

АНОТАЦІЯ

Магістерську роботу присвячено актуальній проблемі – розробці методів оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості.

За результатами проведених досліджень: розроблено математичні моделі для прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних та інших матеріалів легкої промисловості; розроблено метод і задіяно випробувальні установки для комплексного дослідження та оцінювання фізико-механічних властивостей текстильних та шкіряних матеріалів; встановлено взаємозалежності між фізико-механічними властивостями текстильних та шкіряних матеріалів легкої промисловості.

Ключові слова: фізико-механічні властивості, текстильні та шкіряні матеріали легкої промисловості.

SUMMARY

The thesis is devoted to the actual problem - the development of methods to assess the physical and mechanical properties of materials light industry.

Scientifically substantiated the relationship between physical and mechanical properties of textiles and leather materials light industry.

Mathematical models were developed to predict the physical and mechanical properties of textile materials and other light industry. The methods and test facilities for a comprehensive study and evaluation of physical and mechanical properties of textile, film and leather materials. Established relationship between the physical and mechanical properties of textiles, film and leather materials light industry. Results of the thesis have been tested and implemented in terms of production of uniforms for beauty salons and in the educational process.

Keywords: physical and mechanical properties, textile and leather materials light industry.

ЗМІСТ

	стор.
ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ.....	
АНОТАЦІЯ.....	
ЗМІСТ.....	
ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	
1.1. Аналіз існуючих методів дослідження фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів	
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОПРУЖНИХ АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	
2.1. Теоретичний аналіз співвідношення між групами функцій в'язкопружності.....	
2.1.1. Співвідношення між функцією повзучості і функцією релаксації	
2.1.2. Співвідношення між функцією швидкості навантаження і функцією швидкості деформування	
2.2. Побудова співвідношень між спектрами часу релаксації та запізнювання та рівнями функції в'язкопружності	
2.3. Співвідношення між спектрами часу релаксації та запізнювання...	
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	
РОЗДІЛ 3. Розробка комплексного методу дослідження в'язкопружних анізотропних властивостей текстильних матеріалів....	
3.1. Установка для дослідження динамічних властивостей методом резонансних згинальних коливань.....	

3.2. Установа для випробування на розтяг.....	
3.3. Дослідна установка для визначення повзучості і тривалої міцності.....	
3.4. Установка для акустичних досліджень.....	
3.5. Установка і методика дослідження структури.....	
3.6. Випробувальна установка для визначення в'язкопружних характеристик текстильних матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань.....	
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	
ЗАГАЛЬНІ ВИСКОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку промисловості характеризуються розширенням асортименту продукції у відповідності до швидкоплинності зростання потреб споживачів, підвищення вимог до точності та достовірності методів оцінювання фізико-механічних характеристик широкого кола текстильних, плівкових та шкіряних матеріалів для забезпечення їх конкурентоспроможності на світовому ринку. Це обумовлено необхідністю вдосконалення існуючих та створення нових методів оцінювання властивостей матеріалів легкої промисловості як під час технологічного процесу їх виробництва, так і в процесі експлуатації.

Справа в тому, що існуючі методи випробувань в більшості випадків спрямовані на спрощення однокритеріальної задачі оцінювання якісних показників, що обмежує можливість їх застосування для комплексної оцінки. Для отримання достовірних багатокритеріальних оцінок необхідно мати такі методи, які б дозволили отримати комплексні характеристики фізико-механічних властивостей матеріалів в широкому температурно-часовому діапазоні.

В процесі виготовлення кінцевого виробу матеріали витримують ряд процесів обробки, важливішими з яких є: гіротермічні операції в текстильній промисловості, волого-теплова обробка у швейній промисловості, сушіння та формоутворюючий волого-тепловий вплив, хімічна чистка і т.п. Окрім того, в процесі експлуатації вироби зазнають впливу атмосферних чинників, які у зв'язку із специфікою будови матеріалів легкої промисловості призводять до зміни їхніх структурних і фізико-механічних параметрів. Отже, в цілому, якість виробів визначається технологічними операціями, що застосовуються, а також спроможністю виробів зберігати свої властивості під час експлуатації.

Таким чином, проведення теоретичних та експериментальних досліджень, які спрямовані на забезпечення достовірного

багатокритеріального оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості на стадіях проектування, виготовлення та експлуатації є актуальною науковою прикладною задачею.

Мета дослідження полягає в розвитку комплексного методу оцінювання фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів.

Для досягнення мети треба розв'язати такі **задачі дослідження**:

1. Зробити аналіз існуючих методів оцінювання фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів
2. Дослідити пружно-спадкові властивості текстильних матеріалів в широкому температурно-часовому діапазоні.
3. Розширити діапазон контролю фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості.
4. Розробити методи і випробувальні установки для комплексного дослідження фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості.

Предмет дослідження – методи забезпечення багатоконпонентного оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості.

Методи дослідження – теоретичні дослідження базуються на принципах системного аналізу існуючих методів визначення властивостей матеріалів, що дозволяє створити концептуальні моделі оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості. Перевірка адекватності розроблених методів здійснювалась шляхом експериментальних досліджень з використанням програмного забезпечення системи математичного моделювання MathCAD 14. Обробку експериментальних даних, що приведені в роботі у вигляді таблиць та графіків проводили із застосуванням прикладних програм Microsoft Office Excel 2003 (11.6560.6568)SP2 № 74017-641-04715113-57903.

Новизна результатів магістерської роботи полягає в тому, що удосконалено випробувальні установки та розроблено метод для

комплексного дослідження фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів.

Практичне значення роботи – проведено дослідження, які дали можливість визначити основні фізико-механічні властивості текстильних матеріалів у широкому температурно-часовому діапазоні.

РОЗДІЛ 1

В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Аналіз існуючих методів дослідження фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів

Дослідження механічних властивостей матеріалів проводяться з використанням великої кількості найрізноманітніших методів вимірювань [2, 6, 8-10, 19, 25]. Особливе місце в цих дослідженнях відводиться текстильним матеріалам. В даний час відсутнє устаткування, що серійно випускається, для визначення всього комплексу фізико-механічних властивостей матеріалів, а тим більше текстильних матеріалів [1, 3-5].

Існуючі ГОСТ та ДСТУ [106-118] на випробування полімерів і пластмас не відображають тих специфічних особливостей, які властиві текстильним матеріалам. При вивченні пружних і спадкових властивостей текстильних матеріалів, разом із загальноприйнятими вимогами [106-113], виникають додаткові умови, що накладаються на методи випробувань. Випробувальне устаткування, яке використовується для жорстких полімерних матеріалів [102-104, 106-113], виявляється непридатним для дослідження тонких текстильних матеріалів зважаючи на велику інерційність системи деформації. Затискні пристрої цих машин не забезпечують надійного кріплення тонких текстильних матеріалів $(0,003 \div 0,4) \cdot 10^{-3}$ м без порушення цілісності поверхневого шару. Незначна товщина зазначених матеріалів не дозволяє встановлювати безпосередньо на зразках пристрої для вимірювання подовжніх і поперечних деформацій, а тому деформацію зразка необхідно вимірювати за переміщенням активного затискача випробувального пристрою або за зміною відстані між реперними точками, нанесеними на поверхню зразка. Крім того, існування так званого «кінцевого ефекту» [63, 114] примушує при дослідженні динамічних властивостей, повзучості,

релаксації напруги, короткочасній і тривалій міцності, в умовах лінійного напруженого стану, використовувати зразки із збільшеною робочою довжиною, що, у свою чергу, накладає певні вимоги до конструкції робочих об'ємів термокріокамер і навантажуючих пристроїв.

При дослідженні повзучості і релаксації напруги найбільшого поширення набули важелеві і блокові схеми навантажуючих пристроїв. У разі схеми важеля [102, 104, 115, 116, 117-119] навантаження на зразок передається важелем, що опускається. Точність передаваного важелем зусилля або деформації залежить від точності виготовлення важеля, що у свою чергу має значення при деформаціях, які не перевищують 0,5 – 1%. При дослідженні великих деформацій (до 10%) важільна схема приводить до зміни форми та геометрії зразка і його внецентрового навантаження.

Застосування блокової схеми навантаження [63, 102, 104, 105, 120, 121] усуває перераховані вище недоліки, але використання гнучкого троса в якості силового елемента ставить в залежність від жорсткості троса точність передаваних зусилля і деформації. Навіть незначне відхилення осі троса від прямолінійності рівнозначне включенню в ланцюг системи навантаження пружинного елемента малої жорсткості, що приводить до великих похибок системи вимірювання деформацій зразка.

