

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний авіаційний університет**

## **ХІМІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛАСТОМЕРІВ**

**Лабораторний практикум  
для студентів спеціальності 6.091600  
„Хімічна технологія  
високомолекулярних сполук”**



**VIVERE!  
VINCERE!  
CREARE!**

**Київ 2008**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний авіаційний університет

# ХІМІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛАСТОМЕРІВ

Лабораторний практикум  
для студентів спеціальності 6.091600  
„Хімічна технологія  
високомолекулярних сполук”

Київ 2008

УДК 678.074.26 (076.5)  
ББК Л72-1я 7  
Х 465

Укладачі: *Л.Д. Масленнікова, Ф.Г. Фабуляк, С.В. Іванов*

Рецензенти: *Ю.В. Білокопитов, І.І. Войтко*

*Затверджено методично-редакційною радою Національного авіаційного університету (протокол № 4 від 30. 10. 2007 р.).*

**Хімія та технологія еластомерів:** лабораторний практикум/  
Х 465 Уклад.: Л.Д. Масленнікова, Ф.Г. Фабуляк, С.В. Іванов. – К.: НАУ,  
2007. – 32 с.

Лабораторний практикум містить роботи з пластичності каучуків відновлюваності, в'язкості за Муні, міцності гум, твердості, еластичності та морозостійкості.

Для студентів спеціальності 6.091600 „Хімічна технологія високомолекулярних сполук”.

## **ВСТУП**

Лабораторний практикум «Хімія та технологія еластомерів» містить лабораторні роботи з фізико-механічних властивостей еластомерів, які охоплюють усі властивості еластомерів: пластичність каучуків – вихідних матеріалів для виробництва гум, відновлюваність та в'язкість за Муні. Другий і третій розділи повністю стосуються фізичних і механічних властивостей еластомерів: міцнісні дослідження, визначення твердості різними методами, еластичність та морозостійкість.

## **ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

### **1. Фізико-механічні властивості каучуків та еластомерів**

Фізико-механічні властивості каучуків та еластомерів визначають їх технічну цінність. Каучуки характеризуються такими ознаками, як пластичність, жорсткість і відновлюваність. Для гум найважливішими ознаками є міцність під час розтягу, відносне видовження, умовна відносна залишкова деформація після розривання, а також твердість, еластичність, морозостійкість.

### **2. Основні властивості каучуків**

Пластичність і жорсткість визначають пружно-в'язкі властивості каучуку, від яких залежать як фізико-механічні властивості вулканізаців, так і поведінка каучуку під час переробки.

Пружно-в'язкі властивості пов'язані зі структурою, молекулярно-масовим розподілом каучуку, однак певних кількісних оцінок для цих властивостей немає. З цією метою застосовують різні методи випробувань, результати яких виражаються умовними ознаками.

У промисловості застосовують такі методи оцінювання пружно-в'язких властивостей каучуків:

- а) визначення пластичності на пластометрі;
- б) визначення жорсткості відновлюваності каучуків на дефометрі;
- в) визначення в'язкості за Муні.

# Лабораторна робота 1

## ПЛАСТИЧНІСТЬ

### Мета та завдання роботи

*Мета* – визначення пластичності, що полягає у вимірюванні деформації зразка каучуку стандартних розмірів.

*Основне завдання* – дослідження під дією навантаження 49 Н на спеціальному приладі – пластометрі – величини відновлення зразка після зняття навантаження.

*Обладнання і матеріали:* стандартний пластометр, натуральний каучук.

### Основні теоретичні відомості

Пластичність  $P$  розраховують за формулою:

$$P = h_0 - h_2 / h_0 + h_1, \quad (1.1)$$

де  $h_0$  – початкова висота зразка при кімнатній температурі ( $20 \pm 2$  °С), мм;  $h_2$  – висота зразка після зняття навантаження і витримування за таких умов протягом 3 хв при кімнатній температурі, мм;  $h_1$  – висота зразка, який перебуває протягом 3 хв під дією вантажу 49 Н, мм.

### Порядок і рекомендації до виконання роботи

Вимірювання проводять на стандартному пластометрі при кімнатній температурі (рис. 1.1), який складається з двох паралельних плит – верхньої рухомої 2 і нижньої нерухомої 1. До нижньої плити прикріплені два вертикальних напрямних стояка 3, які з'єднані зверху планкою 4. На нижній плиті прикріплена засувна пластина 11 з площадкою 12, на яку кладуть досліджуваний зразок.

Верхня плита разом із вантажем 10 і штоком 9 становлять жорстку систему, яка діє з силою 49 Н і може рухатися вздовж напрямних стояків за допомогою ручки 6. На поперечній планці 4 прикріплений мікрометр 7, штифт якого впирається в торець штока 9. Мікрометр служить для вимірювання висоти підйому верхньої плити. Для встановлення стрілки на «0» він оснащений гайкою 8.

Для вимірювання температури у вантажі 10 і плиті 2 просвердлено отвір, у який вставляють термометр 5.

Пластометр встановлюють горизонтально (за рівнем) у термостаті і підтримують температуру від  $+70$  до  $+1^{\circ}\text{C}$ .

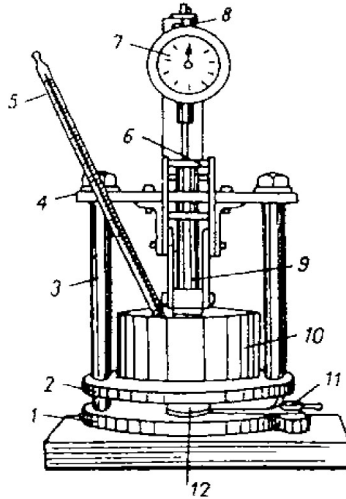


Рис. 1.1. Стандартний пластометр: 1 – нижня плита; 2 – верхня плита; 3 – стояки; 4 – планка; 5 – термометр; 6 – ручка; 7 – мікрометр; 8 – гайка; 9 – шток; 10 – вантаж; 11 – висувна пластинка; 12 – площадка

### Хід проведення роботи та одержання результатів експерименту

Для досліджень готують зразки каучуку, вирізані спеціальним ножом, у формі циліндра діаметром  $d = 16 + 0,5$  мм і заввишки  $h_0 = 10 \pm 0,25$  мм. Висота зразків  $h_0$  вимірюється мікрометром з точністю до  $0,05$  мм.

Перед дослідом перевіряють нульове положення стрілок мікрометра (встановлюється за допомогою гайки 8). Зразок каучуку опудрюють тальком, нагрівають протягом 3 хв у термостаті при температурі  $+70^{\circ}\text{C}$  і, помістивши його між двома хромованими пластинами (листами целофану, кальки), щоб запобігти прилипанню до плити, встановлюють на площадку 12 пластометра. Площадку кладуть у центр плити під вантаж. Повільно піднімають ручку 6, опускають верхню плиту з вантажем на зразок і вмикають секундомір. Через 3 хв

відмічають показання мікрометра, що дає значення  $h_1$ . Після вимірювання ручки  $b$  швидко опускають, висувають пластинку  $ll$ , виймають зразок і відділяють прокладки. Зразок витримують при кімнатній температурі не менше 3 хв, після чого заміряють його висоту  $h_1$  мікрометром. Розраховують пластичність за формулою (1.1).

