

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ЖУРНАЛ
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ „НОВІ МАТЕРІАЛИ”

Київ, НТУУ „КПІ”, 2009 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ЖУРНАЛ
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ „НОВІ МАТЕРІАЛИ”

Для студентів спеціальності
"Динаміка та міцність машин"

Затверджено
на засіданні Методичної Комісії
ММІ НТУУ "КПІ".
Протокол № 9 від 25.05.2009 р.

Київ, НТУУ „КПІ”, 2009 р.

Журнал лабораторних робіт з дисципліни „Нові матеріали”.
Для студентів спеціальності "Динаміка та міцність машин"//
//Шидловський М.С. - К.: НТУУ "КПІ", 2009 р. -53 с.

Методичне видання

Журнал лабораторних робіт з дисципліни
"Нові матеріали".
Для студентів спеціальності "Динаміка та міцність машин"

Відповідальний редактор

М.І. Бобир

Рецензент

О.П. Губарєв

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Програмою курсу "Нові матеріали" для студентів спеціальності Динаміка та міцність машин Механіко-машинобудівного інституту НТУУ "КПІ" передбачено протягом навчального року виконання комплексу лабораторних робіт.

При проведенні лабораторних робіт студенти мають можливість оволодіти методами проведення механічних випробувань та визначення характеристик конструкційних матеріалів, поглибити та закріпити свої теоретичні знання з різних розділів курсу, ознайомитись з роботою сучасного випробувального устаткування, методами експериментальних досліджень та нормативно-технічною документацією на методи випробувань.

У більшій частині лабораторних робіт демонструється дія навантажень на зразки різноманітних матеріалів, вимірюються їх деформації та проводиться співставлення експериментальних даних з результатами теоретичних розрахунків. Це дає можливість закріплення знань, що отримані студентами на лекціях та на практичних заняттях.

В процесі самостійної підготовки до лабораторних робіт студенти вивчають відповідні розділи теоретичного курсу та рекомендовану викладачем літературу. Викладач попередньо видає студентам цей журнал в електронному вигляді для підготовки чистих бланків протоколів випробувань.

На першому лабораторному занятті викладач знайомить студентів з правилами поведінки в випробувальній лабораторії, з загальними правилами користування обладнанням та проводить інструктаж з техніки безпеки.

Студенти, що не пройшли інструктаж та не розписалися в журналі з техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

Правила техніки безпеки при проведенні лабораторних робіт

1. При проведенні лабораторних робіт:

– усі студенти знаходяться на місцях, визначених викладачем, і самотійну роботу виконують тільки під його наглядом;

– усі студенти дотримуються загальноприйнятих правил електробезпеки.

2. У лабораторії **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ**:

– перебувати у верхньому одязі, розвішувати одяг або класти речі на лабораторне обладнання;

– без дозволу викладача вмикати або вимикати випробувальні установки;

– працювати на установках при відкритих кришках та дверцятах установок;

– торкатися до рухомих частин випробувальних машин, затискувачів та об'єктів випробувань під час роботи установок;

– навантажувати установки вище максимально допустимих значень навантаження.

3. При випробуванні зразків з крихких матеріалів необхідно встановлювати захисні екрани, які виключають травмування осколками зразків при руйнуванні.

Вимоги до оформлення протоколів.

Протокол випробувань складається студентами індивідуально відповідно до діючих стандартів. Він оформлюється на аркушах паперу формату А4 (210мм x 297мм). Схеми та графіки виконуються на міліметровому папері того ж формату. До протоколів лабораторних робіт, виконаних на ЕОМ, додаються програми й результати розрахунків (роздруки). Всі фізичні величини, що зустрічаються в роботі, повинні бути виражені в міжнародній системі одиниць СІ.

У кожному протоколі обов'язково повинні бути відображені такі відомості:

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Прилади та обладнання, що використовуються, режими випробування (швидкість навантаження, температура, час випробування та ін.)
4. Конкретна назва випробуваного матеріалу (або матеріалів), шифр або марка матеріалу, тип і розміри зразків.
5. Стислий опис методики проведення випробувань.
6. Таблиці із заголовками, в яких подаються виміряні або обчислені величини та їх розмірності.
7. Графіки із зазначенням на координатних осях величин, що відбиваються, та їх розмірностей. Під кожним графіком повинен бути пояснюючий підпис (назва матеріалів, стислий опис досліджуваних процесів, умови випробувань та ін.).
8. Описання методів розрахунку, формули та результати розрахунків. Остаточні результати підкреслити.
9. Стислі відомості про випробувані матеріали:
 - клас матеріалу (лінійний, сітчастий, наповнений тощо);
 - фазовий стан (кристалічний, аморфний, частково-кристалічний);
 - фізичний стан (склоподібний, високоеластичний та ін.);
 - галузі застосування;
 - методи отримання, режими обробки;
 - довідкові дані (границя міцності, максимальне видовження, модуль пружності, ударна в'язкість, температурні характеристики, густина, твердість та ін.).
10. Висновки по проведеній роботі.

Протокол проведення лабораторної роботи № 1.1

Випробування матеріалів на розтяг. Побудова та обробка діаграм деформування. Статистична обробка результатів випробування.

Мета роботи:

- навчитися користуватись випробувальною машиною;
- одержати криві „навантаження - видовження” зразків при розтягу зразків;
- визначити міцності та деформаційні характеристики матеріалу.

Прилади та обладнання:

1. Випробувальна машина TIRATEST-2151;
2. Штангенциркуль ціною поділки 0.05 мм;
3. Товщиномір з ціною поділки 0.001 мм.

Досліджувані матеріали: _____

Зразки (тип та розміри): _____

Методика проведення випробувань (спосіб навантаження, режим роботи випробувальної машини, кліматичні умови в лабораторії та ін.):

Проведена обробка діаграм деформування, що додаються до протоколу, і результати занесені до таблиці.

Таблиця 1.1(1). Результати обробки діаграм деформування.

№ п/п	Назва матеріалу	L_0 , мм	F_0 , мм ²	P_{max} , Н	P_p , Н	P_T Н	P_{T_y} Н
1							
2							
3							
4							
5							

№ п/п	Назва матеріалу	ΔL_{max} , Мм	ΔL_p , Мм	ΔL_T , Мм	ΔL_{T_y} , Мм
1					
2					
3					
4					
5					

В таблиці записані такі дані:

- L_0 – початкова розрахункова довжина зразка;
 F_0 – площа початкового поперечного перерізу зразка;
 P_{\max} – найбільше навантаження при випробуванні;
 P_p – навантаження в момент руйнування зразка;
 P_T – розтягуюче навантаження при досягненні границі текучості;
 P_{T_y} – розтягуюче навантаження при досягненні умовної границі текучості;
 ΔL_{\max} – зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення максимального навантаження;
 ΔL_p – зміна розрахункової довжини зразка в момент руйнування;
 ΔL_T – зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення точки текучості;
 ΔL_{T_y} – зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення точки умовної текучості.

Розраховані характеристики матеріалу:

Значення напружень (σ) в МПа (Н/мм²) обчислені за формулами:

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| - міцність при розтягу | $\sigma_{\max} = P_{\max} / F_0;$ |
| - міцність при розриві | $\sigma_p = P_p / F_0;$ |
| - границя текучості при розтягу | $\sigma_T = P_T / F_0;$ |
| - умовна границя текучості | $\sigma_{T_y} = P_{T_y} / F_0.$ |

Значення відносних видовжень (ϵ) у відсотках обчислені за формулами:

- | | |
|--|--|
| - відносне видовження при максимальному навантаженні | $\epsilon_{\max} = (\Delta L_{\max} / L_0)100 \%;$ |
| - відносне видовження при розриві | $\epsilon_p = (\Delta L_p / L_0)100 \%;$ |
| - відносне видовження на границі текучості | $\epsilon_T = (\Delta L_T / L_0)100 \%;$ |
| - відносне видовження на умовній границі текучості | $\epsilon_{T_y} = (\Delta L_{T_y} / L_0)100 \%.$ |

Використовуючи одержані діаграми „напруження-деформація”, розраховані початкові модулі пружності:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} ,$$

де σ_1 і σ_2 – напруження (МПа) в межах лінійної ділянки;
 ϵ_1 і ϵ_2 – відносні деформації (у відносних одиницях), що відповідають напруженням σ_1 і σ_2 .

Результати обчислень занесені до таблиці.

Таблиця 1.1(2). Міцносні та деформаційні характеристики матеріалу при розтягу.

№ п/п	Матеріал	σ_{\max} МПа	σ_p МПа	σ_T МПа	σ_{Ty} МПа	ϵ_{\max} %	ϵ_p %	ϵ_T %	ϵ_{Ty} %	E МПа
1										
2										
3										
4										
5										

Статистичну обробку виконано згідно з ГОСТ 14359-69 і результати занесені до таблиці.

Таблиця 1.1(3). Статистичні характеристики результатів випробувань.

Статистична характеристика	Механічні характеристики матеріалу		
	σ_p , МПа	ϵ_p , %	E, МПа
Середнє значення			
Стандартне відхилення			
Границі довірчого інтервалу			
Коефіцієнт варіації, %			
Відносна похибка, %			



Рис.1.1. Діаграми деформування матеріалу в координатах „ σ - ϵ ” (первинні діаграми деформування, що одержані за допомогою випробувальної машини, додаються до протоколу).

Стислі відомості про випробуваний матеріал (клас, фазовий та фізичний стани, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробуваний матеріал:

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 1.2 Випробування матеріалів при стиску.

Мета роботи:

- одержати криві „навантаження-скорочення” при стиску зразків;
- визначити міцності та деформаційні характеристики матеріалу.

Прилади та обладнання зазначені в протоколі лабораторної роботи № 1.1.

Досліджувані матеріали: _____

Зразки (тип та розміри): _____

Методика проведення випробувань (спосіб навантаження, режим роботи випробувальної машини, кліматичні умови в лабораторії та ін.):

Проведена обробка діаграм деформування, що додаються до протоколу, і визначено:

P_{\max} – максимальне навантаження при випробуванні на стиск, Н;

Δh_{\max} – скорочення зразка в момент досягнення максимального навантаження, мм.

Розраховані характеристики матеріалу:

Значення напружень (МПа), деформацій (%) та модулів пружності (МПа) обчислено за формулами:

- міцність при стиску $\sigma_{\text{СТ}} = P_{\max} / F_0$,

де F_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка, мм²;

- відносна деформація при стиску $\varepsilon_{\text{СТ}} = (\Delta h_{\max} / h_0) 100\%$,

де h_0 – початкова висота зразка (мм);

- модуль пружності при стиску $E_{\text{СТ}} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$,

де σ_1 і σ_2 – напруження в межах лінійної ділянки;

ε_1 і ε_2 – відносні деформації (у відносних одиницях), що відповідають напруженням σ_1 і σ_2 .

Усереднені результати обчислень занесені до таблиці.

Таблиця 1.2. Міцносні та деформаційні характеристики матеріалу при стиску.

Матеріал	P_{\max} , Н	$\sigma_{ст}$, МПа	Δh_{\max} , мм	$\epsilon_{ст}$, %	$E_{ст}$, МПа

Стислі відомості про випробуваний матеріал (клас, фазовий та фізичний стани, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробуваний матеріал :

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 1.3 Випробування матеріалів при згині.

Мета роботи:

- одержати криві „навантаження-скорочення” при згині зразків;
- визначити міцності та деформаційні характеристики матеріалу.

Прилади та обладнання зазначені в протоколі лабораторної роботи № 1.1.

При виконанні випробувань використаний пристрій для випробування зразків при триточковому згині.

Досліджувані матеріали: _____

Зразки (тип та розміри): _____

Методика проведення випробувань (спосіб навантаження, режим роботи випробувальної машини, кліматичні умови в лабораторії та ін.):

Проведена обробка діаграм деформування, що додаються до протоколу, і визначено:

$P_{\text{пц}}$ – навантаження, що відповідає границі пропорційності, Н;

P_{max} – найбільше навантаження зразка, Н;

P_z – навантаження при заданому прогині $Z = (2,5 \dots 5) h$, Н;

$Z_{\text{пц}}$ – прогин при навантаженні, що відповідає границі пропорційності, мм;

Z_{max} – прогин при найбільшому навантаженні зразка, мм.