На прикладі аналізу трьохканальної системи вимірювання деформації [120] проаналізуємо точність найбільш відомих схем реєстрації деформації при повзучості полімерних плівкових матеріалів [102, 115, 116, 117-120, 121, 122]. Вимірювання деформації зразків за допомогою спірального реохорду від автоматичного потенціометра МСР-1 (1 канал) дає задовільні результати при деформаціях, що перевищують 10-15 %, оскільки роздільна здатність реохордної системи (при діаметрі навантажувального блоку $d = 0,2$ м, діаметрі реохорда $d_0 = 0,1$ м, кроці реохордної спіралі $t = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м, довжині зразка $l_0 = 0,2$ м) складає $\pm 0,4$ % відносної деформації, що складає $\pm 4\%$ похибки при величині відносної деформації $\varepsilon_0 = 10$ % (при рекомендованій

ГОСТ 14236-86 граничній вимірюваній похибки 1%). Із зменшенням величини вимірюваної деформації ця похибка пропорційно зростатиме і при деформації зразка $\varepsilon_0 = 5\%$ складе $\pm 8\%$.

Другий і третій канали вимірювання деформації, хоч і виділені в самостійні, проте, їх принцип дії заснований на єдиному механізмі – вимірювань двома індикаторами годинникового типа ИЧ-10 переміщення дискового балансира. Дисковий баланsir складається з циліндра діаметром 30 мм і завдовжки 90 мм, утримувача індикаторів, що переміщається в направляючій втулці. До нижньої частини циліндра прикріплені диск, на який спираються ніжки індикаторів годинникового типа ИЧ-10. До ніжок індикаторів прикріплені пружні скоби, на які наклеєні тензодатчики. Деформація зразка визначається візуально (II канал), як середнє арифметичне з показників двох індикаторів і за діаграмою самописного приладу (III канал). Гранична деформація, вимірювана II і III каналами складає 5%. Похибка II каналу вимірювання складає $\pm 1,5\%$, а III каналу – $2,5\%$. Як видно з аналізу, тільки II канал дозволяє визначити деформацію зразка з належною точністю, але використання дискового балансира з двома індикаторами знижує чутливість системи вимірювання. Індикатори годинникового типу, маючи різні зусилля стискання поворотної пружини, перекошують дисковий баланsir, приводячи до заклинювання циліндрової частини в направляючій втулці, що незначно позначається на чутливості системи вимірювання на початку досвіду, коли швидкість повзучості велика, але вирішально впливає на чутливість системи вимірювання в період, коли швидкість повзучості носить затухаючий характер.

Описані системи навантаження і реєстрації деформацій [102, 107, 116, 117-124], стосовно тонких текстильних матеріалів, мають ряд істотних недоліків, що обмежують використання їх в якості прототипів випробувальних установок, призначених для дослідження динамічних властивостей, повзучості і релаксації напруги текстильних матеріалів.

Найбільш важливими характеристиками, що визначають експлуатаційні властивості текстильних матеріалів є пружні константи. Визначення пружних констант текстильних матеріалів простіше і точніше проводити динамічними методами [63, 98, 99, 102, 117, 121, 125-149, 151, 152]. Зважаючи на специфічні особливості, а саме малі товщини і жорсткості текстильних матеріалів, важко, а іноді практично неможливо, визначити пружні постійні із статичних випробувань. Існує чітка кореляція між хімічною будовою, структурною, молекулярною рухливістю полімерів і такими характеристиками динамічних випробувань, як компоненти комплексних модулів пружності, швидкість звуку і коефіцієнт загасання [63, 98, 99, 121, 123, 137, 151, 152]. Динамічні методи дозволяють швидко і точно вимірювати динамічний модуль пружності і механічні втрати. Особливістю динамічних неруйнівних випробувань є те, що їх використання не приводить до зміни структури матеріалів і руйнування досліджуваних зразків. У цьому сенсі динамічні неруйнівні методи не можуть бути замінені найнадійнішими статичними методами [63, 98, 102, 121, 125].

Дослідження властивостей текстильних матеріалів шляхом вивчення подовження, напруженнями, що руйнують зразки, завжди пов'язано із зміною внутрішньої структури, а отже, і властивостей вказаних матеріалів внаслідок переорієнтації і інших ефектів, обумовлених великим значенням механічної напруги, що виникає в матеріалі, і відносно великими деформаціями. Все це призводить до неоднозначної інтерпретації експериментальних даних при статичних вимірюваннях, де зазвичай використовуються зразки значних розмірів, які часто піддаються руйнуванню, і потрібна порівняно велика кількість досліджуваного полімерного матеріалу.

Для динамічних досліджень рекомендуються зразки малого розміру, вимірювання проводять з використанням коливань малої амплітуди. Динамічні параметри дають відомості про структуру і властивості, якими дійсно володіє матеріал, і які не змінюються в процесі вимірювань. При цьому на одному і тому ж зразку можна провести вимірювання швидко і точно в

широкому інтервалі температур, не руйнуючи його [98, 102, 121, 137].

Найбільшою роздільною здатністю характеризуються динамічні методи, в яких використовуються коливання частотою 0,2...2000 Гц. Правильний вибір діапазону частот може мати вирішальне значення для успішного вирішення конкретного дослідницького завдання. Серед різних динамічних методів досліджень найбільшого поширення набули резонансні методи, особливо метод резонансних вимушених коливань консольно закріпленого стрижня [63, 102, 109, 126-128, 130, 131, 133-136, 151, 152], розроблений в [126]. Метод полягає у вимірюванні амплітуди коливань вільного кінця в'язкопружного стрижня при зміні частоти збуджуючої сили, що прикладена до іншого, закріпленого кінця. Резонансна частота і ширина резонансної кривої дозволяють визначити динамічний модуль Юнга, тангенс кута механічних втрат і низькочастотну швидкість звуку. Застосування методу згинних резонансних коливань для тонких текстильних матеріалів та волокон [$d_0 = (1...10) \cdot 10^{-2}$] мм, обмежене зважаючи на мале значення згинної жорсткості останніх, що примушує для усунення тертя зразків об повітря проводити випробування у вакуумі. Внаслідок цього, а також геометричного чинника [151, 152], підвищуються похибка і трудомісткість випробувань, особливо у виробничих умовах.

Для визначення модуля зсуву текстильних матеріалів широкого поширення набули динамічні випробування на низьких частотах від 10^{-3} до 25 Гц методом вільно затухаючих і вимушених крутильних коливань [98, 102, 107, 121, 137-149, 151, 152]. Цей метод використовується в широко відомому приладі для вивчення в'язкопружних властивостей полімерів – крутильному маятнику.

Слід зазначити, що цей напрям у вітчизняній літературі за винятком робіт [98, 102, 138, 155] практично не освітлено, тоді як більше 80% всіх динамічних механічних вимірювань полімерних текстильних матеріалів, виконано на приладах такого типу [98, 138, 144, 148]. При цьому слід зазначити, що такі провідні фірми, як “ZWICK”, “INSTRON” випускають на

світовий ринок торсіонні маятники для контролю більше як десяти фізико-механічних і структурних параметрів матеріалів [138, 153, 154], тоді як у нас відсутнє подібне серійне устаткування [103, 104, 150].

Зустрічаються два типи торсіонних маятників – прямі, коли верхній кінець зразка затиснутий нерухомо, а до нижнього прикріплена маса, що коливається [98, 102, 107, 137, 140-142, 151, 152, 155], і зворотні, з нерухомо затиснутим нижнім кінцем зразка і масою, що підвішена на торсіоні (дроті або стрічці) та незалежно коливається [98, 102, 107, 137, 138, 143-155].

Пряма конструкція крутильного маятника має два істотні недоліки. По-перше, в результаті вирішення диференціального рівняння крутильних коливань прямого маятника входить експонента, тому деформація зразка не є чисто синусоїдальною тільки з однією частотою, а містить спектр частот. При цьому відхилення від чисто синусоїдальної деформації тим більше, чим вище значення тангенса кута механічних втрат [138, 144, 148]. По-друге, в області високоеластичного стану полімеру під дією маси підвішеного маятника зразок починає деформуватися, проявляючи повзучість, що істотно обмежує динамічний діапазон приладу і дозволяє проводити вимірювання до тих пір, поки модуль пружності досліджуваного полімеру достатньо великий [98, 137, 151] і тангенс кута механічних втрат не перевищує значень ($\tan \varphi < 0,1 \dots 0,2$) [138, 139, 149.]