Проводять три паралельні заміри, які не повинні відрізнятись один від одного більше ніж на 0,1 – 4 мм.

### **Контрольні завдання**

1. Провести аналіз одержаних результатів і зробити основні висновки.
2. Розказати про будову стандартного пластометра .
3. Записати формулу для визначення пластичності.

### **Контрольні запитання**

1. Як налагодити пластометр?
2. Яка точність вимірювання мікрометром?
3. Яка температура вимірювання?
4. Розкажіть про форму і розміри зразка для визначення пластичності.

## **Лабораторна робота 2**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ КАУЧУКІВ ТА ЕЛАСТОМЕРІВ НА ДЕФОМЕТРІ**

#### **Мета та завдання роботи**

*Мета* – визначення жорсткості еластомерів та каучуків дефометром накладанням на зразок постійного навантаження від 0 до 20 Н.

*Основне завдання* – визначення жорсткості за Дефо при різних навантаженнях на зразок.

*Обладнання і матеріали:* дефометр ДМ 2, пристрій для вирубування зразків, товщинімір, пластина каучуку або гумової суміші, мильний розчин або тальк, підкладкова пластина.

## Основні теоретичні відомості

Дефометр – прилад, призначений для передачі на зразок постійного зусилля (навантаження) від 0 до 20 Н. Дефометр (рис. 2.1) складається з термостата 9, який прилягає до стінки камери 4. Термостат добре ізольований з усіх боків і розділений горизонтальною перегородкою на дві частини, в одній з яких містяться електричні нагрівники і вентилятор для подачі повітря, а в другій – транспортерна стрічка для переміщення зразків до камери і їх нагрівання до температури 80 °С повітрям, яке надходить з першої частини термостата. Зразки подаються в термостат через вікно, що відкривається педаллю 11. Для освітлення і нагрівання в камері встановлені дві лампи, температуру нагрівання яких можна регулювати реостатом.

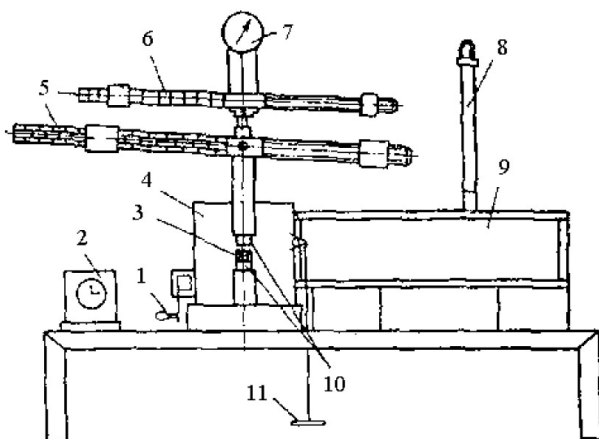


Рис. 2.1. Схема дефометра: 1 – ручка великого важеля; 2 – сигнальний годинник; 3 – зразок; 4 – камера; 5, 6 – великий і малий важелі; 7 – індикатор; 8 – контактний термометр; 9 – термостат; 10 – площадки; 11 – педаль

Камера також обігривається гарячим повітрям, яке надходить з термостата. У центрі камери розміщені дві плоско паралельні площадки 10 діаметром 10 мм, які розміщені одна від одної на відстані 12,5 мм. Нижня площадка нерухомо закріплена на столику, а верхня з'єднана з довгим тонким металевим стрижнем, що вільно



рухається у циліндрі. Стиснення зразка, який поміщено на нижню площадку, відбувається за допомогою великого 5 і малого 6 важелів, закріплених на станині. Малий важіль у центрі спирається на головку тонкого стрижня, а великий – на приливки циліндра, який під вагою важеля опускається і тисне на верхню площадку. Малий важіль має дві шкали: одна від 50 до 150 гс, а друга – від 100 до 300 гс. Для кожної шкали встановлений відповідний вантаж. Великий важіль має три шкали: 300...1400, 1400...5500, 5000...20000 гс і, відповідно, три вантажі. Повертанням ручки 1 великий важіль вивільнюється.

Ліворуч від камери встановлений сигнальний пристрій 2, який складається з електричного годинника і звукового реле, що подає сигнали через кожні 30 с. Висоту зразка вимірюють індикатором 7. Шкала індикатора розділена на 100 поділок ціною 0,1 мм.

### **Підготовка зразків. Проведення випробувань. Одержання результатів**

Для дослідження використовують зразки циліндричної форми діаметром 10 мм і заввишки 10 мм, які не мають дефектів. Зразки вирубують циліндричним ножом діаметром 10 мм з пластини завтовшки 12... 16 мм. Висоту зразків вимірюють товщиноміром.

Зразки опудрюють тальком і поміщають на 20...25 хв у камеру або термостат з температурою 80°C. Нагріті зразки переносять між плоско-паралельні площадки 10. Під час визначення жорсткості встановлюють постійне навантаження 50 гс на зразок і добирають зусилля, необхідне для стискання зразка протягом 30 с до товщини 4 мм.

Для цього встановлюють довільно вибране навантаження і через 30 с замірюють висоту зразка. Якщо вона більша, ніж 4 мм, навантаження збільшують, якщо менша — зменшують. При вибраному навантаженні досліджують ще два зразки. Жорсткість визначають не менше ніж на трьох зразках. Для визначення відновлюваності і остаточної деформації зразок навантажують і через 30 с заміряють його висоту. Зразки з жорсткістю 3 Н (300 гс) і більше відновлюються під постійним навантаженням 0,5 Н (50 гс), з меншою – без навантаження.

## Оформлення результатів експерименту

Жорсткість за Дефо характеризується навантаженням, під дією якого зразок стискається до висоти 4 мм протягом 30 с при температурі 80 °С.

Еластичне відновлення за Дефо визначається як різниця між висотою зразка після відновлення протягом 10 с і його висотою під навантаженням.

Результати замірів і розрахунків записують у протокол і табл. 1.1.

### Протокол

Тип машини.....

Тип каучуку.....

Таблиця 1.1

Показники	Зразок					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
Навантаження, кгс						
Висота зразка, мм до досліджень під навантаженням протягом 30 с; після зняття навантаження і «відпочинку» протягом 30 с						
Жорсткість, Н (гс)						
Еластичне відновлення, мм						

### Контрольні завдання

1. Провести аналіз одержаних результатів і зробити основні висновки.
2. Вивчити будову і роботу дефометра.
3. Підготувати зразки.
4. Провести випробування.

### Контрольні запитання

1. Яке призначення дефометра?
2. Яка характеристика жорсткості за Дефо?
3. Яке еластичне відновлення за Дефо?

## Лабораторна робота 3

### В'ЯЗКІСТЬ ЗА МУНІ

#### Мета та завдання роботи

*Мета* – визначення в'язкості за Муні однієї із важливих технологічних властивостей каучуків.

*Основне завдання* – ознайомлення студентів з технологічним показником каучуків.

#### Порядок і рекомендації до виконання роботи

Важливою характеристикою технологічних властивостей каучуку є значення в'язкості за Муні, яке особливо чутливе до молекулярно-масового розподілу. В'язкість за Муні визначається на спеціальному приладі – дисковому віскозиметрі Муні (іноді його ще називають пластометром) або зсувному віскозиметрі ВР-2 подібної конструкції. Спрощена схема віскозиметра зображена на рис. 3.1.