Розраховані характеристики матеріалу:

Значення напружень та модулів пружності (МПа) обчислено за формулами:

- максимальне напруження при згині $\sigma_{\text{зг}} = \frac{3 P_{\text{MAX}} \cdot L_v}{2 b h^2} \left(1 + \frac{4 \cdot Z_{\text{MAX}}^2}{L_v^2} \right);$

- границя пропорційності $\sigma_{\text{пц}} = \frac{3 P_{\text{пц}} \cdot L_v}{2 b h^2} \left(1 + \frac{4 \cdot Z_{\text{пц}}^2}{L_v^2} \right);$

- напруження при заданому прогині $\sigma_z = \frac{3 P_z \cdot L_v}{2 bh^2} \left(1 + \frac{4 \cdot Z^2}{L_v^2} \right);$

- модуль пружності при згині $E_{зг} = \frac{L_v^3 (P_2 - P_1)}{4bh^3 (Z_2 - Z_1)},$

де P_1 і P_2 – навантаження (Н) в межах лінійної ділянки;

Z_1 і Z_2 – прогини (мм), що відповідають навантаженням P_1 і P_2 ;

L_v – відстань між опорами;

b і h – ширина та товщина зразка.

Результати обчислень занесено до таблиці.

Таблиця 1.3. Міцносні та деформаційні характеристики матеріалу при згині.

Матеріал	$P_{пц},$ Н	$P_{мак},$ Н	$P_z,$ Н	$Z_{пц},$ мм	$Z_{мак},$ мм	$Z,$ мм

Матеріал	$\sigma_{пц},$ МПа	$\sigma_{зг},$ МПа	$\sigma_z,$ МПа	$E_{зг},$ МПа

Стислі відомості про випробуваний матеріал (клас, фазовий та фізичний стани, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробуваний матеріал:

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 1.4
Дослідження впливу структури полімеру та наповнювача на міцносні та деформаційні характеристики матеріалів.

Мета роботи:

- одержати криві „навантаження-видовження” при розтягу зразків матеріалів різних класів;
- визначити їх міцносні та деформаційні характеристики;
- оцінити вплив структури фізичного та фазового стану, технології виготовлення, введення в матеріал стабілізуючих та інших домішок на механічні властивості полімерів.

Прилади та обладнання зазначені в протоколі лабораторної роботи № 1.1.

Досліджувані матеріали: _____

Зразки (тип та розміри): _____

Методика проведення випробувань (спосіб навантаження, режим роботи випробувальної машини, кліматичні умови в лабораторії та ін.):

Обробка результатів випробувань аналогічна описаній у протоколі лабораторної роботи №1.1

Усереднені результати обчислень занесені до таблиці.

Таблиця 1.4. Міцносні та деформаційні характеристики матеріалів при розтягу.

№ п/п	Матеріал	σ_{\max} МПа	σ_p МПа	σ_T МПа	σ_{Ty} МПа	ϵ_{\max} %	ϵ_p %	ϵ_T %	ϵ_{Ty} %	E МПа
1										
2										
3										
4										
5										

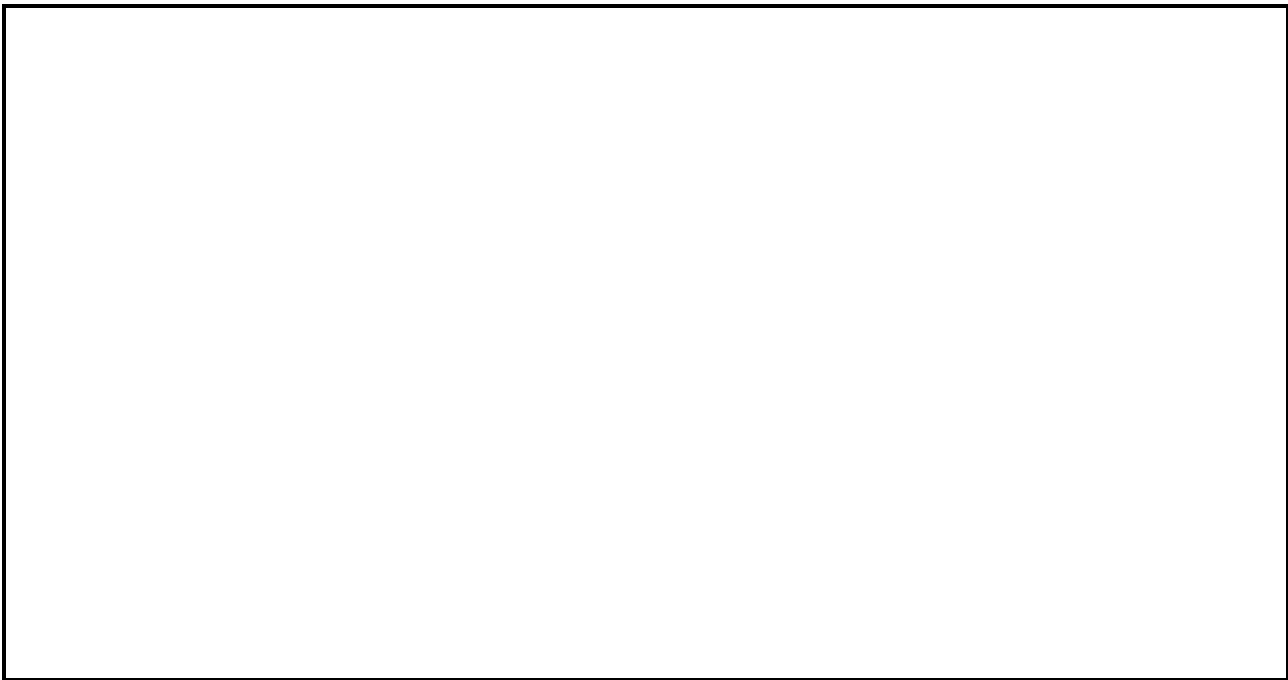


Рис.1.4. Діаграми деформування випробуваних матеріалів у координатах „ σ - ϵ ”

Стислі відомості про випробувані матеріали (клас, фазовий та фізичний стани, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробувані матеріали:

Висновки по роботі: (результати порівняння механічних властивостей різних матеріалів, вплив структури та наповнювачів на механічні властивості)

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 1.5

Дослідження впливу температури та швидкості навантаження на механічні властивості аморфних та кристалічних полімерів.

Мета роботи: одержати криві „навантаження-видовження” аморфного та кристалічного полімерів при різних температурах та швидкостях навантажень; вивчити характер впливу температури та швидкості навантаження на міцність і деформативність полімерів з різним ступенем кристалічності.

Прилади та обладнання зазначені в протоколі лабораторної роботи № 1.1. При виконанні випробувань використані температурна камера з терморегулятором та контактний термометр.

Досліджувані матеріали: _____

Зразки (тип та розміри): _____

Методика проведення випробувань (спосіб навантаження, режим роботи випробувальної машини, кліматичні умови в лабораторії та ін.):

Обробка результатів випробувань аналогічна описаним у протоколі лабораторної роботи № 1.1

Усереднені результати обчислень наведено в таблицях, **які додаються до протоколу.**

Графічне відображення отриманих результатів представлено на **рис.1.5(1)** та **рис.1.5(2).**

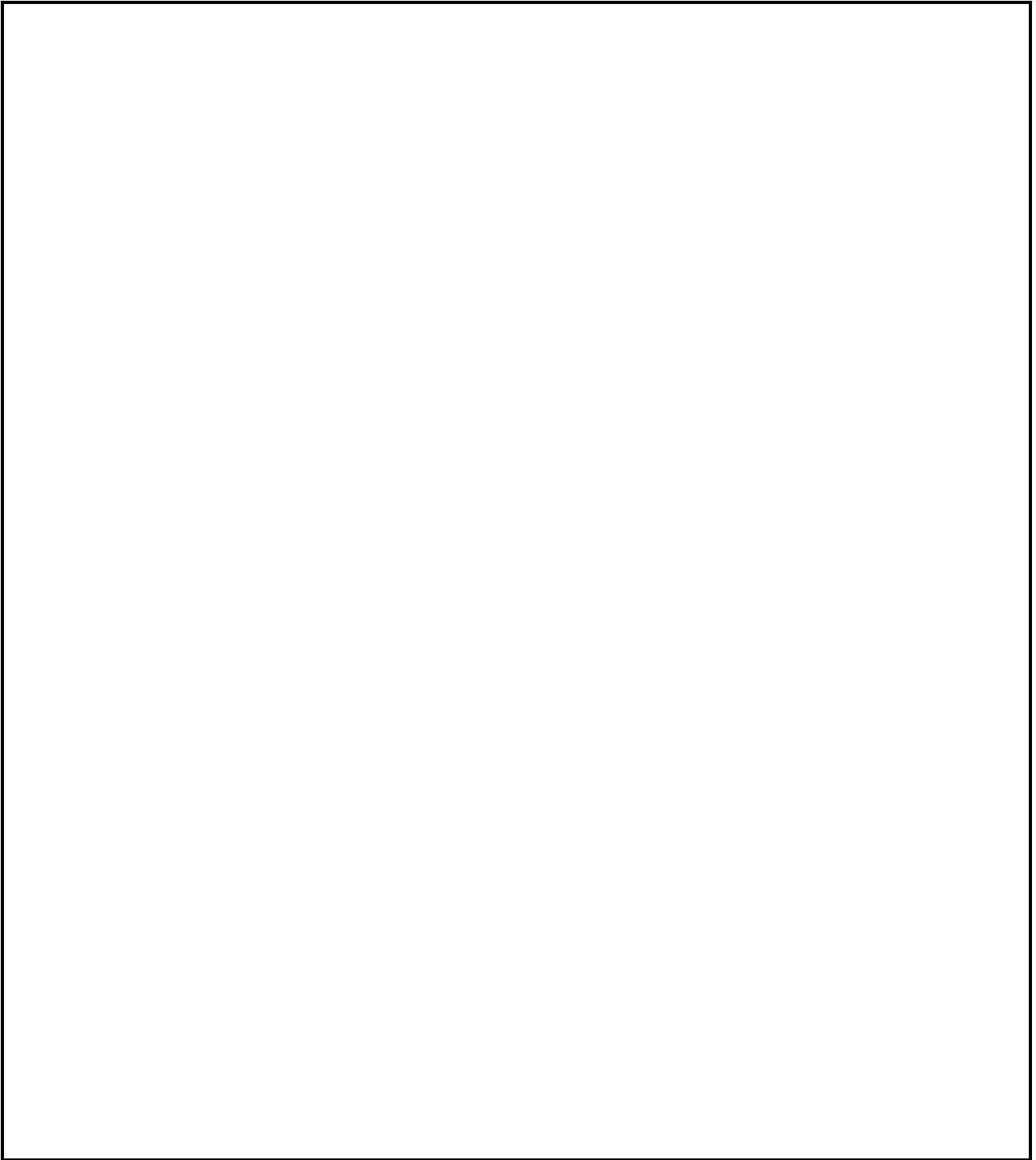


Рис.1.5(1). Залежності механічних характеристик випробуваних матеріалів від температури.