Вказані недоліки відсутні в зворотних крутильних маятниках, за рахунок підбору жорсткості пружного підвісу (торсіона) і зразка. Практично співвідношення між жорсткостями зразка і торсіона повинно бути $\geq 0,5$ [98, 138, 149]. При цьому відхилення деформації складеної системи від чисто синусоїдальної є незначним, а відсутність повзучості зразка дозволяє вимірювати динамічні характеристики матеріалів з дуже великими втратами і в широкому інтервалі температур [63, 98, 102, 121, 139, 151-154].

Реєстрація коливань крутильних маятників здійснюється:

- візуально за допомогою нескладного оптичного пристрою, що

проектує промінь відображених від люстерка, укріпленого на зразку, на відкалібровану шкалу з поділками [145];

- на рухому кіноплівку [139, 140];

- електрично, за допомогою перетворювачів амплітуди в електричний сигнал, з подальшим записом на діаграмі електронного регістратора [142, 144, 146];

- оптико-електрично, за допомогою перетворювача віддзеркальованого світлового променя в електричний сигнал, з подальшою реєстрацією його на діаграмі його електронного реєстратора або шлейфового осцилографа [139, 143, 153, 154]

Недоліком описаних конструкцій і систем реєстрації є необхідність додаткової обробки віброграм коливань, що значно збільшує трудомісткість випробувань і похибку вимірювань. Виняток становлять торсіонні маятники фірми “ZWICK”, “INSTRON” і маятник [139], де одночасно з реєстрацією йде обробка віброграм за допомогою ЕОМ [139, 149, 153, 154].

Випробувальна апаратура для цільових досліджень анізотропії текстильних матеріалів неруйнівними методами в літературі не висвітлена.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Використання слабосингулярних функцій, для опису поведінки в'язкопружних функцій, що відображають реакцію матеріалу на лінійну і гармонійну функції збудження, відображене в літературі недостатньо.

2. З метою віддзеркалення всієї тимчасової залежності пружно-спадкових властивостей матеріалів необхідно об'єднувати відомості, отримані з експериментів при стаціонарних і нестаціонарних режимах навантаження. В цьому випадку для більшої універсальності методів феноменологічного опису пружно-спадкових властивостей матеріалів, необхідно мати в своєму розпорядженні методи переходу від одного експериментального способу визначення в'язкопружних властивостей до іншого.

3. Відсутність випробувального устаткування, що серійно випускається, ставить завдання розробки методів і випробувальних установок для комплексного дослідження фізико-механічних і в'язкопружних властивостей текстильних та полімерних плівкових матеріалів.

4. Використання текстильних матеріалів як об'єктів дослідження, ставить завдання дослідження анізотропії їх фізико-механічних властивостей залежно від параметрів технологічних процесів виготовлення та температури.

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОПРУЖНИХ АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Теоретичний аналіз співвідношення між групами функцій в'язкопружності

2.1.1. Співвідношення між функцією повзучості і функцією релаксації. Співвідношення між спадкоємними функціями нижнього рівня, тобто між функцією повзучості $I(t)$ і функцією релаксації $E(t)$ устанавлюється з інтегрального рівняння Вольтера першого роду

$$\int_0^t I(t-\tau) \cdot E(\tau) \cdot d\tau = t; \quad \int_0^t E(t-\tau) \cdot I(\tau) \cdot d\tau = t. \quad (2.1)$$

Для заміни точного рішення (2.1) чисельним, рівняння (2.1) беремо в такій формі, щоб відома функція залежала від різниці аргументів. Нехай у рівнянні (2.1) це буде функція повзучості $I(t)$.

В рівнянні (2.1) інтервал інтегрування розіб'ємо за допомогою рівномірних інтервалів $\tau_0; \tau_i = i \cdot h$ ($i = 1, 2, 3 \dots n-1$), $\tau_n = t$ на n рівних частин.

Приймаючи, що в інтервалах між вузловими точками функції лінійно інтерполюються і за рахунок застосування теореми про середнє значення визначеного інтеграла [160, 161] отримаємо для i -го інтервалу

$$I(t_{i/2}) = \int_0^{t_i} E(\tau) d\tau = t_i, \quad (2.2)$$

де $I(t_{i/2})$ - означає середнє значення функції повзучості в середній точці інтервалу $(0, t_i)$.

При вирішенні рівняння (2.2) щодо визначеного інтеграла і диференціюючи його за верхню межею цього інтеграла [161] отримаємо

$$E(t_i) = \frac{1}{I(t_{i/2})} - \frac{t_i}{I^2(t_{i/2})} \cdot \frac{dI(t_{i/2})}{dt}. \quad (2.3)$$

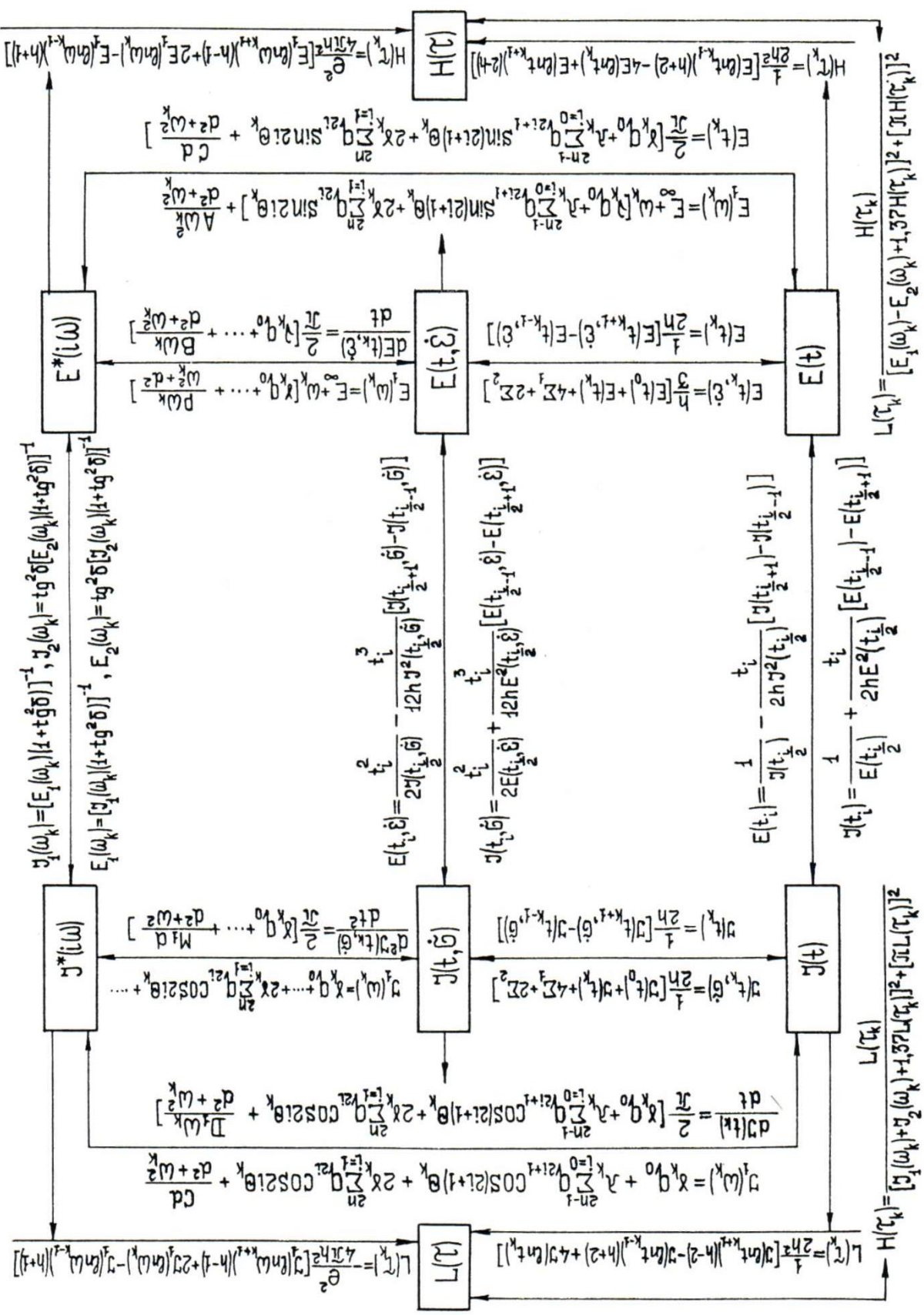


Рис. 2.2. Структурно-логічна схема чисельних співвідношень між в'язкопружними функціями