Полімер, який досліджують, поміщають у камеру 1 з ротором 2, що обертається електродвигуном. Вал ротора з'єднаний передачею з стрічковим індикатором 6 каліброваною пружиною 4.

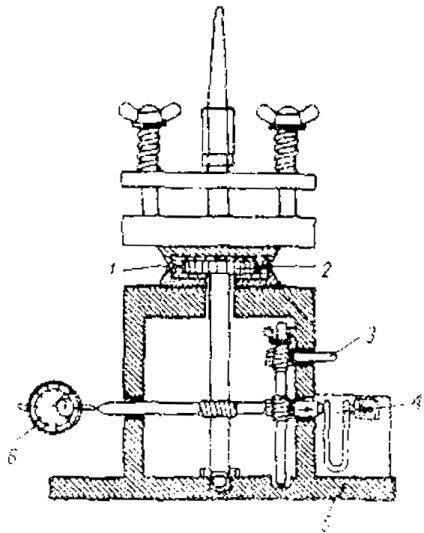


Рис. 3.1. Схема віскозиметра Муні:  
1 – камера; 2 – ротор; 3 – вал;  
4 – калібрована пружина;  
5 – станина; 6 – індикатор

#### Обробка експериментальних даних

Визначення в'язкості полягає у вимірюванні зсуву зразка каучуку між поверхнями ротора, який обертається, і стінками камери. Так визначається зусилля скручування, необхідне для обертання ротора в зразку з постійною швидкістю. Випробування проводять при постій-

ній температурі (100°C). Результати виражаються умовними безрозмірними значеннями у вигляді цілих чисел у межах 10...100.

Каучуки з гарними технологічними властивостями мають в'язкість за Муні в межах 40...60.

#### **Контрольні завдання**

1. Провести аналіз одержаних результатів і зробити основні висновки.
2. Розглянути схему і з'ясувати принцип роботи віскозиметра Муні.
3. Вивчити режим роботи віскозиметра Муні при визначенні в'язкості.

#### **Контрольні запитання**

1. Який фізико-механічний параметр визначається віскозиметром Муні?
2. Які в'язкості за Муні мають каучуки з гарними технологічними властивостями?

### **Лабораторна робота 4**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛАСТОМЕРІВ ПІД ЧАС РОЗТЯГУ І ОПОРУ РОЗДИРАННЮ**

##### **Мета та завдання роботи**

*Мета* – визначити міцнісні характеристики зразків гум і дослідити вплив на них кількості зшивального агента (сірки).

*Основне завдання* – визначення міцності при розтягу і опору роздиранню.

*Обладнання і матеріали:* розривна машина, штангенциркуль або мікрометр, лінійка міліметрова, гумові пластини з різним умістом зшивального агента.

##### **Основні теоретичні відомості**

Для гум визначають міцність, твердість, еластичність, морозостійкість. Основними показниками міцності при статичному руйнуванні є такі:

- 1) міцність під час розтягу напруження, що відповідає моменту повного руйнування зразка;
- 2) відносне видовження під час розривання;
- 3) опір роздиранню.

### Порядок і рекомендації до виконання роботи

Випробування полягають у розтягуванні зразка гуми до моменту розривання і вимірюванні навантаження та видовження під час розривання, а також залишкового видовження після розривання. Для проведення випробувань використовують розривні машини типу РМІ-5, РМІ-60, РМІ-250 тощо з маятниковими силовимірювачами, а також розривні машини для визначення міцності пластмас (РМ-0,5 тощо). Опис конструкції і порядок роботи на РМ-0,5 наведений в інструкції до лабораторної роботи «Фізико-механічні властивості полімерів».

### Підготовка зразків

Для випробувань використовують стандартні зразки у вигляді лопаток, форма і розміри яких повинні відповідати кресленню (рис. 4.1) і даним з табл. 4.1. Зразки вирубують з пластин гуми завтовшки  $(2 \pm 0,2)$  мм або  $(1 \pm 0,2)$  мм, одержаних вулканізацією в хромованих прес-формах. Форма пластин забезпечує надійне кріплення в затискачах і можливість орієнтаційного зміцнення гуми. Перед випробуванням потрібно оглянути зразки (вони мають бути без пор і видимих дефектів), пронумерувати їх, виміряти товщину в трьох місцях робочої частини штангенциркулем чи мікрометром з точністю до  $0,01$  мм.

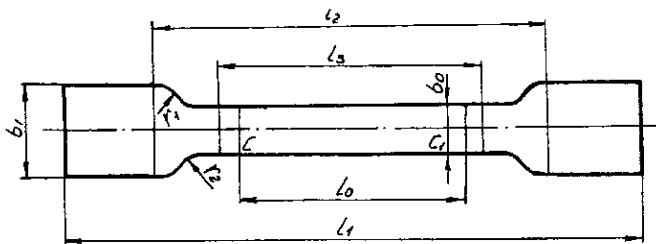


Рис. 4.1. Зразки гуми для випробувань на розривній машині

Для забезпечення однакового встановлення зразків у затискачах допускається нанесення позначок, відстань між якими для зразків типу I і II становить  $(50 \pm 1)$  мм, III –  $(40 \pm 1)$  мм, IV –  $(25 \pm 1)$  мм, V і VI –  $(80 \pm 1)$  мм, VII –  $(20 \pm 1)$  мм. Позначки наносять симетрично відносно центра зразка фарбою, яка є інертною до гуми.

Таблиця 4.1

**Стандартні розміри зразків у формі лопаток**

Розмір	I	II	III	IV	V	VI	VII
Загальна довжина $l_1$ , мм	115	110	75	55	115	110	35
Ширина широкої частини, $B_1$ , мм	25,0 $\pm 1,0$	25,0 $\pm 1,0$	12,5 $\pm 1,0$	9,0 $\pm 1,0$	25,0 $\pm 1,0$	25,0 $\pm 1,0$	6,0 $\pm 0,5$
Довжина вузької частини, $l_3$ , мм	13,0 $\pm 1,0$	30,0 $\pm 1,0$	25,0 $\pm 1,0$	12,5 $\pm 1,0$	60,0 $\pm 1,0$	60,0 $\pm 1,0$	12,0 $\pm 0,5$
Ширина вузької частини, $b_0$ , мм	6,0 $\pm 0,4$	3,0 $\pm 0,2$	4,0 $\pm 0,1$	2,0 $\pm 0,1$	6,0 $\pm 0,4$	3,0 $\pm 0,2$	2,0 $\pm 0,1$
Відстань між лініями, що визначають положення великого радіуса $l_2$ , мм	80 $\pm 5$	80 $\pm 5$	50 $\pm 3$	—	—	—	21 $\pm 3$
Малий радіус $r_2$ , мм	14,0 $\pm 1,0$	14,0 $\pm 1,0$	8,0 $\pm 1,0$	7,0 $\pm 0,5$	14,0 $\pm 1,0$	14,0 $\pm 1,0$	3,0 $\pm 0,5$
Великий радіус $r_1$ , мм	25,0 $\pm 1,0$	20,0 $\pm 1,0$	12,5 $\pm 1,0$	9,0 $\pm 1,0$	25,0 $\pm 1,0$	20,5 $\pm 1,0$	3,0 $\pm 1,0$
Відстань між позначками $l_0$ , мм	25,0 $\pm 1,0$	25,0 $\pm 1,0$	20,0 $\pm 1,0$	10,0 $\pm 1,0$	50,0 $\pm 1,0$	50,0 $\pm 1,0$	10,0 $\pm 1,0$

Під час виконання лабораторної роботи допускається використовувати зразки прямокутної форми з розмірами  $110 \times 25 \times 2$  мм.