Матеріали: 1. _____
2. _____

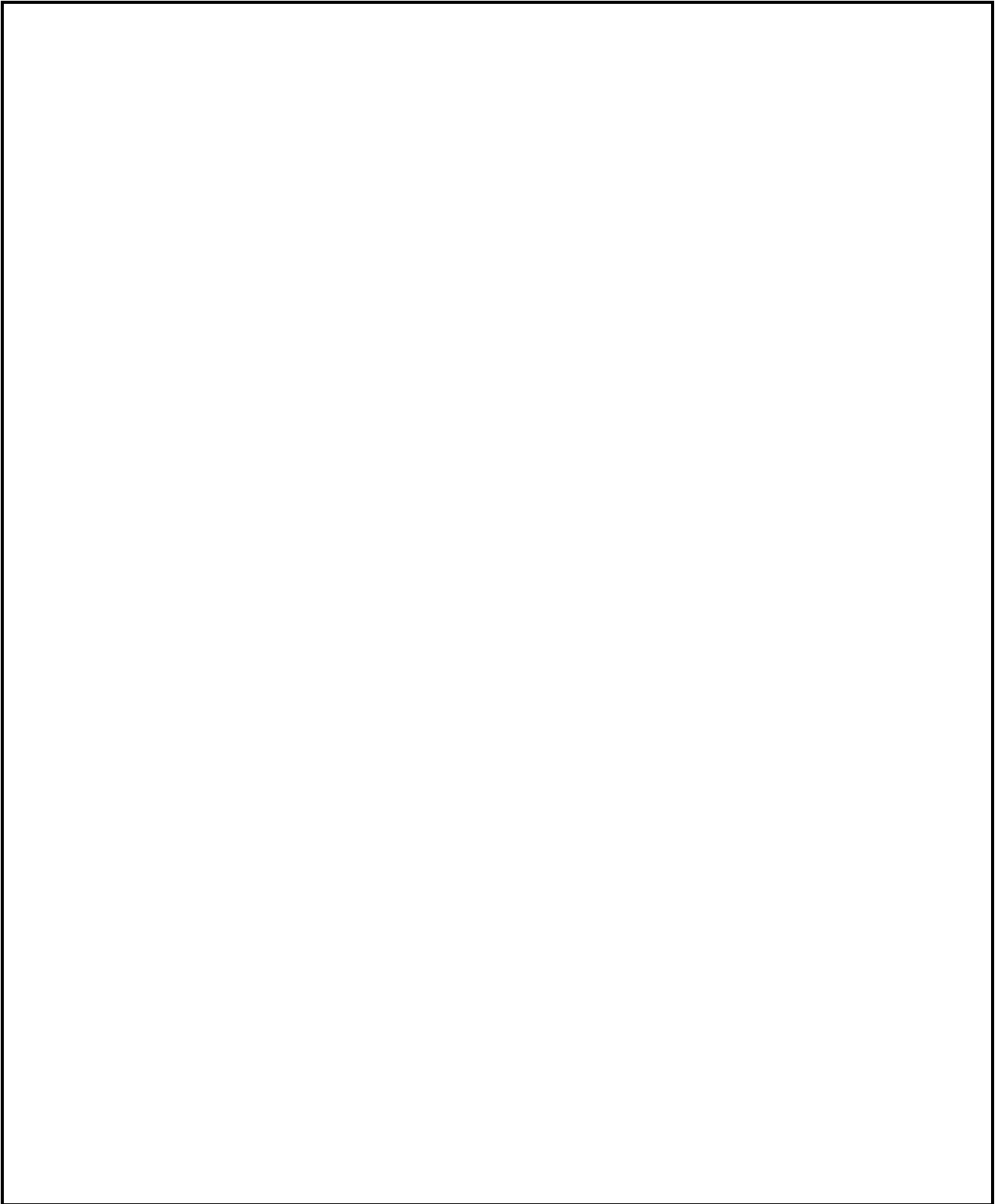


Рис.1.5(2). Залежності механічних характеристик випробуваних матеріалів від швидкості навантаження.

Матеріали: 1. _____
2. _____

За експериментальними даними, що зображені на **рис.1.5(2)** у вигляді точок, підібрані коефіцієнти рівнянь $\sigma_p = a \cdot V^n$ та $\epsilon_{\max} = b \cdot V^m$.

Для матеріалу _____ $a =$ _____ МПа·с/м; $b =$ _____ с/м;
 $n =$ _____; $m =$ _____.

Для матеріалу _____ $a =$ _____ МПа·с/м; $b =$ _____ с/м;
 $n =$ _____; $m =$ _____.

На **рис.1.5(2)** результати апроксимації позначені суцільними лініями.

Стислі відомості про випробуваний матеріал (клас, фазовий та фізичний стани, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробуваний матеріал:

Висновки по роботі: (порівняння залежностей механічних властивостей полімерів з різними ступенями кристалічності від температури та швидкості навантаження) _____

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 1.6

Визначення пружних та міцносних характеристик ортотропних матеріалів.

Мета роботи:

- визначити пружні константи ортотропного матеріалу;
- розрахувати модулі пружності, коефіцієнти Пуасона, міцність та деформації в різних напрямках по відношенню до осей пружної симетрії.

Прилади та обладнання зазначені в протоколі лабораторної роботи № 1.1.

Досліджуваний матеріал: _____

Зразки (тип та розміри): _____

Методика проведення випробувань (спосіб навантаження, режим роботи випробувальної машини, кліматичні умови в лабораторії та ін.):

Обробка діаграм деформування аналогічна описаній у протоколі лабораторної роботи №1.1. **Діаграми додаються до протоколу випробувань.**

За діаграмами деформування визначені характеристики

- у напрямку головних осей (E_0 , $\sigma_{P(0)}$, $\epsilon_{\max(0)}$, E_{90} , $\sigma_{P(90)}$, $\epsilon_{\max(90)}$);

- під кутом 45° до головних осей (E_{45} , $\sigma_{P(45)}$, $\epsilon_{\max(45)}$):

$E_0 =$ _____ МПа; $E_{90} =$ _____ МПа; $E_{45} =$ _____ МПа;

$\sigma_{P(0)} =$ _____ МПа; $\sigma_{P(90)} =$ _____ МПа; $\sigma_{P(45)} =$ _____ МПа;

$\epsilon_{\max(0)} =$ _____ %; $\epsilon_{\max(90)} =$ _____ %; $\epsilon_{\max(45)} =$ _____ %.

Розраховані коефіцієнти, що входять в рівняння

$$E(\varphi) = \frac{\lambda \cdot E_0}{\lambda \cdot \cos^4 \varphi + 2B \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (1.6.1)$$

$$\text{де } \lambda = \frac{E_{90}}{E_0}, \quad 2B = 4 \frac{E_{90}}{E_{45}} - (1 + \lambda);$$

$$G(\varphi) = \frac{G_0}{1 - (1 - C) \cdot \sin^2 2\varphi}, \quad (1.6.2)$$

$$\text{де } C = \frac{G_0}{G_{45}} = \frac{1 + \lambda + 2\mu_{90}}{2B + 2\mu_{90}}, \quad G_0 = \frac{\lambda \cdot E_0}{2B + 2\mu_{90}};$$

$$\mu(\varphi) = \frac{\mu_{90} - \frac{1}{4}(1 + \lambda - 2B) \cdot \sin^2 2\varphi}{\lambda \cos^4 \varphi + 2B \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.6.3)$$

$$\sigma_P(\varphi) = \frac{\lambda_\sigma \cdot \sigma_{P(0)}}{\lambda_\sigma \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\sigma \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}; \quad (1.6.4)$$

$$\text{де } \lambda_\sigma = \frac{\sigma_{P(90)}}{\sigma_{P(0)}}, \quad 2B_\sigma = 4 \frac{\sigma_{P(90)}}{\sigma_{P(45)}} - (1 + \lambda_\sigma);$$

$$\varepsilon_{\max}(\varphi) = \frac{\lambda_\varepsilon \cdot \varepsilon_{\max(0)}}{\lambda_\varepsilon \cdot \cos^4 \varphi + 2B_\varepsilon \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + \sin^4 \varphi}, \quad (1.6.5)$$

$$\text{де } \lambda_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\max(90)}}{\varepsilon_{\max(0)}}, \quad 2B_\varepsilon = 4 \frac{\varepsilon_{\max(90)}}{\varepsilon_{\max(45)}} - (1 + \lambda_\varepsilon).$$

Таким чином,

$$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}; \quad 2B = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$C = \underline{\hspace{2cm}}; \quad G_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа};$$

$$\lambda_\sigma = \underline{\hspace{2cm}}; \quad 2B_\sigma = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$\lambda_\varepsilon = \underline{\hspace{2cm}}; \quad 2B_\varepsilon = \underline{\hspace{2cm}}.$$

При цьому прийнято $\mu_{90} = 0,25$.

За формулами (1.6.1) - (1.6.5) обчислено значення E , G , μ , σ_P , та ε_{\max} в напрямках під кутами $\varphi = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180^0$ відносно повздовжньої осі листа. **Результати занесено в табл. 1.6.**

Таблиця 1.6. Залежності механічних характеристик від напрямку.

φ , град	E, МПа	G, МПа	μ	σ_p , МПа	max, %
0					
15					
30					
45					
60					
75					
90					
105					
120					
135					
150					
165					
180					

Результати відображено на **рис.1.6.** у вигляді кругових діаграм (залежності вказаних механічних характеристик від кута φ).

Стислі відомості про випробуваний матеріал (клас, фазовий та фізичний стани, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробуваний матеріал:

Висновки по роботі:

$E = E(\varphi)$	$G = G(\varphi)$
$\mu = \mu(\varphi)$	$\sigma_P = \sigma_P(\varphi)$
$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{\max}(\varphi)$	

Рис.1.6. Залежності механічних властивостей матеріалу від кута відносно головної осі симетрії (кругові діаграми). Матеріал _____.

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 2.1

Побудова кривих повзучості.

Визначення областей лінійності в'язкопружних властивостей матеріалів при різних температурах.

Мета роботи:

- навчитися досліджувати процеси повзучості полімерних матеріалів;
- одержати криві повзучості зразків полімерних матеріалів при різних рівнях навантажень та температурах;
- обчислити значення функцій повзучості та визначити області лінійності в'язкопружних властивостей матеріалів.

Прилади та обладнання:

1. Випробувальна установка для вимірювання повзучості плівкових та листових полімерних матеріалів;
2. Мікрометр з ціною поділки 0.01 мм.

Досліджувані матеріали: _____

Зразки(тип та розміри): _____

Методика проведення випробувань (спосіб навантаження, режим роботи випробувальної машини, кліматичні умови в лабораторії та ін.):

Обробка результатів вимірювань:

1. Результати вимірювань видовження зразків $\Delta l(t)$ під дією постійного навантаження при різних температурах занесені в **табл.2.1.1**. Вказана таблиця разом з даними про матеріал та розмірами зразків видана викладачем після проведення демонстраційних експериментів. **Табл.2.1.1 підшита до протоколу.**

2. Визначено відносні деформації $\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{l_0} \cdot 100\%$, що виникають під

дією напружень $\sigma_K = \frac{P_K}{F_0}$, де l_0 – початкова робоча довжина (відстань між затискувачами випробувальної машини), F_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка.

Результати розрахунків занесені до **табл. 2.1.2**.

3. Визначено значення функцій повзучості (податливість) матеріалу

$$I(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_K}, \text{ де } \varepsilon(t) \text{ – відносне видовження у відносних одиницях за табл. 2.1.2.}$$

Результати розрахунків занесені до **табл. 2.1.3.**

Криві повзучості в координатах $I(t) - t$ наведені на **рис 2.1.1.**

4. Побудовано ізохронні криві повзучості в координатах $\sigma_K - t$ при фіксованих часах вимірювання (**рис. 2.1.2**).

5. За допомогою ізохронних кривих визначено границі лінійної в'язкопружності матеріалу σ_L як напруження, при якому не порушується лінійний зв'язок між σ та ε .

6. Також застосований інший спосіб визначення границі лінійної в'язкопружності σ_L , а саме – побудова залежностей між податливістю матеріалу I та напруженням σ_K при фіксованому значенні часу спостережень (дані **табл. 2.1.3**).

Ці залежності $I - \sigma_K$ показано на **рис.2.1.3**. Відхилення I від постійного значення свідчить про порушення лінійності в'язкопружних властивостей матеріалу.

7. Побудована залежність границі лінійної в'язкопружності матеріалу від температури випробувань T (**рис.2.1.4**).

Стислі відомості про випробуваний матеріал (клас, фазовий та фізичний стани, галузі застосування, методи отримання та режим обробки):

Додаткові дані про випробуваний матеріал: _____

Висновки по роботі: _____

Випробування виконані _____ 200__ р.

Таблиця 2.1.2. Відносні деформації зразків $\epsilon(t)$, при випробуваннях на повзучість при дії різних температур та напружень.

Час t	Навантаження σ_k, H	Температура				
		$T_0 = 20^0$	$T_1 = 30^0$	$T_2 = 40^0$	$T_3 = 50^0$	$T_4 = 60^0$

Таблиця 2.1.3. Значення функції повзучості (податливість) матеріалу $I \cdot 10^4, \text{МПа}^{-1}$, при випробуваннях на повзучість при дії різних температур та напружень.