Використовуючи для перебудови похідних у рівнянні (2.3) формули чисельного диференціювання [162] остаточно отримаємо

$$E(t_i) = \frac{1}{I(t_{i/2})} - \frac{t_i}{I^2(t_{i/2})} \cdot [I(t_{i/2+1}) - I(t_{i/2-1})], \quad (2.4)$$

де h – відстань між вузловими точками (крок диференціювання). При крайніх значеннях аргументу, тобто при $t = 0$ та при $t = \infty$ рівняння (2.4) визначає точне рішення рівняння (2.1) і при цьому виконується наступне рівняння

$$I(0)E(0) = I(\infty)E(\infty) = 1, \quad (2.5)$$

що відповідає результатам, приведеним у [62]. Отримане рівняння (2.4) дозволяє обчислити значення функції релаксації $E(t_i)$ у вузлових точках, якщо в них відомі чисельні значення функції повзучості $I(t_i)$. Аналогічно, для другого рівняння (2.1), з огляду на знак похідної для функції релаксації отримаємо рівняння, що дозволяє обчислити значення функції повзучості $I(t_i)$ у вузлових точках функції релаксації

$$I(t_i) = \frac{1}{E(t_{i/2})} + \frac{t_i}{2hE^2(t_{i/2})} [E(t_{i/2-1}) - E(t_{i/2+1})]. \quad (2.6)$$

2.1.2 Співвідношення між функцією швидкості навантаження і функцією швидкості деформування. Функції швидкості навантаження $I(t, \dot{\sigma})$ і швидкості деформування $E(t, \dot{\varepsilon})$, що відносяться до середнього рівня функцій спадковості, визначаються на підставі машинних випробуваннях, при проведенні яких знімаються діаграми розтягування $\sigma \sim \varepsilon$.

Ці залежності найбільше просто встановлюються у випадку, якщо залежність між напруженням і деформацією для лінійного спадково-пружного тіла прийняти у вигляді інтеграла Стілтєса (1.1).

Якщо при $t < 0$, $\varepsilon = \sigma = 0$, а в момент $t = 0$ почалося навантаження з постійною швидкістю $\dot{\sigma} = const$, тобто

$$\frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} = H(\tau)\dot{\sigma}, \quad \sigma(t) = H(t)\dot{\sigma},$$

де $H(\tau)$ – одинична функція Хевісайда. Перше зі співвідношень (1.1) прийме вид

$$\varepsilon(t) = \dot{\sigma} \int_0^t I(\tau) d\tau. \quad (2.7)$$

Позначив швидкість навантаження, як $\varepsilon(t)\dot{\sigma} = I(t, \dot{\sigma})$ з рівняння (2.7) остаточно отримаємо

$$I(t, \dot{\sigma}) = \frac{\varepsilon(t)}{\dot{\sigma}} = \int_0^t I(\tau) d\tau. \quad (2.8)$$

Функція $I(t, \dot{\sigma})$ визначає спадкоємні властивості матеріалу і не залежить від швидкості навантаження. Для її завдання необхідно мати експериментальні криві $\varepsilon(t)$, які отримані у деякому інтервалі часу t при різних значеннях швидкості навантаження $\dot{\sigma}$.

Застосовуючи аналогічний підхід до другого рівняння (2.1), отримаємо вираз для функції швидкості деформування

$$E(t, \dot{\varepsilon}) = \frac{\sigma(t)}{\dot{\varepsilon}} = \int_0^t E(\tau) d\tau. \quad (2.9)$$

Функція $E(t, \dot{\varepsilon})$ визначається з набору експериментальних кривих $\sigma(t)$, отриманих у деякому інтервалі часу t при різних значеннях швидкості деформування $\dot{\varepsilon}$. Взаємозв'язок між функцією швидкості навантаження і функцією швидкості деформування може бути отримана з рівнянь (2.1), якщо вхідні в них функції повзучості і релаксації виразити відповідно через функції швидкості деформування, тобто

$$E(t) = \frac{dE(t, \dot{\varepsilon})}{dt} = \dot{E}(t, \dot{\varepsilon}). \quad (2.10)$$

$$I(t) = \frac{dI(t, \dot{\sigma})}{dt} = \dot{I}(t, \dot{\sigma}). \quad (2.11)$$

Взаємозв'язок між функцією швидкості навантаження $\dot{I}(t, \dot{\sigma})$ і функцією

швидкості деформування $\dot{E}(t, \dot{\varepsilon})$ може бути отримана з рівняння (1.1). При навантаженні зразка з постійною швидкістю деформування, тобто $\dot{\varepsilon} = const$, деформація буде визначатися виразом

$$\varepsilon(t) = Y(t) \cdot t \cdot \dot{\varepsilon}. \quad (2.12)$$

При цьому напруження в зразку, відповідно до виразу (2.9) дорівнює

$$\sigma(t) = E(t, \dot{\varepsilon}) \cdot \dot{\varepsilon} \cdot H(t). \quad (2.13)$$

Диференціюючи дану рівність і з огляду на те, що похідна від одиничної функції $H(t)$ дорівнює дельта функції $\delta(t)$, отримаємо:

$$\frac{d\sigma(t)}{dt} = \dot{\varepsilon} \left[\frac{dE(t, \dot{\varepsilon})}{dt} H(t) + E(0, \dot{\varepsilon}) \delta(t) \right]. \quad (2.14)$$

Підставляючи рівняння (2.12) і (2.14) у перше рівняння (2.1) отримаємо

$$\varepsilon(t) = H(t) \cdot t \cdot \dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon} \left[\int_0^t \frac{dE(t, \dot{\varepsilon})}{dt} I(t - \tau) d\tau + E(0, \dot{\varepsilon}) I(t) \right], \text{ або} \\ \left[\int_0^t \frac{dE(t, \dot{\varepsilon})}{dt} I(t - \tau) d\tau + E(0, \dot{\varepsilon}) I(t) = t \right]. \quad (2.15)$$

Вираження (2.15) являє собою похідну від визначеного інтеграла по параметру [160], тобто $\frac{d}{dt} \int_0^t E(t - \tau, \dot{\varepsilon}) I(\tau) d\tau = t$, звідки

$$\int_0^t E(t - \tau, \dot{\varepsilon}) I(\tau) d\tau = \frac{t^2}{2}. \quad (2.16)$$

Підставляючи (2.10) у (2.16) і використовуючи властивість похідної від визначеного інтеграла по параметру можна записати

$$\int_0^t E(t - \tau, \dot{\varepsilon}) \frac{dI(\tau, \dot{\sigma})}{d\tau} d\tau + I(0, \dot{\sigma}) E(t, \dot{\varepsilon}) = \frac{t^2}{2},$$

з огляду на, що $I(0, \dot{\sigma}) = 0$, отримаємо $\frac{d}{dt} \int_0^t E(t - \tau, \dot{\varepsilon}) I(\tau, \dot{\sigma}) = \frac{t^2}{2}$, звідки

$$\int_0^t E(t - \tau, \dot{\varepsilon}) I(\tau, \dot{\sigma}) d\tau = \frac{t^3}{6}. \quad (2.17)$$

Рівняння (2.17) симетрично відносно підінтегральних функцій і $I(t, \dot{\sigma})$,

тому можемо записати

$$\int_0^t I(t, -\tau, \dot{\sigma}) \cdot E(\tau, \dot{\varepsilon}) d\tau = \frac{t^3}{6}. \quad (2.18)$$

Отримані рівняння (2.17) і (2.18) являють собою інтегральні рівняння Вольтера 1-го роду, що установлюють взаємозв'язок між функціями швидкості навантаження $I(t, \dot{\sigma})$ і деформування $E(t, \dot{\varepsilon})$. Використовуючи підхід, аналогічний при рішенні рівняння (2.1) отримаємо чисельне рішення рівнянь (2.17) і (2.18) у виді

$$E(t_i, \dot{\varepsilon}) = \frac{t_i^2}{2I(t_{i/2}, \dot{\sigma})} - \frac{t_i^2}{12hI^2(t_{i/2}, \dot{\sigma})} [I(t_{i/2+1}, \dot{\sigma}) - I(t_{i/2-1}, \dot{\sigma})], \quad (2.19)$$

$$I(t_i, \dot{\sigma}) = \frac{t_i^2}{2E(t_{i/2}, \dot{\varepsilon})} + \frac{t_i^2}{12hE^2(t_{i/2}, \dot{\varepsilon})} [E(t_{i/2-1}, \dot{\varepsilon}) - E(t_{i/2+1}, \dot{\varepsilon})]. \quad (2.20)$$

Взаємозв'язок між групами функцій в'язкопружності верхнього рівня, тобто між функцією комплексної піддатливості $I^*(i\omega)$ і функцією комплексного модуля $E^*(i\omega)$, встановлюється за допомогою відомих співвідношень [90].