**Проведення випробувань**

Перед випробуваннями перевіряють справність розривної машини, точність встановлення стрілок приладів на «0», швидкість руху нижнього затискача. Зразок закріплюють у затискачах точно за позначками так, щоб вісь зразка збігалася з напрямком розтягування.

Приводять у дію механізм розтягування, фіксуючи навантаження, які відповідають видовженням 200, 300, 400 % тощо. Після розривання зразка записують значення навантаження, яке відпові-

дає положенню нерухомої стрілки і видовження за шкалою видовжень. Під час розривання зразка поза робочою частотою результати випробувань не враховують.

Частини розірваного зразка, звільнені із затискачів, переносять на рівну поверхню стола і через 1 хв після розривання вимірюють з точністю до 0,5 мм відстань між позначками  $C$  і  $C_1$  і двох складених за місцем розривання частин зразка. Кількість зразків одного складу гум має бути не меншою від п'яти.

### Обробка експериментальних даних

На підставі експериментальних даних розраховуються такі показники:

1. Умовна міцність  $f_p$ , МПа

$$f_p = P_p / S_0,$$

де  $P_p$  – навантаження, при якому зразок розривається, МН;  $S$  – площа перерізу зразка до випробування,  $m^2$ ;

$$S_0 = db_0,$$

де  $d$  – середні значення товщини зразка до випробування, м;  
 $b_0$  – ширина зразка до випробування, м.

2. Відносне видовження при розриванні  $E_p$ , %

$$E_p = l_p - l_0 / l_0 \cdot 100,$$

де  $l_p$  – відстань між позначками в момент розривання зразка, мм;  
 $l_0$  – відстань між позначками зразка до початку випробувань, мм.

Значення  $l_p$  визначають за шкалою видовження.

3. Умовне напруження при заданому видовженні  $f_E$ , МПа

$$f_E = P_E / S_0,$$

де  $P_E$  – навантаження при заданому видовженні, МН.

4. Дійсна міцність  $b_p$ , МПа

$$\sigma_p = f_p E_p / 100 + 1.$$

5. Дійсне напруження при заданому видовженні  $\sigma_E$ , МПа

$$\sigma_E = f_E E / 100 + 1,$$

де  $E$  – відносне видовження, що відповідає  $f_E$ , %.

б. Залишкова деформація зразка після розривання (відносне залишкове видовження)  $\theta$ , %

$$\theta = (L_1 - L_0) / L_0 \cdot 100,$$

де  $L_1$  – довжина робочої частини розірваного зразка через 1 хв після розривання.

Вихідні дані, результати вимірювань і розрахунків записують у протокол випробувань і до табл. 4.2.

### Оформлення результатів експерименту Протокол випробувань

Дата \_\_\_\_\_  
 Тип машини \_\_\_\_\_  
 Склад гумової суміші \_\_\_\_\_  
 Режим вулканізації \_\_\_\_\_  
 Температура випробування \_\_\_\_\_  
 Тип зразків \_\_\_\_\_

Таблиця 4.2

Показники	Зразок					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
Розміри робочої частини: ширина, мм товщина, мм площа перерізу, м <sup>2</sup>						
Навантаження $H$ при видовженні: 200% 300% 400%						
Умовна міцність, МПа 200% 300% 400%						
Умовна міцність, МПа						
Відносне видовження при розриванні, %						



Закінчення табл. 4.2

Показники	Зразок					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
Дійсне напруження при заданому видовженні, МПа						
Дійсна міцність, МПа						
Довжина робочої частини після розривання, мм						
Відносне залишкове видовження, %						

### Випробування еластомерів на опір роздиранню

Опір роздиранню – показник, що характеризує міцність гум в умовах концентрації напруження, яке можна створювати нанесенням надрізів, зміною форми зразка і за яким можна визначити здатність гум до орієнтаційного зміцнення.

Випробування на опір роздиранню дають змогу оцінити стійкість гуми до руйнування при порушенні її цілісності. Цей показник чутливіший до зміни рецептурно-технологічних чинників, ніж міцність під час розтягу.

Для випробування використовують зразки типів А і Б (рис. 4.2, а, б) з надрізами в центрі з внутрішнього боку.

Надрізи наносять під прямим кутом до площини зразка. Товщину треба заміряти до нанесення надрізів. Зразок закріплюють у затискачах розривної машини. Зразки типу Б закріплюють так, щоб напрямком осей *a-a* і *b-b* збігався з напрямком розтягу. Швидкість руху нижнього затискача має становити  $500 \pm 50$  мм/хв. Фіксують навантаження, при якому зразок повністю зруйнувався. З кожної партії випробовують не менше ніж п'ять зразків.

Опір роздиранню *B* розраховують за формулою, кН/м

$$B = P/h,$$

де *P* – максимальне зусилля, кН; *h* – початкова товщина зразка, м.

Відхилення значення *B* від середнього арифметичного не повинно перевищувати 10 %.

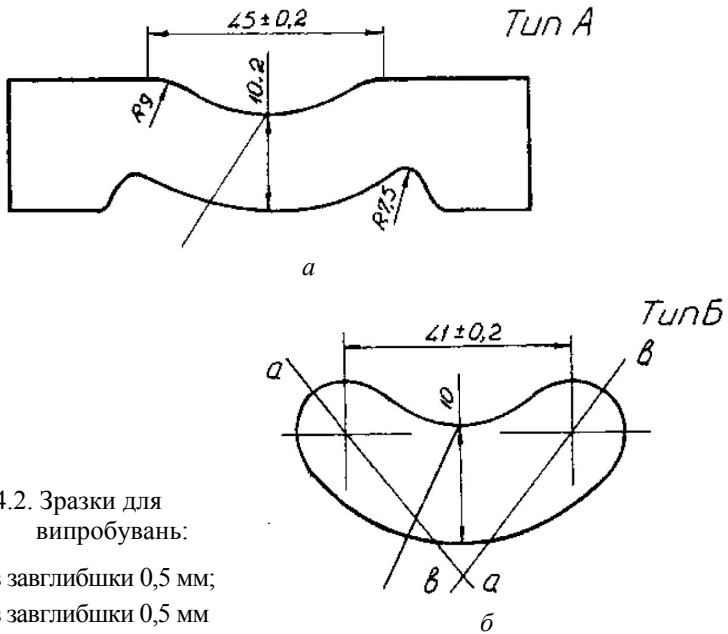


Рис. 4.2. Зразки для випробувань:

- a* – надріз завглибшки 0,5 мм;
- б* – надріз завглибшки 0,5 мм

### Контрольні завдання

1. Проаналізувати одержані результати і зробити основні висновки.
2. Підготувати зразки для випробувань на розривній машині.
3. Охарактеризувати фізико-механічні показники еластомерів.
4. Записати формулу визначення опору роздирання.

### Контрольні запитання

1. Як визначається умовна міцність?
2. Як визначається відносне видовження під час розриву?
3. Яке дійсне напруження при заданому видовженні?
4. Яка залишкова деформація зразка після розривання (відносне залишкове видовження)?