Час t	Навантаження $\sigma_k, \text{Н}$	Температура				
		$T_0 = 20^0$	$T_1 = 30^0$	$T_2 = 40^0$	$T_3 = 50^0$	$T_4 = 60^0$

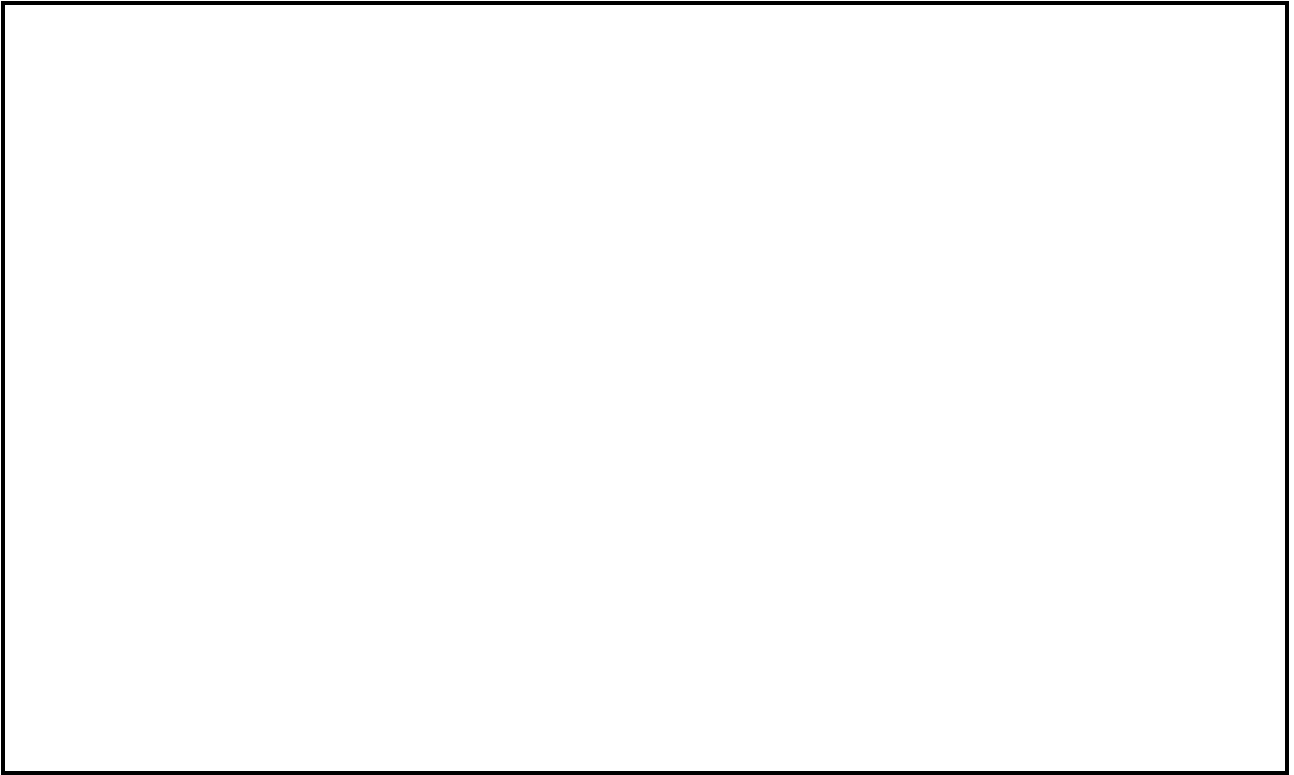


Рис2.1.1. Криві повзучості при різних температурах T та фіксованому напруженні σ_k

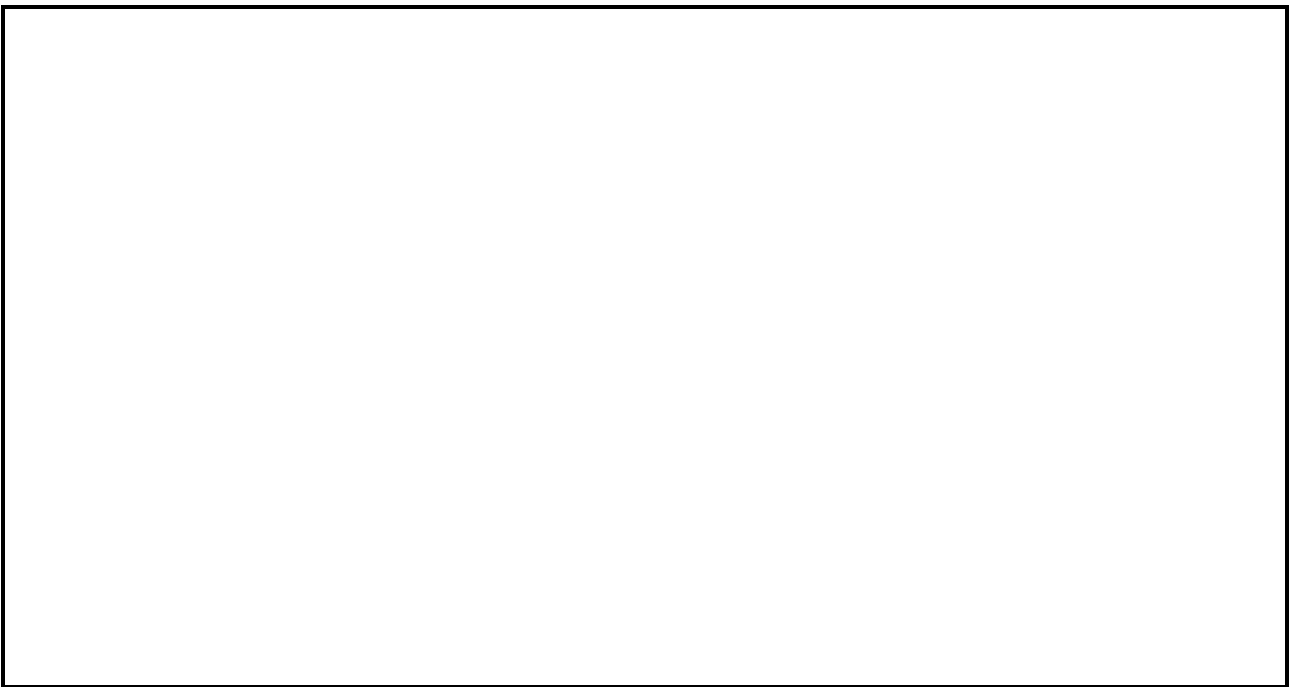


Рис2.1.2. Визначення областей лінійності в'язкопружних властивостей матеріалу за допомогою ізохронних кривих при різних температурах T .

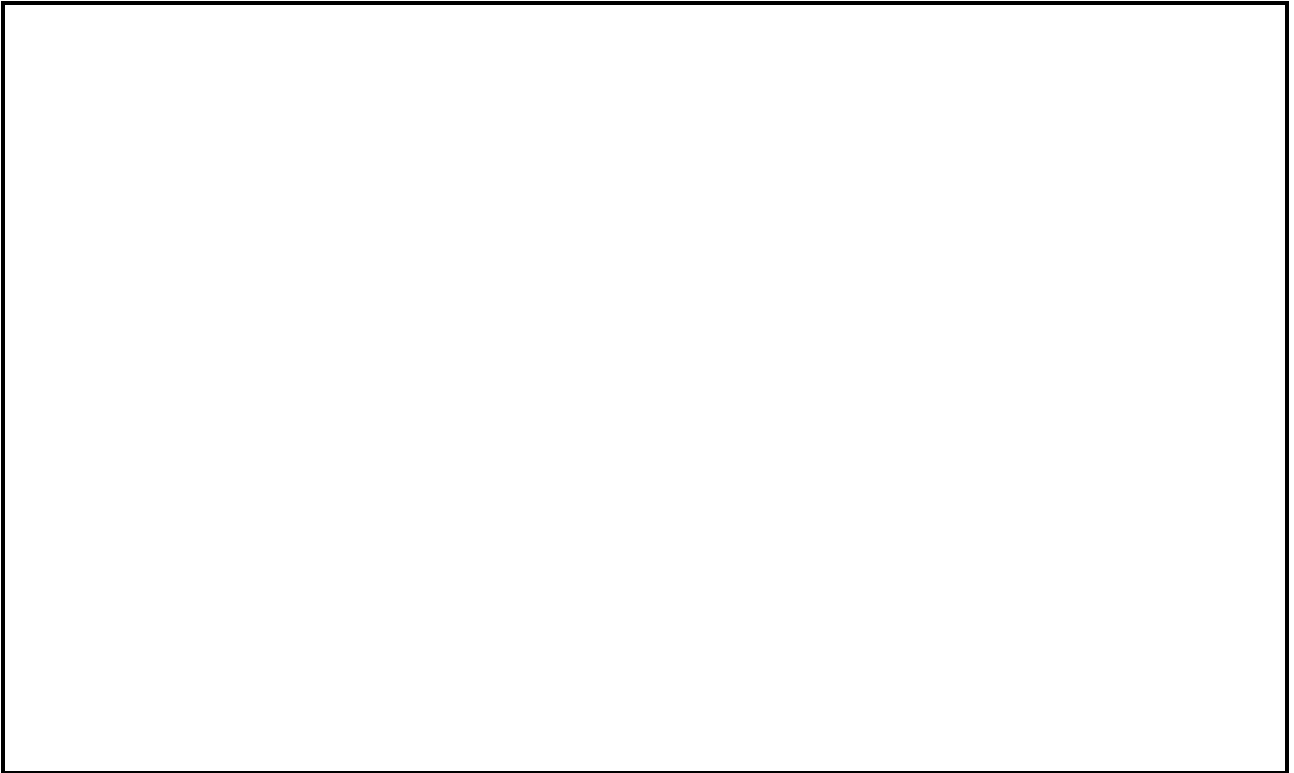


Рис2.1.3. Визначення областей лінійності в'язкопружних властивостей матеріалу за залежностями I - σ_k при фіксованому часі спостережень t та різних температурах T .

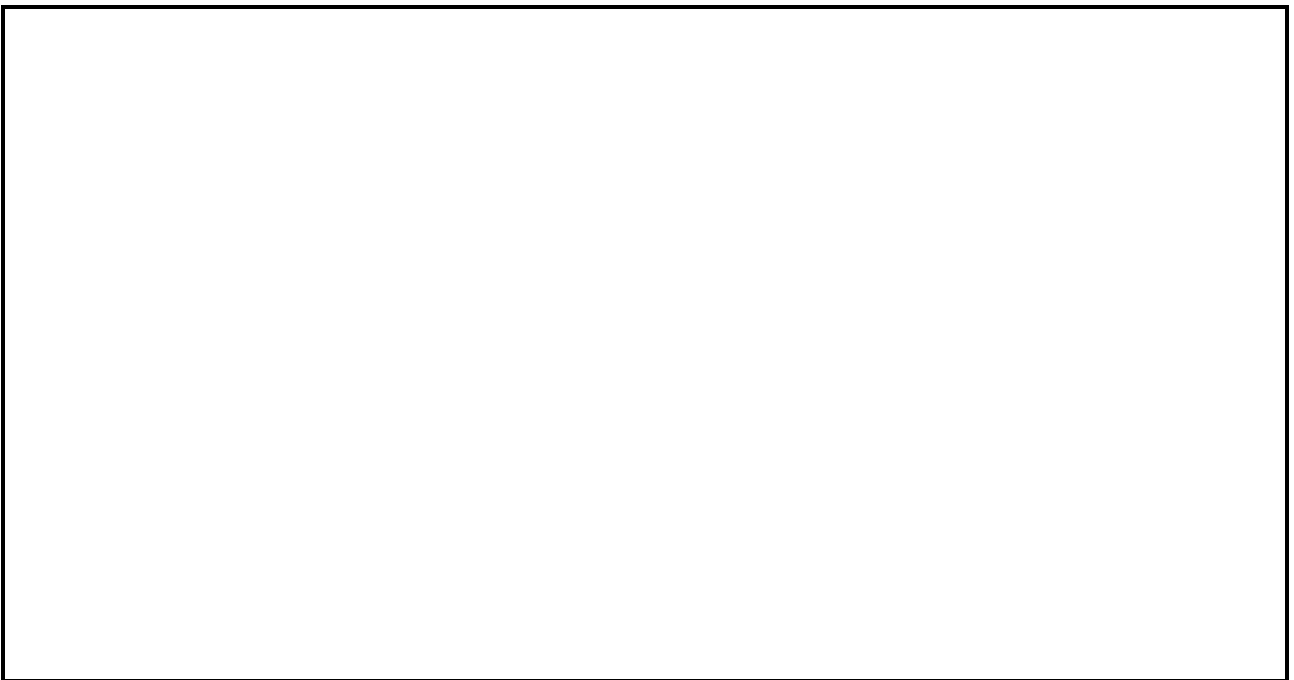


Рис2.1.4. Залежність межі лінійної в'язкопружності σ_L від температури випробувань.

Протокол проведення лабораторної роботи № 2.2
Експериментальне визначення коефіцієнтів рівнянь
температурно-часової аналогії.
Побудова узагальнених кривих повзучості.

Мета роботи:

- одержати експериментальні криві повзучості полімерних матеріалів при різних температурах;
- визначити декілька значень температурної функції зсуву a_T та розрахувати коефіцієнти рівняння Вільямса-Ландела-Феррі;
- побудувати узагальнену криву повзучості полімерного матеріалу.