2.2. Побудова співвідношень між спектрами часу релаксації та запізнювання, та рівнями функції в'язкопружності

Точні співвідношення, що зв'язують функції в'язкопружності зі спектрами часу релаксації $H(s)$ і запізнювання $L(s)$ (підрівні в'язкопружних функцій), будуються на основі спектрального представлення спадкоємних функцій [90, 92]. Як результат, відображення функції релаксації $E(t)$ і похідної функції повзучості $\dot{I}(t)$, відповідно через спектр часу релаксації $H(s)$ і спектр часу запізнювання $L(s)$ мають вид

$$E(t) = E_\infty + \int_0^\infty H(s) e^{-ts} ds, \quad (2.57)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = E_{\infty} + \int_0^{\infty} sL(s)e^{-ts} ds, \quad (2.58)$$

де $s = \frac{1}{t}$.

Визначення спектра часу релаксації $H(s)$ і спектра часу запізнювання $L(s)$ з заданих для функцій релаксації $E(t)$ і повзучості $I(t)$ здійснюється згортанням відповідно перетворень Лапласа (2.57) і (2.58) за формулою Мелліна [90]

$$H(s) = \frac{1}{2\pi i} \cdot \int_{t_1-i\infty}^{t+i\infty} [E(t) - E_{\infty}] \cdot e^{ts} dt; \quad (2.59)$$

$$L(s) = \frac{1}{2\pi i} \cdot \int_{t_1-i\infty}^{t+i\infty} \frac{dI(t)}{dt} \cdot e^{ts} dt, \quad (2.60)$$

де $t = t_1 + i t_2$.

Аналогічно, взаємозв'язок між підрівнями і середніми рівнями груп функцій спадковості встановлюється також за допомогою прямого і зворотного перетворення Лапласа, тобто між спектром часів запізнювання $L(s)$ і другою похідною функції швидкості навантаження $\ddot{I}(t, \dot{\sigma})$ для першої групи

$$L(s) = \frac{1}{2\pi i} \cdot \int_{t_1-i\infty}^{t+i\infty} \frac{d^2 I(t, \dot{\sigma})}{dt^2} \cdot e^{ts} dt; \quad (2.61)$$

$$\frac{d^2 I(t, \dot{\sigma})}{dt^2} = \int_0^{\infty} sL(s)e^{-ts} ds, \quad (2.62)$$

та між спектром часів релаксації $H(s)$ і похідною функції швидкості деформування $E(t, \dot{\varepsilon})$ для другої групи

$$H(s) = \frac{1}{2\pi i} \cdot \int_{t_1-i\infty}^{t+i\infty} \frac{dE(t, \dot{\varepsilon})}{dt} \cdot e^{ts} dt; \quad (2.63)$$

$$\frac{dE(t, \dot{\varepsilon})}{dt} = \int_0^{\infty} H(s) e^{-ts} ds. \quad (2.64)$$

Залежність між спектром часу релаксації $H(s)$ і функцією комплексного модуля $E^*(\omega)$ може бути встановлена з рівнянь (2.32) шляхом підстановки в них значення функції релаксації з (2.57). Після відповідних перетворень, виділяючи дійсну і уявну частини остаточно отримаємо

$$E_1(\omega) = E_{\infty} + \int_0^{\infty} H(s) \frac{\omega^2}{s^2 + \omega^2} ds; \quad (2.65)$$

$$E_2(\omega) = \int_0^{\infty} H(s) \frac{\omega \cdot s}{s^2 + \omega^2} ds. \quad (2.66)$$

Для обчислення спектра часу релаксації $H(s)$, в аналітичні вирази дійсної $E_1(\omega)$ (2.65) і уявної частини $E_2(\omega)$ (2.66) функції комплексного модуля $E^*(i\omega)$ підставляється комплексна змінна у вигляді $\omega = i\zeta \pm x$, звідки, помножуючи обидві частини рівняння на i , отримаємо $i\omega = -\zeta \pm ix$. Розкладаючи перетворений підінтегральний вираз на прості складові, виділяючи у виразі дійсної частини $E_1(\omega)$ функції комплексного модуля уявну частину, а в вираз уявної частини $E_2(\omega)$ функції комплексного модуля дійсну частину, і переходячи до межі при $x \rightarrow 0$, остаточно отримаємо рівняння, що дозволяють визначати спектр часу релаксації $H(s)$ через складові функції комплексного модуля [90]

$$H(s) = \pm \frac{2}{\pi s} \cdot \lim_{x \rightarrow 0} \text{Im} E_1(is \pm x), \quad H(s) = \frac{2}{\pi s} \cdot \lim_{x \rightarrow 0} \text{Re} E_2(is \pm x). \quad (2.67)$$

Взаємозв'язок між функцією комплексної піддатливості $I^*(i\omega)$ і спектром часу запізнювання $L(s)$ може бути встановлена з рівнянь (2.31), якщо похідну функції повзучості $\dot{I}(t)$ представити інтегралом Лапласа (2.58). У результаті

отримаємо

$$I^*(i\omega) = \int_0^{\infty} L(s) \frac{s}{s + i\omega} ds. \quad (2.68)$$

Помноживши чисельник і знаменник підінтегрального виразу (2.68) на $(s - i\omega)$ і виділяючи дійсну $I_1(\omega)$ і уявну частини $I_2(\omega)$ отримаємо вираз для компонентів комплексної піддатливості $I^*(i\omega)$ через спектр часу запізнювання $L(s)$ у вигляді

$$I_1(\omega) = \int_0^{\infty} L(s) \frac{s^2}{s^2 + \omega^2} ds; \quad (2.69)$$

$$I_2(\omega) = \int_0^{\infty} L(s) \frac{s\omega}{s^2 + \omega^2} ds. \quad (2.70)$$

Зворотна задача, тобто визначення спектра часів запізнювання $L(s)$ з аналітичних виразів для функції комплексної піддатливості $I^*(i\omega)$ і її компонентів, може бути встановлена за аналогією з функцією комплексного модуля $E^*(i\omega)$ з рівнянь (2.68 - 2.70) заміною перемінної по формулі $(i\omega = -\zeta \pm ix)$. У результаті перетворень остаточно отримаємо

$$L(s) = \pm \frac{2}{\pi s} \cdot \lim_{x \rightarrow 0} \text{Im} I^*(-s \pm ix),$$

$$L(s) = \pm \frac{2}{\pi s} \cdot \lim_{x \rightarrow 0} \text{Im} I_1(-s \pm ix), \quad (2.71)$$

$$L(s) = \frac{2}{\pi s} \cdot \lim_{x \rightarrow 0} \text{Re} I_2(-s \pm ix).$$

Для здійснення перетворення Лапласа при визначенні спектрів можна скористатися формулами чисельного згортання перетворення Лапласа [165], однак набагато простіше при тому ж ступені точності скористатися другим наближенням Шварцля і Ставермена [93] і, застосувавши до нього формули чисельного диференціювання, отримаємо наближені співвідношення, що

зв'язують функції спадковості зі своїми спектрами.