## Лабораторна робота 5

### ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЕЛАСТОМЕРІВ ЗА ШОРОМ

#### Мета та завдання роботи

*Мета* – втискання стандартної голки в зразок гуми, що випробовується, і вимірювання глибини її занурення для оцінки твердості.

*Основне завдання* – виявлення експлуатаційної здатності гуми.

*Обладнання і матеріали:* твердомір ТМ-2, твердометр із точністю вимірювання до 0,01 мм, підставка для зразків, гумові зразки завтовшки не менше ніж 6 мм.

#### Основні теоретичні відомості

Опір гум локальним зовнішнім діям називається твердістю. Локальне зовнішнє зусилля створюється тиском металевого індентора (голки).

Значення твердості широко використовується на практиці для характеристики гум та гумових виробів. Це пояснюється такими перевагами:

а) простотою та швидкістю визначення за допомогою портативних приладів;

б) високою чутливістю показника до змін структури і складу гум;

в) можливістю використання зразків малих розмірів.

Для визначення твердості використовують декілька методів:

- 1) визначення твердості гум за Шором;
- 2) визначення твердості гум на твердомірі;
- 3) визначення твердості на мікротвердомірі;
- 4) визначення твердості гум на приладі ISO.

#### Короткі теоретичні відомості

Опис твердоміра ТМ-2 показано на рис. 5.1.

Механізм пристрою вмонтований у невеликий хромований корпус 3. На нижній поверхні корпуса міститься металева пластинка 1 і шайба 8. Під час дотикання пристрою до площини зразка або виробу і натискання на голівку 4 голка 9, що перебуває під тиском

плоскої пружини 5, занурюється на деяку глибину в гуму і зміщується відносно корпусу. При цьому зубчаста рейка 6 повертає шестірню 7 і переміщує стрілку 10 по шкалі 2. Відлік показів пристрою відбувається за шкалою, що має 20 рівних позначок від 0 до 100 з кроком 5 умовних одиниць. Для перевірки пристрою до нього додається спеціальна підставка, на якій закріплена контрольна пружина. На кінці пружини є шайба з гніздом у центрі, у яке має впиратися голка пристрою.

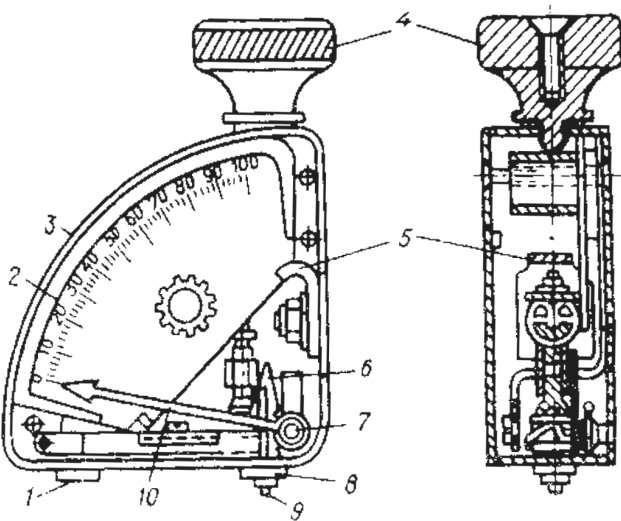


Рис. 5.1. Твердомір ТМ-2: 1 – пластина; 2 – шкала; 3 – корпус; 4 – головка; 5 – пружина; 6 – зубчаста рейка; 7 – шестірня; 8 – шайба; 9 – голка (індентор); 10 – стрілка

## Порядок і рекомендації щодо виконання роботи

### Підготовка до випробувань

Перед початком роботи необхідно перевірити показання твердоміра. До дотикання голки зі зразком, що випробовується, стрілка пристрою повинна перебувати навпроти нульової позначки шкали. Під час установлення твердоміра ТМ-2 на скляній або гладкій металевій поверхні і натискання рукою на головку пристрою,

що забезпечує дотикання поверхонь пластинки 1 і шайби 8 з поверхнею, стрілка пристрою має перебувати навпроти позначки 100 на шкалі.

Для випробувань використовують зразки у вигляді циліндрів або паралелепіпедів. Діаметр циліндра (або грань паралелепіпеда) має дорівнювати 5 см, товщина – не менше 6 мм. Не допускається використання зразків з нерівною або забрудненою поверхнею, а також із сторонніми вкрапленнями. Використання зразків великої товщини необхідне, щоб усунути вплив твердої підкладки на значення показників.

### Проведення випробувань

Зразок поміщають на металеву або скляну поверхню і ставлять на нього твердомір так, щоб планка і шайба твердоміра були на зразку, її площини були паралельні до поверхні зразка і відстань від краю зразка становила б не менше ніж 10 мм. Планку і шайбу твердоміра доводять до контакту з поверхнею зразка, натискаючи рукою на головку пристрою. Зусилля під час натискання має бути невеликим, але достатнім, щоб відбувся контакт поверхонь. У момент натискання фіксують показання стрілки пристрою за шкалою. Кожний зразок випробовують не менше ніж у трьох точках і визначають середнє значення з цих показань. Визначення твердості зразків при понижених чи підвищених температурах проводять аналогічно після витримування зразків при заданій температурі протягом не менше ніж 30 хв.

За результати випробувань беруть середнє арифметичне значення твердості в умовних одиницях шкали пристрою.

### Контрольні завдання

1. Проаналізувати одержані результати і зробити основні висновки.
2. Підготувати твердомір ТМ-2 до випробувань.
3. Провести вимірювання за допомогою твердоміра ТМ-2.
4. Розглянути будову твердоміра ТМ-2.

## Контрольні запитання

1. Як визначається твердість еластомера за Шором?
2. Який хід випробувань твердості за Шором?
3. Який відлік показів на твердомірі ТМ-2?

## Лабораторна робота 6

### ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЕЛАСТОМЕРІВ НА ТВЕРДОМІРІ ТШР

#### Мета та завдання роботи

*Мета* – визначити твердість зразків гум і дослідити вплив на них кількості вулканізуючого агента (сірки).

*Основне завдання* – визначення твердості в діапазоні 0,32 – 63,69 МПа.

#### Основні теоретичні відомості

Твердомір ТШР (рис. 6.1) встановлюється вертикально за допомогою рівня 18 і гвинтів 15 на індикаторі, і велика стрілка встановлюється на 0, а маленька – на цифру 2. На основі 11 закріплені два штоки 4, які з'єднані зверху з нерухомим диском 3. Площадка 7 з кронштейном індикатора 1 може переміщатися вгору і вниз обертанням зірочок 8, які з'єднані ланцюжком 9. На площадку 5 спирається заплечиками втулка 10, яка жорстко зв'язана з вантажем 16. Маса втулки з вантажем – 1 кг. Площадка 5 переміщується вгору і вниз обертанням зірочок 6, які зв'язані ланцюжком 17. У середині втулки 10 вільно звисає тонкий стрижень 2, жорстко зв'язаний зі штоком індикатора, за циферблатом якого відраховується з точністю до 0,01 мм значення заглиблення кульки в зразок 13. У нижній кінець стрижня 2 загвинчений наконечник 12 з запресованою сталевією кулькою 14. Контактне навантаження на зразок, що створюється зусиллям індикатора, стрижнем і наконечником становить  $0,5 \pm 0,05$  Н. Допускається випробовування гуми з числом твердості від 0,32 до 63,69 МПа при глибині занурення кульки 0,01-2 мм.