Прилади та обладнання, досліджувані матеріали, зразки та методики проведення випробувань аналогічні описаним у лабораторній роботі №2.1.

Обробка результатів вимірювань:

1. Значення функцій повзучості $I(t, T)$ обчислені при кожному значенні часу та температури (**табл. 2.1.3**) і усереднені. При цьому враховані тільки ті значення I , які одержані при напруженнях $\sigma_K \leq \sigma_L$.

Усі значення часу спостережень переведені в секунди і прологарифмовані.

Результати випробувань та розрахунків занесені до **табл.2.2.1**.

Таблиця 2.2.1. Усереднені значення функції повзучості (податливість) матеріалу $I \cdot 10^4$ (МПа⁻¹) при випробуваннях на повзучість при дії різних температур.

Час	ln t	Температура				
		T ₀ =20 ⁰ C	T ₁ =30 ⁰ C	T ₂ =40 ⁰ C	T ₃ =50 ⁰ C	T ₄ =60 ⁰ C

2. Визначення температурної функції зсуву.

На **рис. 2.2.1** наведені криві повзучості у напівлогарифмічних координатах $I(t) - \ln t$. За температуру зведення прийнято $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

Виміряні, як показано на **рис. 2.2.1**, середні відстані по горизонталі між кривими, що побудовані для температур T_1, T_2, T_3, T_4 , та кривою для температури T_0 .

При цьому одержані чотири значення логарифмів температурної функції зсуву (значення вказані на **рис. 2.2.1**).

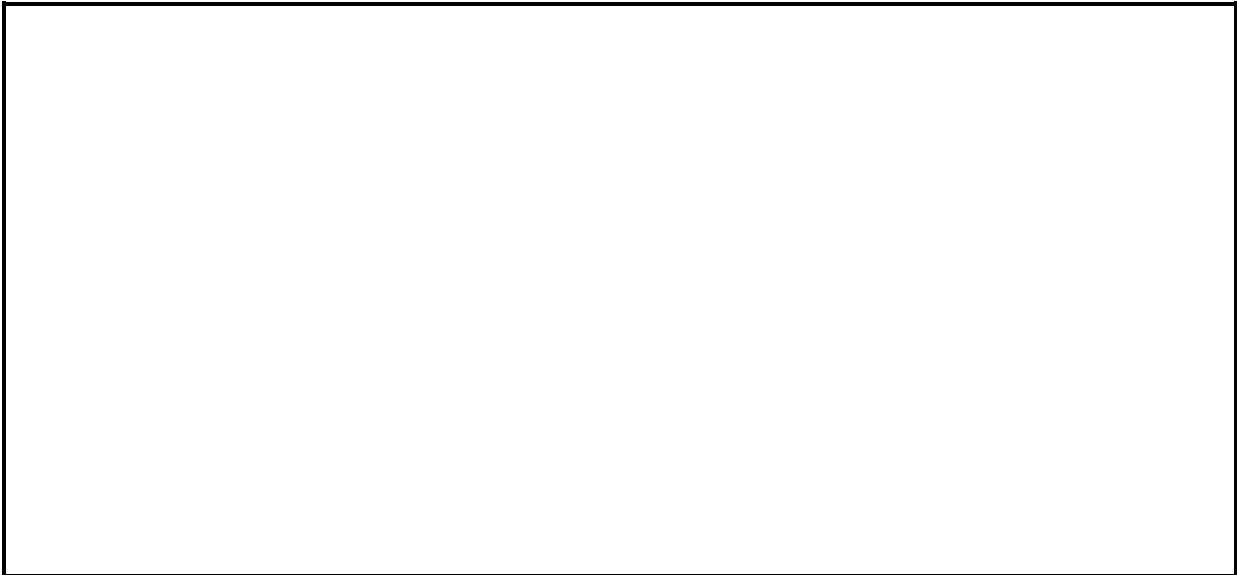


Рис. 2.2.1. Криві повзучості у напівлогарифмічних координатах та визначені логарифми температурної функції зсуву a_T .

3. За цими даними побудований графік залежності $\ln a_T$ від температури.

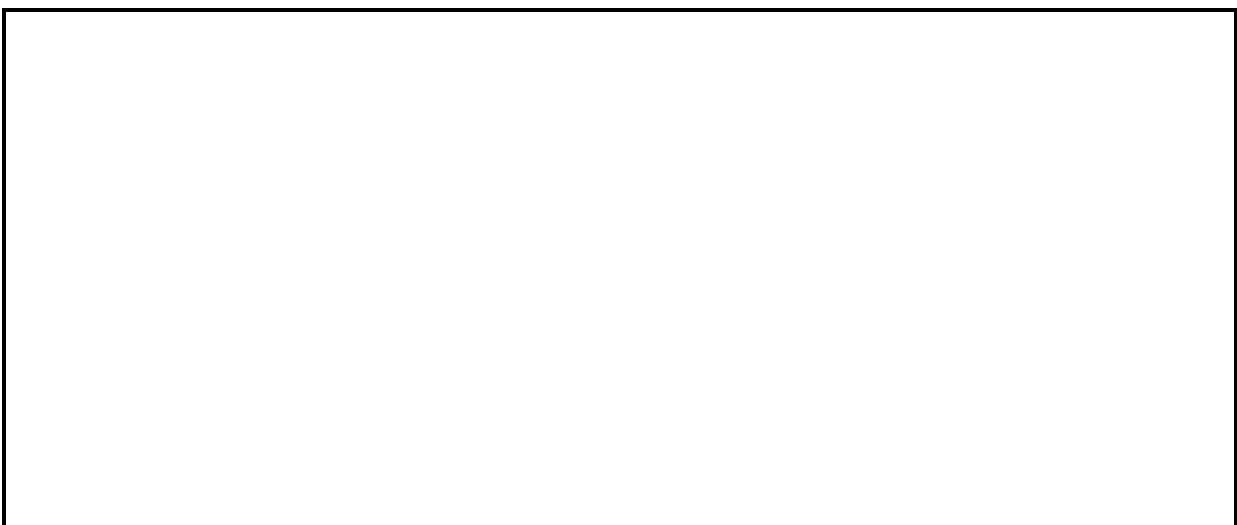


Рис. 2.2.2. Залежності логарифму функції a_T від температури.

4. Розрахунок коефіцієнтів рівняння Вільямса-Ландела-Феррі (ВЛФ)

$$\ln a_T = \frac{a(T - T_0)}{b + (T - T_0)}$$

Для двох значень температур (40°C та 60°C) отримуємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \ln a_T |_{T=40^\circ\text{C}} &= \frac{a(40 - 20)}{b + (40 - 20)} = \text{_____} \\ \ln a_T |_{T=60^\circ\text{C}} &= \frac{a(60 - 20)}{b + (60 - 20)} = \text{_____} \end{aligned} \right\}$$

Розв'язавши її, визначаємо значення коефіцієнтів $a = \text{_____}$; $b = \text{_____}^\circ\text{C}$.

5. Побудова узагальненої кривої повзучості.

Узагальнена крива повзучості (рис.2.2.3) побудована шляхом зміщення по горизонталі точок кривих повзучості для підвищених температур до кривої, що відповідає температурі T_0 .

Величини зсуву обчислені за формулою

$$\ln t |_{T=T_0} - \ln t |_{T=T_j} = \frac{a(T_j - T_0)}{b + (T_j - T_0)}, (j = 1, 2, 3)$$



Рис. 2.2.3. Узагальнена крива повзучості матеріалу _____.

Протокол проведення лабораторної роботи № 2.3

Визначення коефіцієнтів рівняння повзучості за узагальненою моделлю Кельвіна-Фойгта

Мета роботи:

- одержати експериментальну криву повзучості при кімнатній температурі;
- розрахувати коефіцієнти рівняння повзучості, використовуючи моделі з різним числом елементів;
- оцінити точність апроксимації порівняно з експериментальними результатами.

Прилади та обладнання, досліджувані матеріали, зразки, методика проведення випробувань та обробка результатів аналогічні описаним у лабораторній роботі № 2.1.

Експериментальна залежність $I = I(t) = \varepsilon(t)/\sigma_K$, отримана при постійному напруженні $\sigma = \sigma_K$ та температурі $T = (20 \pm 3)^\circ\text{C}$, описана рівнянням, що відповідає узагальненій моделі Кельвіна-Фойгта

$$I(t) = I_0 + \sum_{i=1}^n I_i [1 - \exp(-t/\tau_i)], \quad (2.3.1)$$

де $I_0, I_1, \dots, I_i, \dots, I_n$; $\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_n$ – коефіцієнти, які знайдені за такою методикою:

1. Визначення коефіцієнтів рівняння повзучості при $n = 1$.

Для моделі Кельвіна-Фойгта (**рис. 2.3а**), яка складається з одного пружного та одного в'язкого елементів при $n = 1$

$$\begin{aligned} I(t) &= I_0 + I_1 [1 - \exp(-t/\tau_1)] \\ \text{або } I(t) &= I_0 + I_\infty [1 - \exp(-t/\tau_1)]. \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

Для часу $t = \tau_1$ з (2.3.2) маємо:

$$I|_{t=\tau_1} = I_0 + I_\infty [1 - e^{-1}] = I_0 + 0,632 \cdot I_\infty.$$

З урахуванням цієї умови коефіцієнти I_0, I_∞ та τ_1 визначено графічно за кривою повзучості (**рис. 2.3а**).

Коефіцієнт I_0 відповідає пружній деформації при $t = 0$. Коефіцієнт I_∞ - це відстань від точки перетину кривої повзучості з віссю ординат при $t = 0$ до асимптоти кривої повзучості. Схема графічного визначення τ_1 зрозуміла з **рис. 2.3а**.

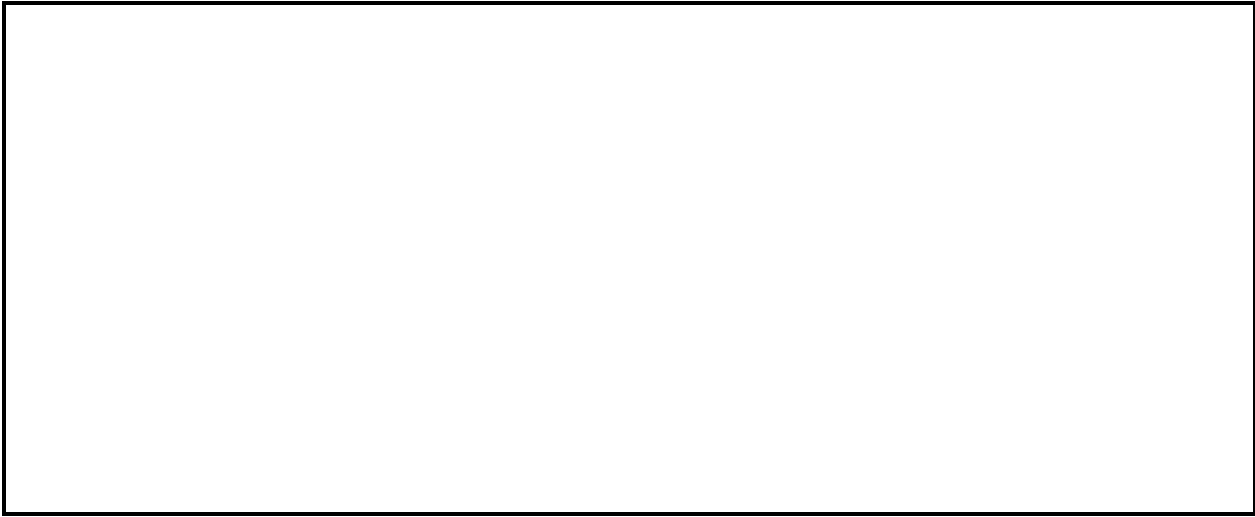


Рис. 2.3а. Схеми визначення коефіцієнтів рівняння повзучості, що відповідає узагальненій моделі Кельвіна-Фойгта, при $n = 1$.

2. Визначення коефіцієнтів рівняння повзучості при $n \neq 1$.