Для першої групи спадкоємних функцій спектр часів запізнювання $L(\tau)$ може бути обчислений:

а) з експериментальних даних для функції повзучості $I(t)$

$$L(\tau_k) = \frac{1}{2h^2} [I(\ln t_{k+1})(h-2) - I(\ln t_{k-1})(h+2) + 4I(\ln t_k)]; \quad (2.72)$$

б) з експериментальних даних для функції швидкості навантаження $I(t, \dot{\sigma})$

$$L(\tau_k) = \frac{1}{h^2} [I(\ln t_{k+1}, \dot{\sigma}) - 2I(\ln t_k, \dot{\sigma}) + I(\ln t_{k-1}, \dot{\sigma})]; \quad (2.73)$$

в) з експериментальних даних для складових функції комплексної піддатливості

$$L(\tau_k) = \frac{e^2}{4\pi h^2} [I_1(\ln \omega_{k+1})(h-1) + 2I_1(\ln \omega_k) - I_1(\ln \omega_{k-1})(h+1)]; \quad (2.74)$$

$$L(\tau_k) = \frac{2}{\pi h^2} [I_2(\ln \omega_k)(h+2) - I_2(\ln \omega_{k-1}) - I_2(\ln \omega_{k+1})]. \quad (2.75)$$

Для другої групи в'язкопружних функцій спектр часу релаксації $H(\tau)$ може бути обчислений:

а) з експериментальних даних для функції релаксації $E(t)$

$$H(\tau_k) = \frac{1}{2h^2} [E(\ln t_{k-1})(h+2) - 4E(\ln t_k) + E(\ln t_{k+1})(2-h)]; \quad (2.76)$$

б) з експериментальних даних для функції швидкості деформування $E(t, \dot{\varepsilon})$

$$H(\tau_k) = \frac{1}{h^2} [E(\ln t_{k-1}, \dot{\varepsilon}) - 2E(\ln t_k, \dot{\varepsilon}) + E(\ln t_{k+1}, \dot{\varepsilon})]; \quad (2.77)$$

в) з експериментальних даних для складових функції комплексного модуля $E^*(i\omega)$

$$H(\tau_k) = \frac{e^2}{4\pi h^2} [E_1(\ln \omega_{k+1})(h-1) + 2E_1(\ln \omega_k) - E_1(\ln \omega_{k-1})(h+1)]; \quad (2.78)$$

$$H(\tau_k) = \frac{2}{\pi h^2} [E_2(\ln \omega_k)(h+2) - E_2(\ln \omega_{k-1}) - E_2(\ln \omega_{k+1})]. \quad (2.79)$$

2.3. Співвідношення між спектрами часу релаксації та запізнювання

Співвідношення між спектрами часу релаксації $H(s)$ і часу запізнювання $L(s)$, може бути встановлена з рівняння $I^*(i\omega) = \frac{1}{E^*(i\omega)}$, якщо функції комплексного модуля $E^*(i\omega)$ і комплексної піддатливості $I^*(i\omega)$ виразити відповідно через спектр релаксації $H(s)$ (рівняння 2.65, 2.66) і спектр часів запізнювання $L(s)$ (рівняння 2.68 – 2.71).

Для цього вводимо комплексну змінну ($i\omega = -\zeta \pm ix$) і після відповідних перетворень, отримаємо вирази, що дозволяють визначати спектр часу релаксації $H(s)$ через спектр часу запізнювання $L(s)$

$$H(s) = \frac{L(s)}{[\pi s L(s) + K_L(s)]^2}, \quad (2.80)$$

і спектр часів запізнювання $L(s)$ через спектр часів релаксації $H(s)$

$$L(s) = \frac{H(s)}{[\pi s H(s) + K_H(s)]^2}, \quad (2.81)$$

де введені позначення

$$K_L(s) = I_0 + \int_0^{\infty} \frac{sL(s)}{s - \xi} ds, \quad (2.82)$$

$$K_H(s) = E_{\infty} - \xi \cdot \int_0^{\infty} \frac{H(s)}{s - \xi} ds. \quad (2.83)$$

Залежності між спектрами, в основі яких лежить друге наближення Шварцля і Ставермена [93], можуть бути встановлені за допомогою простих співвідношень значень комплексних складових релаксаційного модуля та піддатливості динамічних функцій спадковості верхнього рівня [57]. Для спектра часу запізнювання $L(\tau)$ маємо вираз

$$L(\tau_k) = \frac{H(\tau_k)}{[E_1(\omega_k) - E_2(\omega_k) + 1,37H(\tau_k)]^2 + [\pi H(\tau_k)]^2}. \quad (2.84)$$

Аналогічно, спектр часів релаксації $H(\tau)$ може бути обчислений з рівняння

$$H(\tau_k) = \frac{L(\tau_k)}{[I_1(\omega_k) + I_2(\omega_k) + 1,37L(\tau_k)]^2 + [\pi L(\tau_k)]^2}. \quad (2.85)$$

Поєднуючи отримані в даному розділі рівняння в «єдине ціле» отримаємо основні положення чисельної теорії функцій в'язкопружності, що дозволяє з експериментальних значень однієї з функцій в'язкопружності, отриманих для фіксованих значень часу, обчислити значення інших семи функцій для тих же інтервалів часу, не проводячи аналітичної апроксимації експериментальних значень вихідної функції. Це дозволяє оперативно отримувати та враховувати значення технологічних функцій в'язкопружності текстильних та шкіряних матеріалів, в залежності від типу напруженого стану, що виникає при виготовленні та експлуатації одягу.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Запропоновані основи чисельної теорії пружної спадковості, в основі побудови якої лежить поділення всіх типів випробувань спадкових властивостей матеріалів на дві групи. До першої групи відносяться випробування, при яких вимірювані величини є функціями напруження, а до другої групи відносяться випробування, при яких вимірювані величини є функціями деформації.

2. Всередині кожної групи випробувань пропонується виділення функцій спадковості залежно від частотно-часового діапазону, що охоплюється випробуванням, на три рівні і один підрівень.

3. Обґрунтовано використання системи точних співвідношень, яка дозволяє по відомому аналітичному виразу однієї із спадкових функцій визначити аналітичні вирази решти функцій.

4. Розроблена структурно-логічна схема наближених співвідношень між основними функціями в'язкопружності (спадковості) матеріалів, в основі побудови якої лежить використання чисельних методів і заміна ними точних співвідношень між функціями спадковості. Причому похибки опису будуть тим менше, чим більш широкий частотно-часовий діапазон значень експериментальної функції і чим менше ступінь не лінійності поведінки матеріалу.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОПРУЖНИХ АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1. Установа для дослідження динамічних властивостей методом резонансних згинальних коливань

Для перевірки основних положень концепції технологічних властивостей текстильних матеріалів з урахуванням їх анізотропної та в'язкопружної природи необхідно мати основні структурні параметри її внутрішньої будови і значення фізико-механічних властивостей основних структурних рівнів у вихідному стані. На сьогодні немає обладнання серійного виробництва, яке використовувалось би для визначення всього комплексу необхідних технологічних параметрів волокнистих матеріалів.

Тому, на підставі детального аналізу наявних методів і державних стандартів були використані та розроблені методи, що дозволили визначити у широкому температурно-часовому діапазоні необхідні технологічні властивості текстильних матеріалів [98, 99, 102-120].

До складу комплексу входить ряд установок, які дозволяють досліджувати повзучість, короткочасну міцність, динамічний модуль пружності і декремент згасання при згинальних коливаннях; динамічний модуль зсуву і декремент згасання при крутильних коливаннях; акустичні властивості шкіри та текстилю, макроструктуру матеріалів.

Для кожної дослідної установки проведена метрологічна атестація та розроблена методика, в якій відображені: сутність методу; сфера застосування методу; вимоги до зразків; вимірювальна апаратура; послідовність проведення випробувань; здійснення обчислень; рекомендована форма запису результатів спостережень і обчислень; форма протоколу.

Дослідна установка (рис. 3.1) призначена для дослідження технологічних

властивостей пакетів текстильних та шкіряних матеріалів методом резонансних коливань шляхом визначення комплексних модулів та їх складових за вимірними значенням власних частот і декременту згасання в інтервалі температур ($-20\dots 200$)°C [166, 167].

На розробленій установці для виміру внутрішнього тертя і динамічного модуля Юнга використовуються зразки призматичної форми при збудженні в них резонансних згинальних коливань основного тону.

Основою установки є підсилювач *1* (рис. 3.1) з акустоелектричним зворотнім зв'язком. Коливальна система установки складається зі збуджуючого *3* і приймаючого *5* п'єзоелектричних перетворювачів і досліджуваного призматичного зразка *4*, підвішеного горизонтально до п'єзоперетворювачів на тонких вольфрамових волокнах поблизу вузлів коливань, віддалених від кінців зразка на 0,224 його довжини. На дослідній установці можна здійснювати виміри в автоматичному і ручному режимах керування.