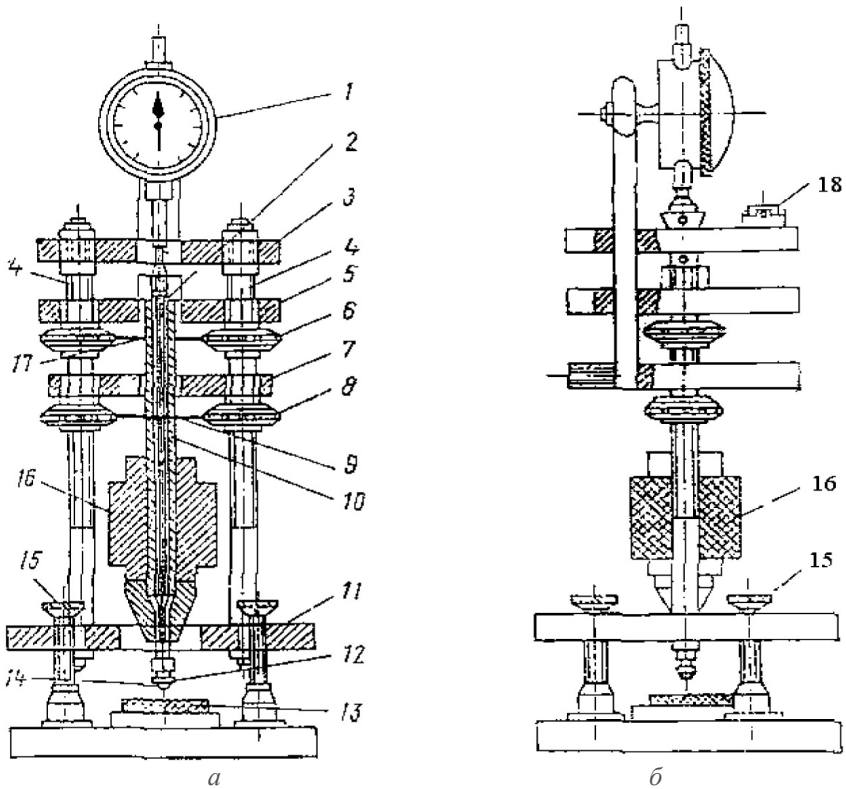


Рис. 6.1. Твердомір ТШР: *а* – вигляд спереду; *б* – вигляд збоку;  
 1 – індикатор; 2 – стрижень; 3 – лиск; 4 – шток; 5, 7 – площадки;  
 6, 8 – зірочки; 9, 17 – ланцюжки; 10 – втулка; 11 – основа;  
 12 – наконечник; 13 – зразок; 14 – кулька; 15 – гвинт; 16 – вантаж;  
 18 – рівень

### Підготовка зразків

Для випробування використовують зразки у вигляді плоских паралельних пластин з розмірами, які дозволяють проводити вимірювання в трьох точках, що розміщені на відстані не менше ніж 10 мм одна від одної і від країв зразка. Товщина зразків повинна бути не меншою ніж 6 мм. Використання зразків з видимими поверхневими дефектами не допускається.

## Порядок і рекомендації до виконання роботи

Випробування полягає у вимірюванні глибини занурення в зразок сталюї кульки діаметром 5 мм під навантаженням 10 Н (1 кгс) протягом 30 с.

Замірюють товщину зразка і поміщають його під кульку. Останню опускають до поверхні зразка обертанням зірочок 8 за годинниковою стрілкою доти, доки велика стрілка індикатора не зробить два повні оберти і обидві стрілки не зупиняться на 0. Вантаж 16 опускають на наконечник 12 обертанням зірочок 6 за годинниковою стрілкою до появи зазору 4-5 мм між твердометром втулки 10 і площадкою 5. При цьому стрілка індикатора починає рухатись. Через 30 с від початку руху стрілки замірюють глибину занурення кульки у зразок індикатором з точністю до 0,01 мм. Обертанням зірочок 6 проти годинникової стрілки знімають вантаж з наконечника 12 і, обертуючи зірочки в тому ж напрямі, піднімають кульку 14 на вихідну позицію. Кількість вимірювань на одному зразку – не менше ніж три, кількість зразків – 3-6.

Цей метод також дає можливість визначити число пружності і пластичності. Для цього потрібно виміряти глибину залишкової деформації  $h$  і через  $30 \pm 5$  с після зняття навантаження.

## Обробка експериментальних даних

За показник твердості гум беруть глибину занурення кульки в міліметрах. Число твердості  $H$  обчислюють за формулою, МПа

$$H = 0,1P/ndh,$$

де  $P$  – навантаження (10 Н);  $d$  – діаметр кульки (0,5 см);  $h$  – глибина занурення кульки, см.

Число пружності  $S$  (у відсотках) визначають за формулою

$$S = h - h_1/100,$$

де  $h_1$  – залишкова деформація, см.

Число пластичності  $P$  (у відсотках) визначають за формулою

$$P = h_1 - h/100.$$

Результатом випробувань вважають середнє арифметичне твердості досліджуваних зразків. Так само обробляють результати з пружності та пластичності.



## Оформлення результатів експерименту

Дата \_\_\_\_\_

Гумова суміш (склад): \_\_\_\_\_

Режим вулканізації: \_\_\_\_\_

Прилад: ТШР

Діаметр кульки: \_\_\_\_\_

Товщина зразка \_\_\_\_\_

Результати вимірювань записують у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

### Результати вимірювань

Номер зразка	Глибина занурення кульки $h$ , см	Глибина залишкової деформації $h_1$ , см	Число твердості $H$ , МПа	Число пружності $S$ , %	Число пластичності $P$ , %
1					
2					
3					
4					
5					
Середнє значення					

### Контрольні завдання

1. Провести аналіз одержаних результатів і зробити основні висновки.
2. Розказати про будову твердометра ТШР.
3. Підготувати зразки до випробувань.
4. Провести випробування твердості еластомерів.

### Контрольні запитання

1. Яке навантаження на зразок під час вимірювання твердоміром ТШР?
2. Яка точність значень заглиблення кульки в зразок?
3. Яке контактне навантаження на зразок?

## Лабораторна робота 7

### **ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЕЛАСТОМЕРІВ НА ПРИКЛАДІ ISO**

#### **Мета та завдання роботи**

*Мета* – визначення твердості твердоміром ISO.

*Основне завдання* – визначення твердості з урахуванням релаксаційних процесів і тертя.

#### **Основні теоретичні відомості**

Для уніфікації умов визначення твердості розроблений метод, рекомендований міжнародною організацією стандартизації (ISO). Під час визначення твердості за цим методом враховуються релаксаційні процеси і тертя. Деформація гуми в іоні контакту створюється сферичним індентором, що дозволяє уникнути різкого переходу до перенапруженої зони.