У цьому випадку прийнято два припущення:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_i = \dots = I_n \quad (2.3.3)$$

$$\text{та } \tau_1 \ll \tau_2 \ll \dots \ll \tau_i \ll \dots \ll \tau_n \quad (2.3.4)$$

Приведемо (2.3.1) до більш зручного вигляду:

$$I(t) = I_0 + \frac{I_\infty}{n} \left[n - \sum_{i=1}^n \exp(-t/\tau_i) \right], \quad (2.3.5)$$

При цьому враховано припущення (2.3.3), тобто

$$\sum_{i=1}^n I_i [1 - \exp(-t/\tau_i)] = I_i \sum_{i=1}^n [1 - \exp(-t/\tau_i)] = \frac{I_\infty}{n} \left[n - \sum_{i=1}^n \exp(-t/\tau_i) \right].$$

При $n = 2$ $I_1 = I_2 = I_\infty/2.$

В цьому випадку з (2.3.5) з урахуванням припущення (2.3.4) слідує:

$$\left. \begin{aligned} I|_{t=\tau_1} &= I_0 + 0,317 \cdot I_\infty, \\ I|_{t=\tau_2} &= I_0 + 0,816 \cdot I_\infty. \end{aligned} \right\}$$

При виведенні цих співвідношень враховано, що:

$$\exp\left(-\frac{\tau_i}{\tau_{i+1}}\right) \approx 1, \text{ а } \exp\left(-\frac{\tau_i}{\tau_{i-1}}\right) \approx 0.$$

Схема графічного визначення τ_1 та τ_2 показана на **рис. 2.3б**

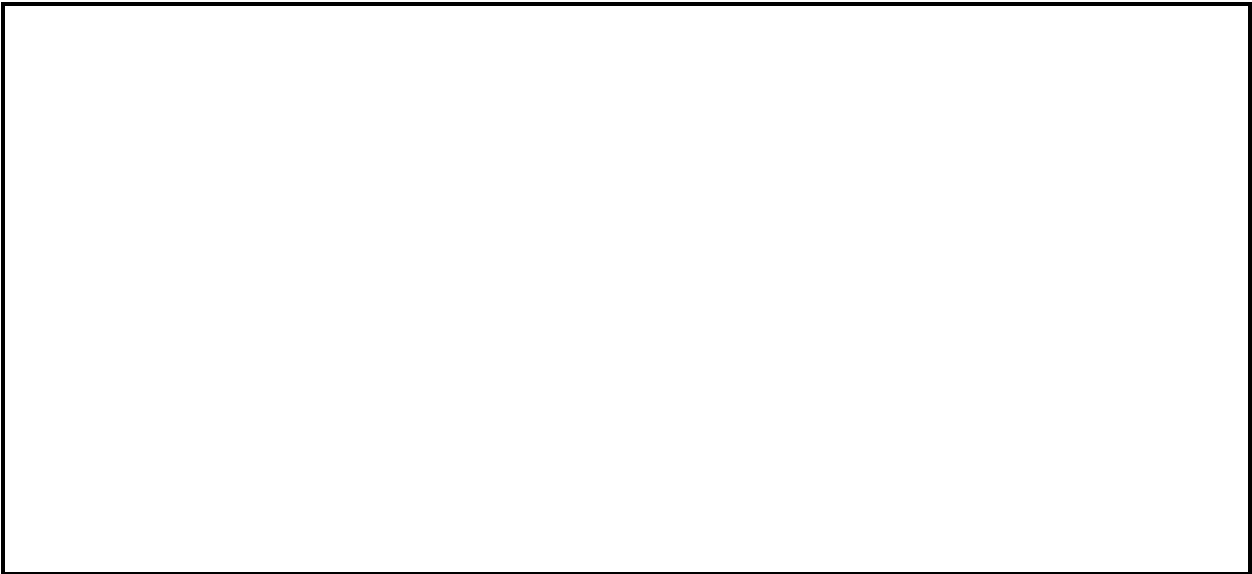


Рис.2.3б. Схеми визначення коефіцієнтів рівняння повзучості, що відповідає узагальненій моделі Кельвіна-Фойгта, **при $n = 2$** .

При $n = 3$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_\infty/3,$$

$$\left. \begin{aligned} I|_{t=\tau_1} &= I_0 + 0,211 \cdot I_\infty, \\ I|_{t=\tau_2} &= I_0 + 0,544 \cdot I_\infty, \\ I|_{t=\tau_3} &= I_0 + 0,877 \cdot I_\infty. \end{aligned} \right\} \dots$$

Схема графічного визначення τ_1 , τ_2 та τ_3 показана на **рис. 2.3в.**

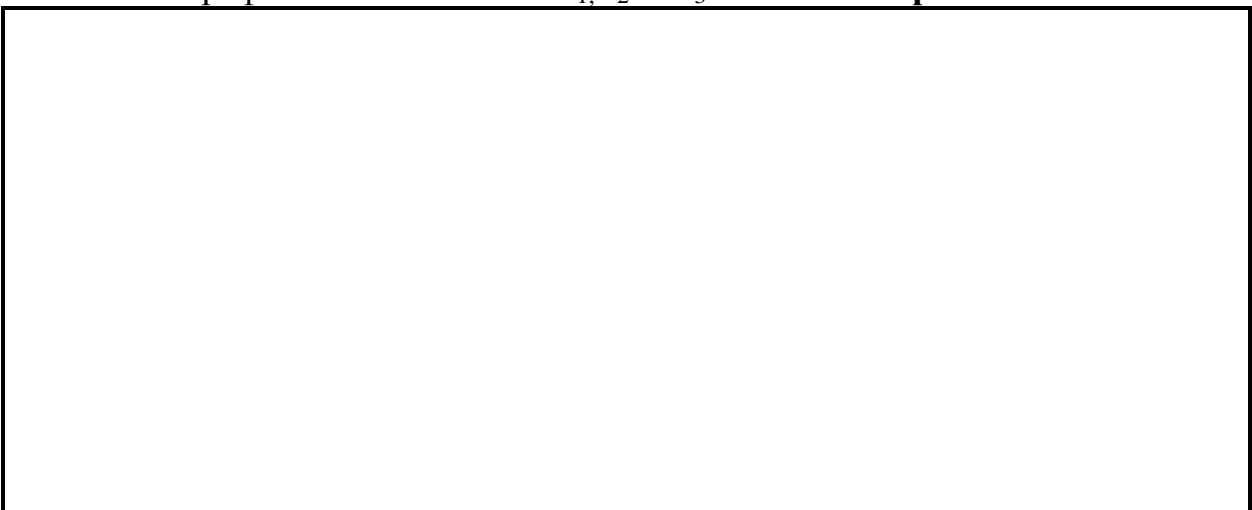


Рис.2.3в. Схеми визначення коефіцієнтів рівняння повзучості, що відповідає узагальненій моделі Кельвіна-Фойгта, **при $n = 3$** .

Отримані значення коефіцієнтів рівняння повзучості занесені до **табл. 2.3(1)**, а в **табл. 2.3(2)** наведене порівняння експериментальних даних з результатами апроксимації.

Таблиця 2.3(1). Значення коефіцієнтів рівняння повзучості (2.3.1) для моделей Кельвіна-Фойгта з різною кількістю елементів.

Кількість елементів n	Коефіцієнти $I_i \cdot 10^{-4}$, МПа ⁻¹					Коефіцієнти τ_i , год		
	I_0	I_∞	I_1	I_2	I_3	τ_1	τ_2	τ_3
1								
2								
3								

Таблиця 2.3(2). Порівняння експериментальних ($I_e 10^4$, МПа⁻¹) та розрахункових ($I_p 10^4$, МПа⁻¹) даних для моделей з одним, двома та трьома елементами ($\Delta = \frac{I_p - I_e}{I_e} \cdot 100\%$ - відносна похибка).

Час t	I_e	n = 1		n = 2		n = 3	
		I_p	Δ , %	I_p	Δ , %	I_p	Δ , %
5 с (0,00139 год)							
6 год							
24 год							
7 діб (168 год)							
1 міс (730 год)							
3 міс (2190 год)							
6 міс (4380 год)							
12 міс (8760 год)							
$\Delta_{cp} = \frac{\sum \Delta_i }{k} \quad (i = 1 \dots k)$							

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 2.4

Розрахунок параметрів інтегральних рівнянь в'язкопружності.

Мета роботи:

- одержати експериментальну криву повзучості при кімнатній температурі;
- визначити параметри ядра інтегрального рівняння повзучості;
- оцінити точність апроксимації порівняно з експериментальними результатами.

Прилади та обладнання, досліджувані матеріали, зразки, методика проведення випробувань та обробка результатів аналогічні описаним у лабораторній роботі № 2.1.

Визначення модулів пружності та параметрів функції впливу.

Для визначення модулів та функції впливу використані графіки, які наведені у підручнику М.А.Колтунова "Ползучесть и релаксация" – М: Высшая школа, 1976.

Модуль пружності та коефіцієнти ядра повзучості визначали шляхом суміщення експериментальних кривих податливості та теоретичних кривих побудованих у логарифмічних координатах.

Методика суміщення кривих податливості наведена у навчальному виданні "Практикум з лабораторних робіт з дисципліни "Нові матеріали". Частина II".

Схема визначення коефіцієнтів рівняння повзучості зображена на **рис.2.4.**

Результати розрахунків: _____

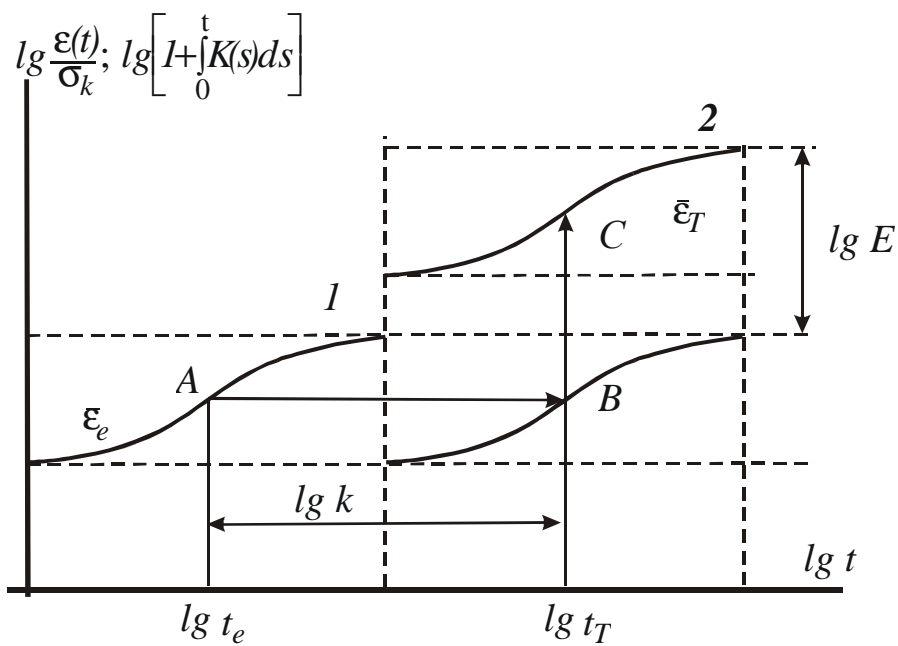


Рис 2.4. Схема визначення параметрів ядра рівняння повзучості.

Розходження експериментальних даних та результатів апроксимації:

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 2.5

Побудова кривих релаксації напружень. Розрахунок коефіцієнтів рівняння релаксації за узагальненою моделлю Максвелла.

Мета роботи:

- експериментально одержати криву релаксації напружень при одновісному деформуванні зразка з в'язкопружного матеріалу;
- розрахувати коефіцієнти рівняння релаксації напружень, що відповідає узагальненій моделі Максвелла;
- оцінити точність апроксимації порівняно з експериментальними даними.

Прилади та обладнання:

1. Випробувальна машина TIRATEST-2151;
2. Штангенциркуль ціною поділки 0.05 мм.

Досліджуваний матеріал: _____

Зразки (тип та розміри):

Методика проведення випробувань:

Перед проведенням дослідів зразки кондиціонували згідно з ГОСТ 12423-66. Підготовлені зразки закріплювали у затискувачах випробувальної машини і швидко розтягували до заданого значення деформації ϵ_K . Записували початкове (максимальне) значення зусилля в зразку. Залишивши зразок у деформованому стані при $\epsilon_K = \text{const}$, записували значення зусиль при таких значеннях часу спостережень: 5 с, 15 с, 30 с, 45 с, 1 хв., 5 хв., 10 хв., 15 хв. і так далі через кожні 5 хв. після початку експерименту.

Результати занесено до **табл. 2.5**. В таблицю записано такі дані:

- напруження $\sigma(t) = P(t)/F_0$;
- модуль релаксації (експериментальні дані) $E(t) = \sigma(t)/\epsilon_K$,
де F_0 - площа поперечного перерізу зразка; $\epsilon_K = \Delta l/l_0$ - задана відносна деформація зразка; Δl - видовження зразка; l_0 - робоча довжина зразка.