Установка (рис. 3.1) складається з механічної частини, коливальної системи, системи збудження і реєстрації коливань, термокріокамери [168], трикаскадної автоматичної системи пропорційного регулювання, що забезпечує підтримку в термокріокамері заданої температури і зміну її за певною програмою. Основні технічні дані дослідної установки наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Основні технічні дані дослідної установки для дослідження технологічних властивостей текстильних та шкіряних матеріалів

Технічна характеристика	Технічні дані
Вид коливань, за типом деформації зразка	згинальні
Діапазон частот синусоїдальних коливань, Гц	0,1...2000
Допустима похибка реєстрації моменту резонансу, с	10^{-5}
Відстань між вузлами коливань, мм	25...200
Товщина зразків, мм	0,5...10
Ширина зразків, мм	1...30

Робочий діапазон випробувальних температур, °С	-20...200
Ціна поділки шкали температур, °С	1...5
Допустима похибка відхилення від заданої температури, °С	0,5
Допустима похибка виміру періоду коливань, %	0,25
Габаритні розміри установки (довжина × ширина × висота), мм	1150×600×1350
Маса установки, кг	70

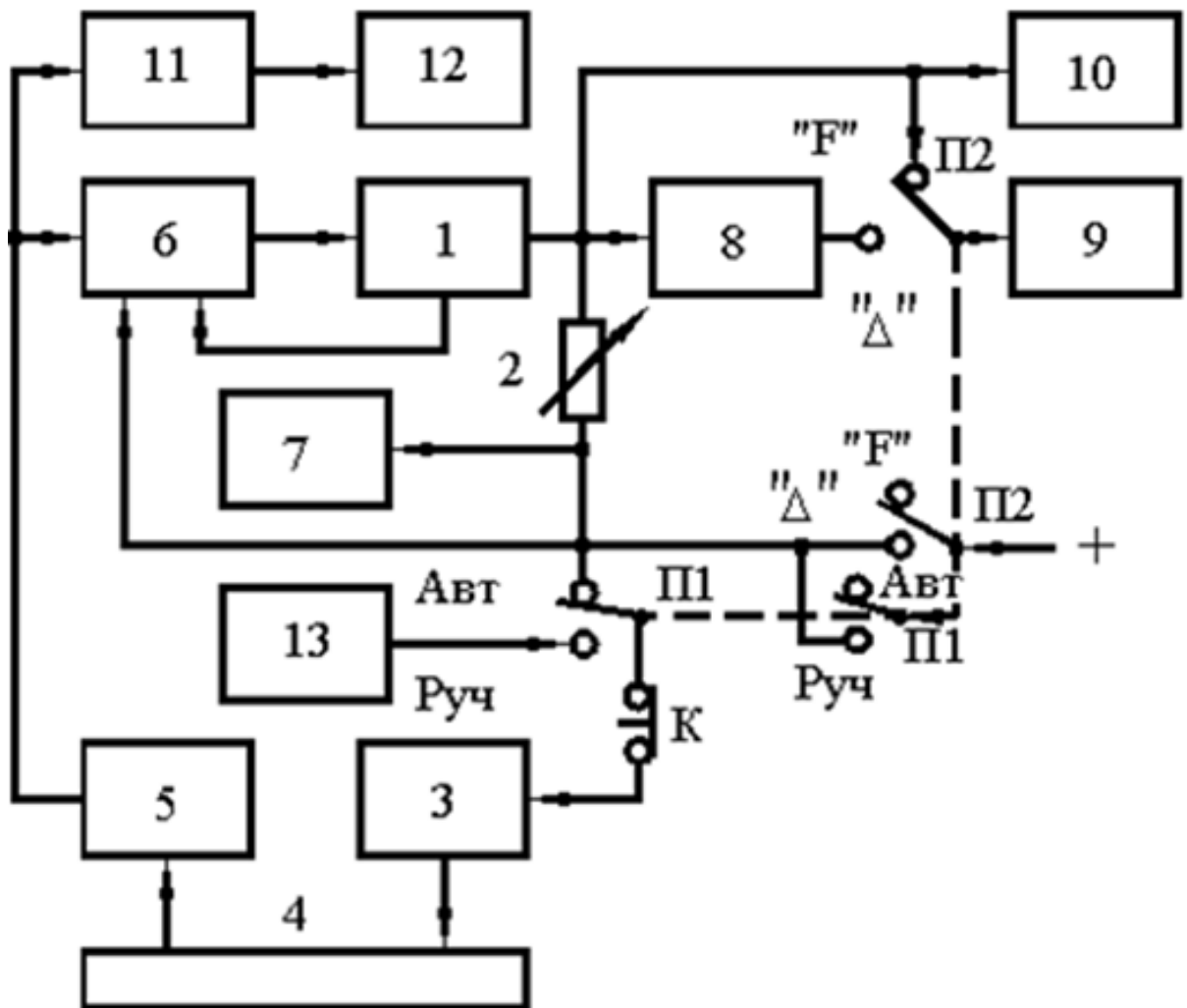


Рис. 3.1. Блок-схема дослідної установки для дослідження технологічних властивостей методом резонансних згинальних коливань:
1, 6 - широкосмуговий підсилювач; 2 – змінний резистор;
3 - збуджуючий п'єзоелектричний перетворювач; 4 - досліджуваний зразок;
5 - приймаючий п'єзоелектричний перетворювач; 9 - електронно-обчислювальний частотомір; 10 - двокоординатний осцилограф; 13 – генератор.

Система реєстрації коливань досліджуваного зразка (рис. 3.1) складається з приймального п'єзоперетворювача 5, встановленого на Г-подібній траверсі, широкосмугових підсилювачів 1 і 6, двокоординатного осцилографа 10 і електронно-обчислювального частотоміра 9.

Дослідна установка має два режими роботи, що відрізняються способом збурення згинальних коливань у зразку і структурою системи збурення та реєстрації коливань. При роботі установки в режимі ручного керування частотою генератора система збурення згинальних коливань зразка складається з генератора 13 і збурювального п'єзоперетворювача 3. Змінюючи частоту генератора 13, домагаються виникнення резонансних коливань, при цьому на екрані осцилографа 10 момент резонансу зобразиться відповідно до фігур Ліссажу прямою лінією. Вимірюючи період резонансних коливань електронно-обчислювальним частотоміром 9, можна визначити динамічний модуль пружності з виразів для основного тону з періодом T_p , що визначаються виразом [169] для призматичного зразка

$$E = 0,9466 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{l}{h}\right)^3 \cdot \frac{m}{T_p^2 b}, \quad (3.1)$$

і для круглого зразка:

$$E = 1,6071 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^4 \cdot \frac{m}{T_p^2 l}. \quad (3.2)$$

де E – модуль пружності при розтягу, МПа; l і d – відповідно, довжина і діаметр зразка, м; h і b – відповідно, товщина і ширина зразка в площині коливання і перпендикулярно до неї, м; m – маса зразка, кг.

Декремент згасання δ у ручному режимі керування визначається за шириною резонансної западини амплітудної кривої збурювальної сили при постійній амплітуді зразка [170]. Суть методу полягає в тому, що при виникненні явища резонансу зміною величини збурювальної сили встановлюється задана амплітуда зразка. Потім збільшують збурювальну силу у N разів, що приводить до пропорційного зростання й амплітуди коливань. Змінюючи частоту збурювальної сили, тобто, ідучи за шкалою частот вище і

нижче від резонансної частоти, домагаються зменшення амплітуди коливань до заданого значення, що відповідає резонансному. Відповідні значення частот і визначають ширину резонансної западини. Величина логарифмічного декременту згасання визначається за формулою

$$\delta = \frac{\pi(T_1 - T_2) \cdot T_P}{T_1 \cdot T_2 \sqrt{N^2 - 1}}, \quad (3.3)$$

де T_P – період резонансних коливань, с; T_1 – період коливань при заданій амплітуді, нижчий від резонансу, с; T_2 – період коливань при заданій амплітуді вищий від резонансу, с; N – коефіцієнт збільшення збуджувальної сили.

При роботі установки в режимі автоколивань зразок 4 використовується як елемент електроакустичного зворотного зв'язку широкосмугового підсилювача 1 і 6. Система збудження згинальних коливань складається при цьому зі збурювального п'єзоперетворювача 3, зразка 4, приймаючого п'єзоперетворювача 5, широкосмугового підсилювача 1 і 6, до якого, підключається система автоматичного регулювання посилення (АРП), що дозволяє автоматично з високою точністю підтримувати задану амплітуду коливань зразка 4. Величина резонансної амплітуди коливань зразка регулюється зміною коефіцієнта підсилення системи АРП, що дозволяє проводити дослідження залежності акустичних властивостей матеріалів від амплітуди деформації.