#### **Порядок і рекомендації до виконання роботи**

За допомогою твердоміра ISO (рис. 7.1) замірюють глибину вдавлювання твердої кульки в зразок гуми за певних умов. Значення заглиблення вимірюється індикатором годинникового типу 1, що з'єднаний з індентором 2, у нижній кінець якого вкручений наконечник з кулькою. Зразок 10 встановлюють на горизонтальну площадку 11 і прикріплюють притискнутою лапкою 9 з отвором для індентора діаметром  $6\pm 1$  мм, яка перебуває під тиском циліндричної пружини 8. Тиск на зразок становить 0,02...0,03 МПа. Усередині гайки 4 з ручкою 3 вільно підвішений вантаж 6. Під час повертання ручки вантаж опускається на заплечики 7. Для усунення впливу тертя служить вібратор. Значення заглиблення вимірюється в міжнародних одиницях TRHD або сотих частках міліметра: нуль у міжнародних одиницях відповідає твердості матеріалу з модулем Юнга, який дорівнює нулю; 100 відповідає твердості матеріалу з модулем Юнга, що прямує до нескінченності.

Твердомір має пристрій для прикладання до індентора попереднього і загального навантажень. Загальне навантаження складається з суми попереднього й основного. Попереднє навантаження визначається масою індентора, зв'язаних з ним деталей і зусилля, що створюється індентором. Основне навантаження характеризується масою 550 г.

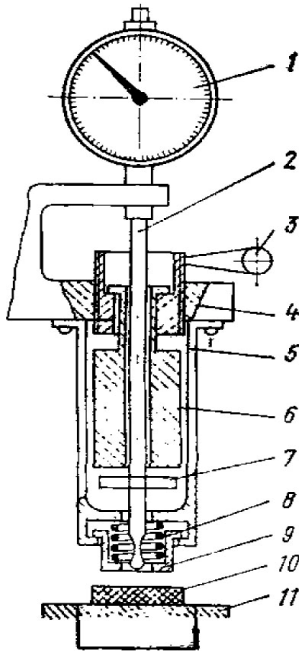


Рис. 7.1. Твердомір ISO:  
 1 – індикатор; 2 – індентор;  
 3 – ручка; 4 – гайка; 5 – кожух;  
 6 – вантаж; 7 – заплечики;  
 8 – пружина; 9 – притискна  
 лапка; 10 – зразок;  
 11 – горизонтальна площадка

Для випробування використовують зразки завтовшки  $8 - 10 \pm 0,1$  мм (мінімальна допустима товщина – 4 мм).

### Проведення випробувань

Зразок поміщають на плоский предметний стіл приладу, притискають лапкою, опускають індентор до стикування з ним і витримують під попереднім навантаженням 5-8 с, дотримуючись при цьому певної відстані від краю до точки вимірювання, що залежить від товщини зразка.

	Товщина зразка, мм					
4	6	8	9	10	15	25
	Відстань від краю, мм					
7	8	9	9	10	11,5	13

Шкалу встановлюють на 100 (якщо градування в IRHD) і плавно прикладають основне навантаження. Через  $(30 \pm 2)$  с після дії загального навантаження замірюють твердість за шкалою. Якщо градування шкали в

метричних одиницях, то треба попередньо встановити прилад у положення “0”.

Результатом випробувань вважають середнє арифметичне значення для трьох точок, заокруглене до цілого числа.

## **Контрольні завдання**

1. Провести аналіз одержаних результатів і зробити основні висновки.
2. Розказати про будову твердометра ISO.
3. Провести випробування твердометром ISO.

## **Контрольні запитання**

1. Які розміри зразків?
2. Які одиниці вирахування твердості?

## **Лабораторна робота 8**

### **ЕЛАСТИЧНІСТЬ ЕЛАСТОМЕРІВ**

#### **Мета та завдання роботи**

*Мета* – визначення еластичності, тобто здатності каучука до зворотної деформації.

*Основне завдання* – визначення еластичності еластомерів методом маятнікового відскакування.

#### **Основні теоретичні відомості**

Для визначення показника еластичності проводять спеціальні випробування, які називаються випробуваннями на еластичність (еластичність за відскакуванням). Вони полягають у вимірюванні значення максимального відскакування маятника спеціального приладу (еластоміра) при ударі в досліджуваний зразок гуми (рис. 8.1).

На металевій станині 1 у кронштейні закріплена вісь, на якій підвішений маятник 5, що має на кінці вантаж з бойком 3 півсферичної форми з радіусом заокруглення 7 мм. Для закріплення маятника в піднятому стані служить защіпка 6. На станині є площадка 2, на якій за допомогою пружини закріплюється зразок. На осі маятника закріплений пружинний затискач, який у момент відскоку маятника від зразка захоплює стрілку 10 і тягне її вгору. Стрілка вказувала найвище положення маятника після відскоку, яке відлічується за шкалою 7. Вихідне положення стрілки визначається обмежувачем.

Для повернення стрілки у вихідне положення служить пружинний механізм з ручкою 8. При горизонтальному положенні маятника запас енергії його становить  $0,49 \text{ Н}\cdot\text{м}$  (висота падіння  $H = 250 \text{ мм}$  умовно взята за одиницю). Можна проводити досліди і при  $H=0,5$ , тобто при висоті падіння  $125 \text{ мм}$  (запас енергії  $0,25 \text{ Дж}$ ). Зразки для досліду повинні мати форму шайб завтовшки  $6,0 \pm 0,25 \text{ мм}$  і діаметром  $50 \text{ мм}$  або квадратів зі стороною понад  $50 \text{ мм}$ . Поверхня має бути рівною і гладкою.

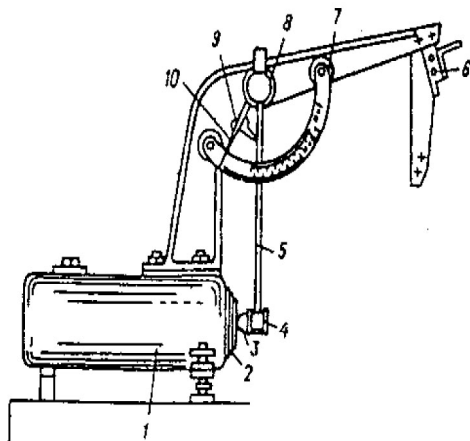


Рис. 8.1. Маятниковий еластомір:  
 1 – станина; 2 – площадка для зразка;  
 3 – курок; 4 – вантаж; 5 – маятник;  
 6 – защіпка; 7 – шкала; 8 – механізм повертання стрілки; 9 – пружинний затискач; 10 – стрілка

### Порядок і рекомендації щодо виконання роботи

Досліджуваний зразок закріплюють на площадці 2 (рис. 8.1), слідкуючи за тим, щоб він щільно прилягав до поверхні площадки. Підіймають маятник на висоту  $H=1$  і закріплюють за допомогою защіпки 6. Звільняють маятник, він падає на зразок і відскакує на деяку висоту, яка фіксується стрілкою 10. Маятник зразу після удару підіймають у верхнє положення. Усього проводять чотири удари при незмінному положенні зразка. Показником еластичності вважають показання приладу після четвертого удару.

### Контрольні завдання

1. Проаналізувати одержані результати і зробити основні висновки.
2. Розказати про будову маятникового еластоміра.
3. Розказати про хід визначення еластичності.

### Контрольні запитання

1. Яка форма зразків для дослідження?
2. Який запас енергії маятника?

## Лабораторна робота 9

### МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ЕЛАСТОМЕРІВ

#### Мета та завдання роботи

*Мета* – вивчити методи визначення морозостійкості каучуку або гуми.

*Основне завдання* – визначити морозостійкість каучуку.