В нашому експерименті $\Delta l =$ _____ мм, $l_0 =$ _____ мм, $\epsilon_K =$ _____ відн.од.

Початкове зусилля в зразку при $t = 0$ визначали за діаграмою розтягу, записаною при швидкості деформування такою, як при вимірюванні релаксації напружень. Спосіб запису діаграми деформуванні описано в **лабораторній роботі № 1.1**.

Модуль пружності випробуваного матеріалу має значення _____ МПа.

Таблиця 2.5. Результати вимірювання та розрахунків релаксації напружень в зразку з в'язкопружного матеріалу при одновісній деформації.

Час	Зусилля в зразку $P(t)$, Н	Напруженн я $\sigma(t)$, МПа	Модулі, МПа		Похибка Δ , %
			$E(t)$	$E^p(t)$	

Обробка результатів

Для апроксимації кривої релаксації напружень $\sigma = \sigma(t)$ використане рівняння, яке відповідає узагальненої моделі Максвела

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_K} = \sum_{i=1}^n E_i \exp(-t/\tau_i) \tag{2.5.1}$$

Визначення коефіцієнтів E_i та τ_i (модулі та часи релаксації) здійснювали способом "поетапного виділення експонент" за припущенням, що

$$\tau_i \ll \tau_{i-1} \tag{2.5.2}$$

Процес виділення експонент розділяли на такі етапи:

1. На міліметровому папері побудовано криву релаксації в координатах "ln E(t) - t". Лінійну ділянку кривої "ln E(t) - t" екстраполювали до перетину з віссю ординат (**рис 2.5(1)**, перший крок). Рівняння цієї прямої записували у вигляді

$$\varphi_n(t) = E_n \exp(-t/\tau_n). \quad (2.5.3)$$

Визначали $\ln E_n$ за точкою перетину прямої з віссю ординат, а $E_n = \exp(\ln E_n)$. Час релаксації τ_n знайшли з рівняння

$$\ln E(t_n) = \ln[E_n \exp(-t_n/\tau_n)],$$

де t_n - довільні значення часу в межах лінійної ділянки кривої релаксації, $E(t_n)$ - модуль, що відповідає цьому часу.

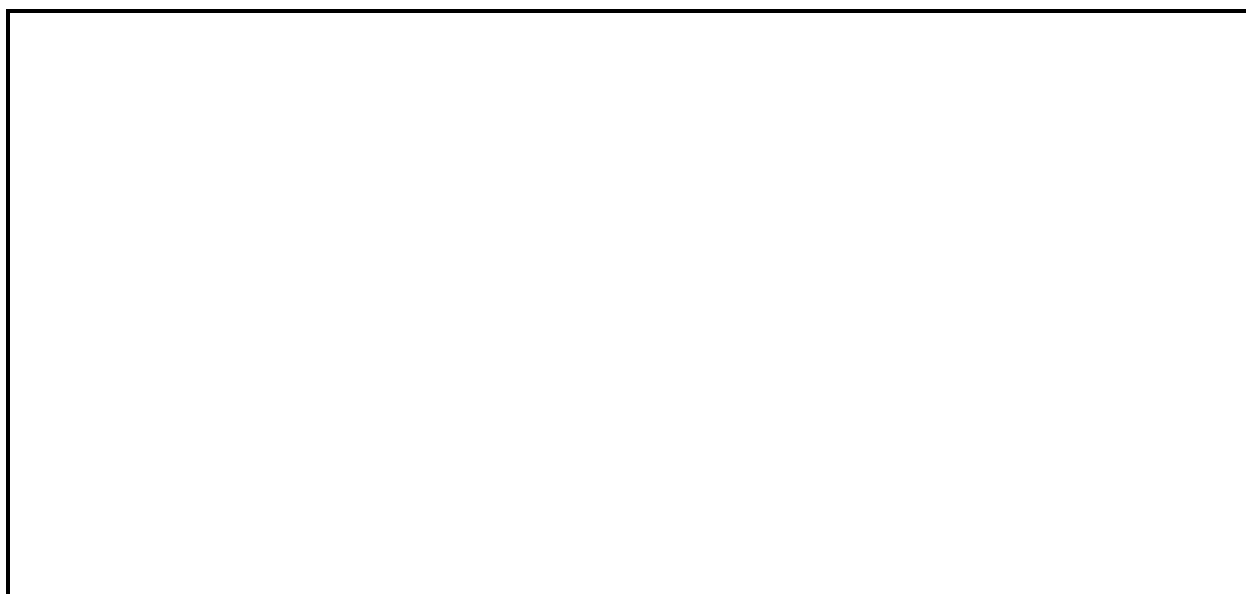


Рис. 2.5(1). Визначення коефіцієнтів E_n та τ_n , що відповідають узагальненій моделі Максвелла (перший крок).

2. Віднімали з $E(t)$ значення $\varphi_n(t)$, розраховані за виразом (2.5.3), і на міліметровому папері побудували залежність $\ln[E(t) - \varphi_n(t)]$ від часу (**рис. 2.5(2)**, другий крок). Екстраполювали лінійну ділянку до перетину з віссю ординат і записали рівняння цієї прямої

$$\varphi_{n-1}(t) = E_{n-1} \exp(-t/\tau_{n-1}). \quad (2.5.4)$$

Модуль $E(t_{n-1})$ визначали за точкою перетину прямої з віссю ординат. Час релаксації τ_{n-1} визначали з рівняння

$$\ln E(t_{n-1}) = \ln[E_{n-1} \exp(-t_{n-1}/\tau_{n-1})].$$

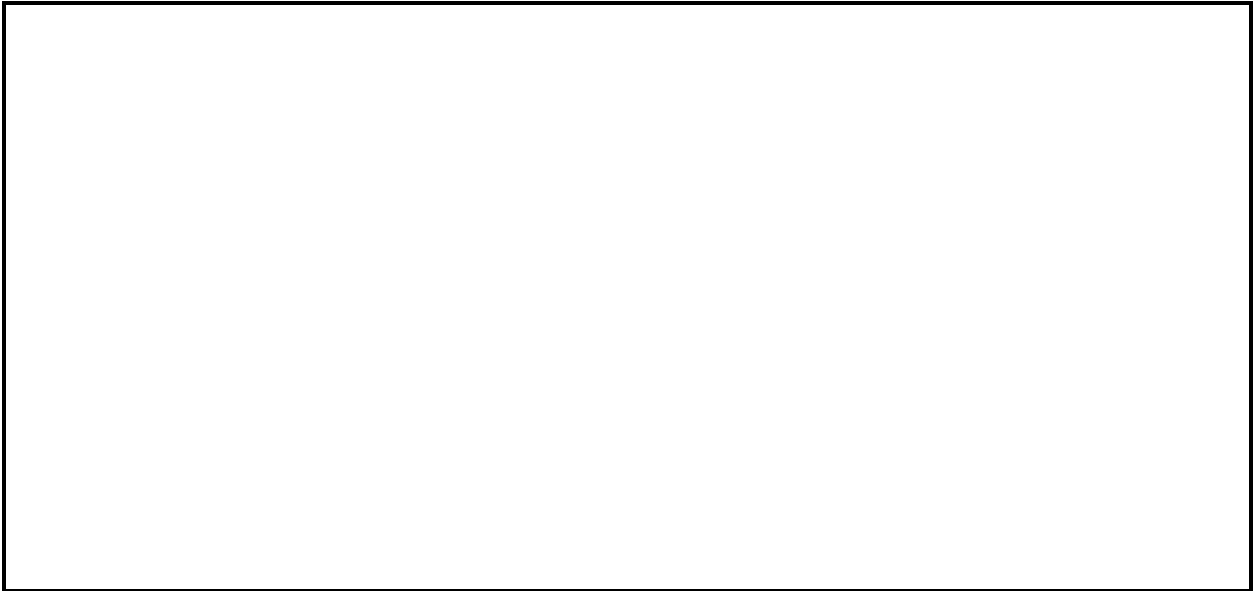


Рис. 2.5(2). Визначення коефіцієнтів E_{n-1} та τ_{n-1} , що відповідають узагальненій моделі Максвелла (другий крок).

3. Побудували залежність $\ln[E(t) - \varphi_n(t) - \varphi_{n-1}(t)]$ від часу (**рис. 2.5(3)**, третій крок) і процес повторили.

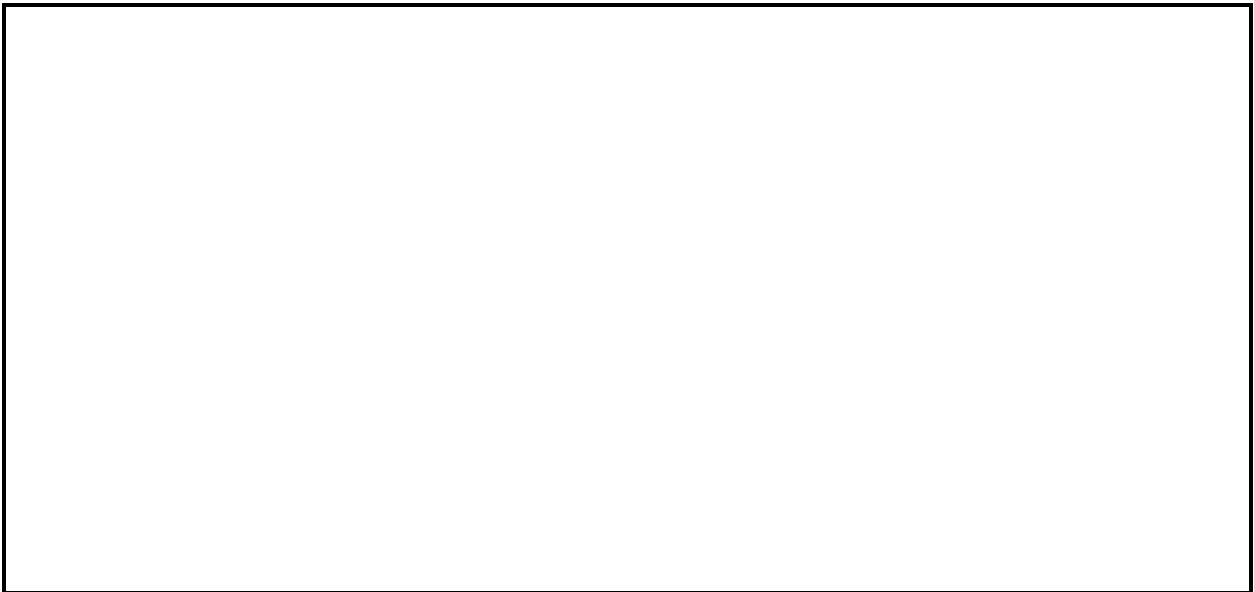


Рис. 2.5(3). Визначення коефіцієнтів E_{n-2} та τ_{n-2} , що відповідають узагальненій моделі Максвелла (третій крок).

4. Обчислення припинено на 4-му кроці, коли залежність $\ln[E(t) - \varphi_n(t) - \varphi_{n-1}(t) - \varphi_{n-2}(t)]$ від часу уклалася на пряму лінію (рис. 2.5(4), четвертий крок).

