characteristics, dynamic rigidity and damping coefficient including, for some polymeric materials are studied. The materials are ranged according to the specific characteristics of strength and damping.*

### **Література**

1. Инженерные методы расчетов химических источников тока на действие механических нагрузок / В.Ю.Лавров, Я.Г.Марков, А.И.Русин, и др.; Под ред. Ю.А.Туманова.- СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1992.-215 с.
2. ГОСТ 17370-71. Пластмассы ячеистые жесткие. Методы испытания на растяжение.
3. Немец И. Практическое применение тензорезисторов.-М.: Энергия, 1970.-144 с.
4. Касаткин Б.С., Кудрин А.В., Лобанов Л.М. и др. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. Справочное пособие.-Киев: Наук. думка, 1981.-583 с.
5. Когут І. Дослідження динамічних характеристик тришарової балки // Вісник Тернопільського державного технічного університету.-2001.-Том.5-№3.-С.137-140.
6. Земляков И.П. Прочность деталей из пластмасс.-М.: Машиностроение, 1972.-С.158.

*Одержано 14.05.2003 р.*