#### Основні теоретичні відомості

За допомогою пристрою для визначення морозостійкості оцінюють зміну фізико-механічних характеристик при пониженні температури. Згідно зі стандартом визначення морозостійкості полягає у вимірюванні навантаження, необхідного для розтягування зразка на 100 % при кімнатній температурі і розтягування того ж зразка під тим же навантаженням при пониженої температурі. Такий же дослід можна проводити і під час початкового розтягування зразка до видовження 300 % та ін. Характеристикою морозостійкості служить коефіцієнт морозостійкості  $K$ , значення якого можуть перебувати в межах від 0 до 1

$$K_M = L_{ox} / L,$$

де  $L_{ox}$  – видовження робочої частини охолодженого зразка під дією того ж навантаження, мм;  $L$  – видовження робочої частини зразка, зумовлене прикладеним навантаженням при кімнатній температурі, мм.

Характеризуючи каучук коефіцієнтом морозостійкості, обов'язково потрібно вказувати температуру, при якій проводився дослід, а якщо проводилося нестандартне розтягування (що відрізняється від 100 %), то і його значення (наприклад,  $K_{-45}^{300}$ ).

Схема пристрою для визначення морозостійкості показана на рис. 9.1.

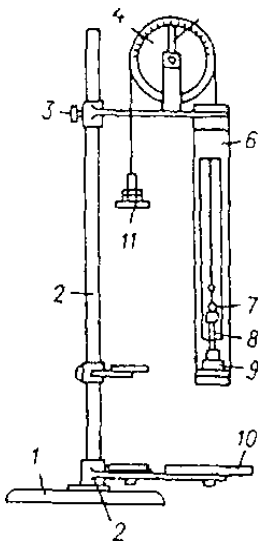


Рис. 9.1. Прилад для визначення морозостійкості:  
1 – станина; 2 – стояк;  
3 – кронштейн; 4 – блок;  
5 – стрілка; 6 – ебонітова трубка; 7, 9 – верхній та нижній затискачі; 8 – зразок;  
10 – підставка, що обертається; 11 – підвісний вантаж

На плиті 1 закріплено стояк 2 з кронштейном 3, який закінчується ебонітовою трубкою 6. Уздовж утвореної трубки зроблено два прорізи. Усередину трубки вводять затискачі 7 і 9, між якими закріплюють зразок. Нижній затискач має заплечики, якими він впирається в торець трубки 6 і утримується плоскими пружинами. Верхній затискач за допомогою троса, перекинутого через блок 4, зв'язаний з підвісним вантажем 11. Під час розтягування зразка блок 4 повертається і шкала, нанесена на ньому, ковзає повз нерухомо закріплену стрілку 5. До стояка 2 за допомогою втулки прикріплена підставка 10, що вільно обертається, на яку встановлюють посудину Дюара. Зразки, призначені для досліду (рис. 9.2), вирубують з пластини спеціальним ножем.

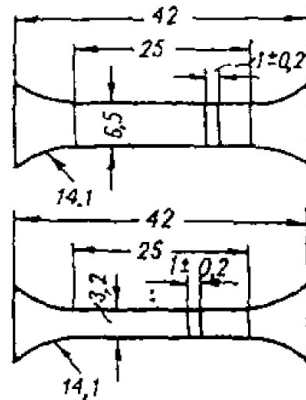


Рис. 9.2. Стандартні зразки для визначення морозостійкості

### Порядок і рекомендації щодо виконання роботи

На зразок наносять позначки спеціальним штампом або вручну і закладають його в затискачі 7 і 9 точно за цими позначками. Верхній затискач закріплюють на кінці гнучкого троса, перекинутого через блок, нижній встановлюють так, щоб його заплечики впиралися в торець трубки 6 і утримувалися пружинами. Нуль шкали на блоці встановлюють навпроти стрілки 5. Закріплений зразок разом з ебонітовою трубкою поміщають у посудину Дюара зі спиртом при температурі  $20 \pm 5$  °C. Накладаючи вантажі на підвіску 11, добирають навантаження, необхідне для того, щоб через 5 хв видовження зразка становило 100 % (при нестандартних умовах 200%, 300% тощо). Після дії вантажу протягом 5 хв записують показання шкали, знімають вантаж, відставляють посудину Дюара і знімають зразок. Після 15 хв перерви зразок знову поміщають усередину ебонітової трубки 6 і занурюють в посудину Дюара, у якій попередньо встановлюють, додаючи твердий діоксид вуглецю, те-

мпературу, яка на  $3 - 6^{\circ}$  нижча від температури досліду. Зразок витримують в охолоджувальній суміші 6, накладають на підвіску 11 той самий вантаж, після дії вантажу протягом 5 хв записують показання шкали приладу і обчислюють коефіцієнт морозостійкості.

Зазвичай досліджують не менше трьох зразків, причому різниця між визначеннями не повинна перевищувати 20 %.

### **Контрольні завдання**

1. Провести аналіз одержаних результатів і зробити основні висновки.
2. Розказати про будову приладу для визначення морозостійкості.
3. Розказати про визначення морозостійкості.

### **Контрольні запитання**

1. Як працює прилад для визначення морозостійкості?
2. Як визначається морозостійкість?
3. Які стандартні зразки для визначення морозостійкості?

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Лазарев С.Я.* Лабораторный практикум по синтетическим каучукам: учеб. пособие для вузов/ С.Я. Лазарев, В.О. Рейхсфельд, Л.Н. Еркова. – Л.: Химия, 1986. – 224 с.
2. *Захаров Н.Д.* Лабораторный практикум по технологии резины: учеб. пособие для вузов / Н.Д. Захаров, О.А.Захаркин, Г.И. Костыркина и др. – М.: Химия, 1988. – 256 с.



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	3
<i>Лабораторна робота 1</i>	
Пластичність .....	4
<i>Лабораторна робота 2</i>	
Визначення жорсткості каучуків та еластомерів на дефометрі .....	6
<i>Лабораторна робота 3</i>	
В'язкість за Муні.....	10
<i>Лабораторна робота 4</i>	
Визначення міцнісних характеристик еластомерів під час розтягу і опору роздиранню.....	11
<i>Лабораторна робота 5</i>	
Визначення твердості еластомерів за Шором.....	18
<i>Лабораторна робота 6</i>	
Визначення твердості еластомерів на твердомірі ТШР .....	21
<i>Лабораторна робота 7</i>	
Визначення твердості еластомерів на прикладі ISO .....	25
<i>Лабораторна робота 8</i>	
Еластичність еластомерів .....	27
<i>Лабораторна робота 9</i>	
Морозостійкість еластомерів .....	29
Список літератури.....	31

Навчальне видання

## ХІМІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛАСТОМЕРІВ

Лабораторний практикум  
для студентів спеціальності 6.091600  
„Хімічна технологія  
високомолекулярних сполук”

Укладачі: МАСЛЕННІКОВА Людмила Дмитрівна  
ФАБУЛЯК Федір Григорович  
ІВАНОВ Сергій Віталійович

Редактор *В.П. Заскалета*  
Технічний редактор *А.І. Лавринович*  
Коректор *О.О. Крусь*  
Верстка *Л.А. Шевченко*

Підп. до друку 25.03.08. Формат 60x84/16. Папір офс.  
Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,86. Обл.-вид. арк.2,0.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 56-1. Вид. № 84/ III.

Видавництво НАУ  
03680. Київ-680, проспект Космонавта Комарова, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002