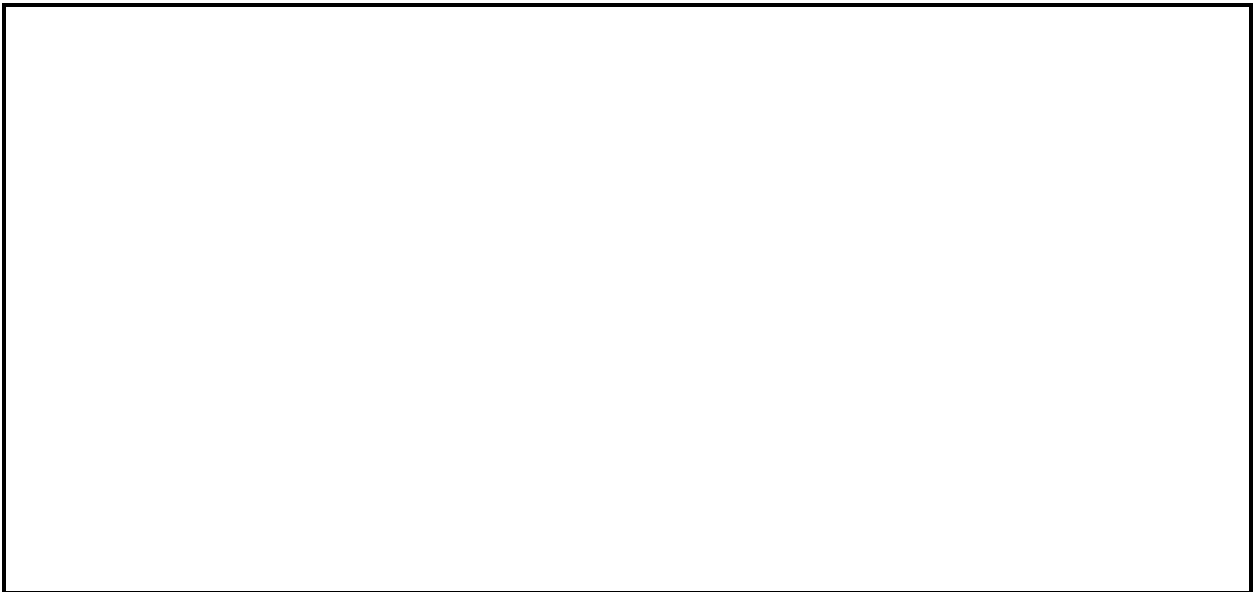


Рис. 2.5(4). Визначення коефіцієнтів E_{n-3} та τ_{n-3} , що відповідають узагальненій моделі Максвелла (четвертий крок).

Таким чином,

на першому кроці

$\ln E_n = \underline{\hspace{2cm}}$, $E_n = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа, $\tau_n = \underline{\hspace{2cm}}$,
 τ_n знайдено з рівняння $\underline{\hspace{4cm}}$;

на другому кроці

$\ln E_{n-1} = \underline{\hspace{2cm}}$, $E_{n-1} = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа, $\tau_{n-1} = \underline{\hspace{2cm}}$,
 τ_{n-1} знайдено з рівняння $\underline{\hspace{4cm}}$;

на третьому кроці

$\ln E_{n-2} = \underline{\hspace{2cm}}$, $E_{n-2} = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа, $\tau_{n-2} = \underline{\hspace{2cm}}$,
 τ_{n-2} знайдено з рівняння $\underline{\hspace{4cm}}$;

на четвертому кроці

$\ln E_{n-3} = \underline{\hspace{2cm}}$, $E_{n-3} = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа, $\tau_{n-3} = \underline{\hspace{2cm}}$,
 τ_{n-3} знайдено з рівняння $\underline{\hspace{4cm}}$.

Кінцеве рівняння, що відповідає узагальненій моделі Максвела, для випробуваного матеріалу має вигляд

$$E^P(t) = \text{_____} \cdot \exp(-t/\text{_____}) + \text{_____} \cdot \exp(-t/\text{_____}) + \\ + \text{_____} \cdot \exp(-t/\text{_____}) + \text{_____} \cdot \exp(-t/\text{_____}).$$

У цьому рівнянні модулі - в МПа, час - в хвилинах.

За цією формулою обчислені значення $E^P(t)$ (розрахункові значення), які занесені до **табл. 2.5**.

Після цього точність апроксимації оцінена за відносними похибками

$$\Delta = \frac{|E - E^P|}{E} \cdot 100\%$$

для кожного часу спостережень

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 3.1

Визначення динамічних характеристик полімерного матеріалу.

Мета роботи:

- навчитися користуватись обладнанням для вимірювання динамічних характеристик матеріалів;
- визначити модулі пружності та характеристики розсіяння енергії при коливаннях.

Прилади та обладнання:

- 1) Електромагнітний вібратор для утворення згинальних коливань консольно затиснутих зразків.
- 2) Частотомір ЧЗ – 33.
- 3) Генератор синусоїдальних коливань ГЗ-18.
- 4) Аналітичні ваги АДВ-200М.
- 5) Штангенциркуль з ціною поділки 0,05 мм.

Досліджуваний матеріал: _____

Зразок - брусок прямокутного поперечного перерізу:

- загальна довжина $L = \text{_____ мм};$
- площа поперечного перерізу $F_0 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____ мм}^2.$

Методика проведення випробувань:

1. За допомогою аналітичних ваг визначили загальну масу зразка:

$$m = \text{_____ г.}$$

Визначили густину матеріалу:

$$\rho = m / (L \times F_0) = \text{_____} / (\text{_____} \times \text{_____}) = \text{_____ г/см}^3.$$

2. Закріпили зразок у затискувач вібратора і встановили резонансну частоту ν_r (за максимумом амплітуди коливань), яку виміряли частотоміром.

3. Виміряли ширину резонансної кривої $\Delta\nu_r$, зменшуючи амплітуду коливань на 30% від максимальної. Для цього зменшували та збільшували частоти коливань порівняно з резонансною частотою по обидві сторони резонансної кривої.

Результати занесені до таблиці 3.1

Таблиця 3.1. Результат вимірів та розрахунків динамічних характеристик зразків

№	L _p , мм	h , мм	v _r , Гц	Δv _r , Гц	E ₁ , МПа	E ₂ , МПа	η, МПа·с	tgδ, %
1								
2								
3								
Середні значення								

Обробка результатів:

1. Динамічний модуль пружності (МПа)

$$E_1 = 38,3 \frac{\rho \cdot L_p^4}{h^2} \left[v_r^2 + \frac{1}{8} (\Delta v_r)^2 \right] \cdot 10^{-9},$$

де густина ρ вимірюється в г/см³,

висота (товщина) зразка h - в мм;

робоча довжина зразка (довжина "вильоту" консолі) L_p - в мм;

частоти v_r і Δv_r - в Гц.

2. Модуль втрат або модуль розсіювання (МПа)

$$E_2 = 38,3 \frac{\rho \cdot L_p^4}{h^2} \cdot v_r \cdot \Delta v_r \cdot 10^{-9}$$

3. Коефіцієнт динамічної в'язкості (МПа·с)

$$\eta = \frac{E_1}{2\pi v_r},$$

4. Тангенс кута механічних втрат:

$$\text{tg}\delta = \frac{E_2}{E_1} \cdot 100\% .$$

Висновки: _____

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 3.2
Визначення динамічного модуля пружності
пластмас різних класів.

Мета роботи: виміряти модулі пружності пластмас динамічним методом і порівняти отримані значення.

Прилади та обладнання аналогічні описаним в протоколі виконання лабораторної роботи № 3.1.

Досліджуваний матеріал № 1: _____

Зразок - брусок прямокутного поперечного перерізу:

- загальна довжина $L = \text{_____ мм};$
- площа поперечного перерізу $F_0 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____ мм}^2;$
- маса зразка $m = \text{_____ г};$
- густина матеріалу
 $\rho = m / (L \times F_0) = \text{_____} / (\text{_____} \times \text{_____}) = \text{_____ г/см}^3.$

Досліджуваний матеріал № 2: _____

Зразок - брусок прямокутного поперечного перерізу:

- загальна довжина $L = \text{_____ мм};$
- площа поперечного перерізу $F_0 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____ мм}^2;$
- маса зразка $m = \text{_____ г};$
- густина матеріалу
 $\rho = m / (L \times F_0) = \text{_____} / (\text{_____} \times \text{_____}) = \text{_____ г/см}^3.$

Досліджуваний матеріал № 3: _____

Зразок - брусок прямокутного поперечного перерізу:

- загальна довжина $L = \text{_____ мм};$
- площа поперечного перерізу $F_0 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____ мм}^2;$
- маса зразка $m = \text{_____ г};$
- густина матеріалу
 $\rho = m / (L \times F_0) = \text{_____} / (\text{_____} \times \text{_____}) = \text{_____ г/см}^3.$

Методика проведення випробувань аналогічна описаній у протоколі лабораторної роботи № 3.1.

Значення вимірної резонансних частот ν_r та динамічних модулів пружності E_1 (розраховані за формулою з протоколу проведення лабораторної роботи № 3.1) наведені в **таблиці 3.2**.

Величиною $\Delta\nu_r$ нехтували, оскільки $\frac{1}{8}(\Delta\nu_r)^2 \ll \nu_r^2$.

Табл. 3.2(1). Результат вимірів та розрахунків динамічних модулів.

Матеріал	L_p , мм	h , мм	ν_r , Гц	E_1 , МПа
1.				
2.				
3.				

Висновки:

Випробування виконані _____ 200__ р.

Протокол проведення лабораторної роботи № 3.3

Вивчення впливу температури на динамічні характеристики пластмас.

Мета роботи:

- навчитись визначати динамічні характеристики матеріалів при різних температурах;
- знайти залежність динамічного модуля пружності пластмаси від температури.

Прилади та обладнання аналогічні описаним в протоколі виконання лабораторної роботи № 3.1.

Рухомий захват разом зі зразком розміщені в температурній камері, яку обладнано нагрівачем, термометром та джерелом живлення нагрівача. Точність вимірювання температури $\pm 0.5^\circ\text{C}$.

Досліджуваний матеріал : _____

Зразок - брусок прямокутного поперечного перерізу:

- загальна довжина $L = \text{_____ мм};$
- площа поперечного перерізу $F_0 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____ мм}^2;$
- маса зразка $m = \text{_____ г};$
- густина матеріалу
 $\rho = m / (L \times F_0) = \text{_____} / (\text{_____} \times \text{_____}) = \text{_____ г/см}^3.$

Методика проведення випробувань аналогічна описаній у протоколі лабораторної роботи № 3.1.

Після витримки зразка при заданій температурі вимірювали його резонансну частоту поперечних коливань ν_r .

Перший дослід проводили при кімнатній температурі (в нашому випадку $T = \text{_____}^\circ\text{C}$). Далі – від $\text{_____}^\circ\text{C}$ до $\text{_____}^\circ\text{C}$ через кожні $\text{_____}^\circ\text{C}$.

Результати вимірів та розрахунків (E_1 визначали за формулою з лабораторної роботи № 3.1) занесли в **табл. 3.3**.

За даними експериментального дослідження на **рис.3.3** зображено температурну залежність динамічного модуля пружності матеріалу.

Табл. 3.3. Залежність динамічних характеристик _____ від температури.

T, °C										
ν_r , Гц										
E_1 , МПа										

T, °C										
ν_r , Гц										
E_1 , МПа										

T, °C										
ν_r , Гц										
E_1 , МПа										



Рис. 3.3. Температурна залежність динамічного модуля пружності _____.

Висновки по роботі:

Випробування виконані _____ 200__ р.

З М І С Т

Загальні положення	3
Правила техніки безпеки при проведенні лабораторних робіт	4
Протокол проведення лабораторної роботи № 1.1. Випробування матеріалів на розтяг. Побудова та обробка діаграм деформування. Статистична обробка результатів випробування	6
Протокол проведення лабораторної роботи № 1.2. Випробування матеріалів при стиску	10
Протокол проведення лабораторної роботи № 1.3. Випробування матеріалів при згині	12
Протокол проведення лабораторної роботи № 1.4. Дослідження впливу структури полімеру та наповнювача на міцносні та деформаційні характеристики матеріалів	14
Протокол проведення лабораторної роботи № 1.5. Дослідження впливу температури та швидкості навантаження на механічні властивості аморфних та кристалічних полімерів	16
Протокол проведення лабораторної роботи № 1.6. Визначення пружних та міцносних характеристик ортотропних матеріалів	20
Протокол проведення лабораторної роботи № 2.1. Побудова кривих повзучості. Визначення областей лінійності в'язкопружних властивостей матеріалів при різних температурах	24
Протокол проведення лабораторної роботи № 2.2. Експериментальне визначення коефіцієнтів рівнянь температурно-часової аналогії. Побудова узагальнених кривих повзучості	30
Протокол проведення лабораторної роботи № 2.3. Визначення коефіцієнтів рівняння повзучості за узагальненою моделлю Кельвіна-Фойгта	34
Протокол проведення лабораторної роботи № 2.4. Розрахунок параметрів інтегральних рівнянь в'язкопружності	38

Протокол проведення лабораторної роботи № 2.5. Побудова кривих релаксації напружень. Розрахунок коефіцієнтів рівняння релаксації за узагальненою моделлю Максвела	40
Протокол проведення лабораторної роботи № 3.1. Визначення динамічних характеристик полімерного матеріалу	46
Протокол проведення лабораторної роботи № 3.2. Визначення динамічного модуля пружності пластмас різних класів	48
Протокол проведення лабораторної роботи № 3.3. Вивчення впливу температури на динамічні характеристики пластмас	50

Укладач

Шидловський Микола Сергійович

Комп'ютерна верстка

Шидловський М.М.
Круш В.В.