Робота установки в режимі автоколивань використовується при дослідженні технологічних властивостей текстильних та шкіряних матеріалів в залежності від програмної зміни температури чи вологості. При цьому процесом виміру керує мікроконтролер, алгоритм роботи якого складений так, що при зміні температури в термокамері на (1...5) °С, залежно від режиму, за сигналом мікроконтролера вимірюється період резонансних коливань частотоміром 9. З виходу контролера, через інтерфейс, інформація надходить на мікроконтролер, де обробляється за заданою програмою. Результати обчислень динамічного модуля пружності надходять на цифродрукуювальний пристрій.

Вимірювання декременту загасання при роботі в режимі автоколивань здійснюється шляхом відключення АРП в підсилювачі I і розриву акустичного зворотного зв'язку. При цьому сигнал на виході підсилювача I у вигляді віброграми загасаючих коливань надходить на пристрій для виміру декременту загасання [171], в основу якого покладено підрахунок числа коливань за час, протягом якого амплітуда коливань зменшується в e разів (e – основа натуральних логарифмів) по відношенню до свого резонансного значення.

Для проведення випробувань у широкому діапазоні температур установка обладнана термокріокамерою. Нагрівання зразка в інтервалі температур ($-20...200$) $^{\circ}\text{C}$ здійснюється в термокріокамері змінними нагрівальними безіндуктивними елементами. Нагрівальні елементи розташовані у вигляді трьох секцій рівномірно по довжині зразка і управляються кожна окремо від триканальної автоматичної слідкуючої системи пропорційного регулювання. В якості датчиків температури використовуються три термопари, встановлені в безпосередній близькості від зразка.

Використання трикаскадної системи підтримки заданої температури дозволило створити рівномірне за довжиною зразка температурне поле без перемішування повітря тепловентилятором, що, у свою чергу, виключило вібраційні і магнітні перешкоди, які створюються повітряним потоком і двигуном тепловентилятора. Охолодження зразка в інтервалі температур здійснюється заміною трисекційного нагрівача на трисекційний термоелектричний холодильник.

Максимальна похибка визначення динамічного модуля пружності E і декременту згасання δ не перевищує, відповідно, 0,5% і 2,5%. Тривала експлуатація дослідної установки показала її високу надійність, відтворюваність результатів експериментів і простоту управління, що робить її незамінною в наукових дослідженнях і виробничих випробуваннях технологічних властивостей шкіряної сировини.

3.2. Установа для випробування на розтяг

Дослідна установка призначена для випробування текстильних та шкіряних матеріалів на розтяг в широкому діапазоні температур (20...200°C) [172]. Установка, створена на основі машини РМ-30, складається із основи, механізму деформування зразка, тиристорного привода, що забезпечує сталість заданої швидкості деформування, автоматичної системи реєстрації кривої деформування в координатах навантаження – подовження, або навантаження - час, термокамери та автоматичної слідкуючої системи пропорційного регулювання для підтримки в термокамері заданої температури і зміни її за визначеною програмою. Основні технічні дані дослідної установки наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Основні технічні дані установки для іспитів на розтяг листових матеріалів

Технічна характеристика	Технічні дані
Найбільше навантаження, Н	300
Тип силовимірювання, за типом датчика зусилля	електронний
Кількість поясів силовимірювання, канал	3
Тип вимірювача деформації, за типом датчика деформації	електронний
Граничне значення шкали вимірювача деформації, мм	300
Ціна поділки шкали вимірювача деформації, мм	0,01
Похибка запису зусилля, %	1
Допустима похибка запису переміщення активного захвату, %	0,5
Діапазон швидкостей активного захвату, мм/хв	10...200
Найбільша відстань між захватами, мм	250
Найбільша ширина випробовуваних зразків, мм	25
Робочий діапазон випробовуваних температур, °С	20...200
Ціна поділки шкали температур, °С	1
Допустима похибка відхилення від заданої температури, °С	1
Габаритні розміри установки (довжина×ширина×висота), мм	1100×850×1970
Маса установки, кг	85

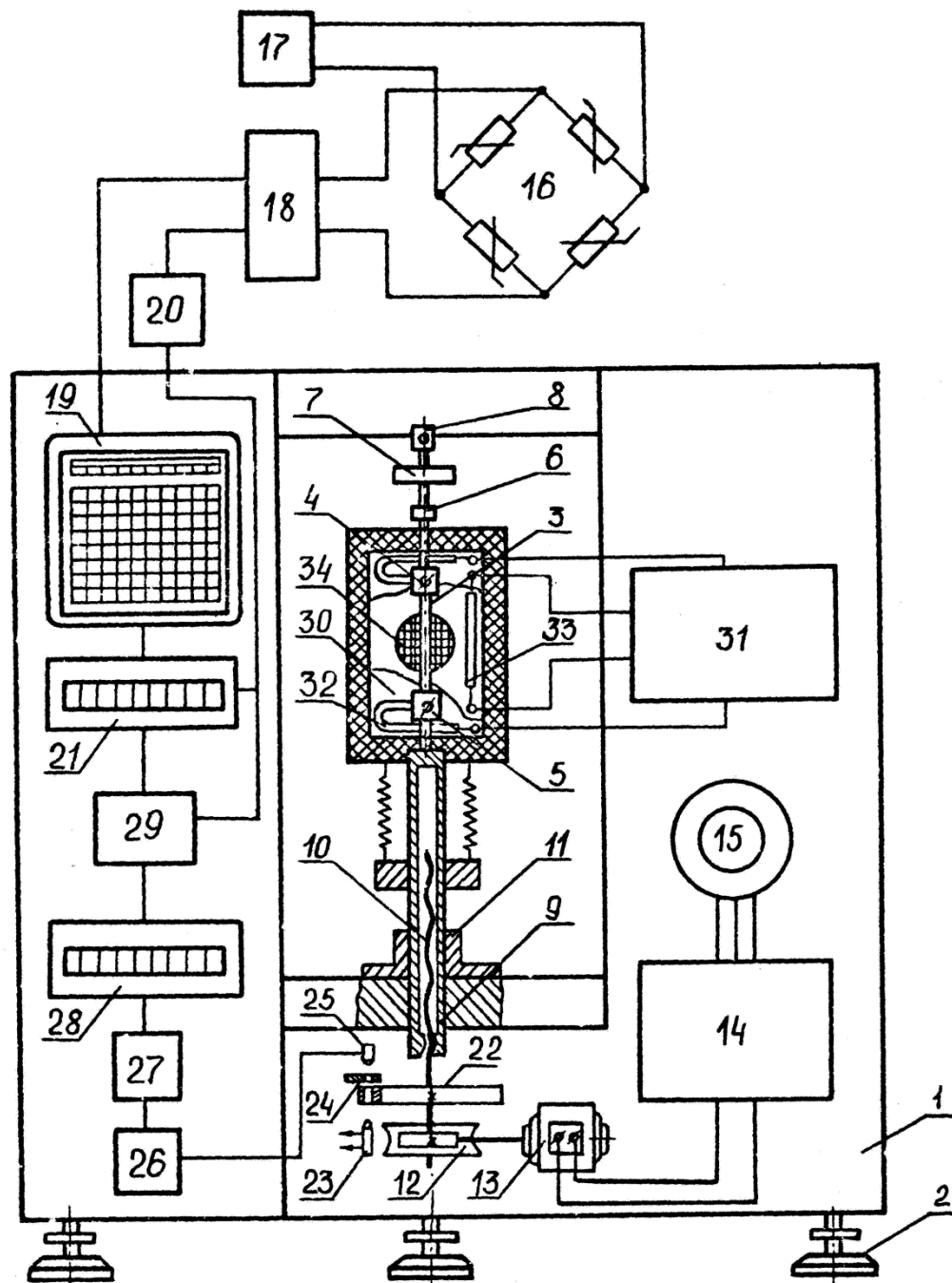


Рис. 3.2 Принципова схема дослідної установки для випробування на розтяг текстильних та шкіряних матеріалів: 1 – основа; 2 – установчі опори; 3 – зразок; 4 – верхній нерухомий захват; 5 – нижній рухомий захват; 6, 8 – шарніри; 7 – мембранний динамометр; 9 – гайка; 10 – гвинт; 11 – напрямна втулка; 12 – редуктор; 13 – електродвигун постійного струму; 14 – тиристорний привод; 15 – напівпровідникові тензорезистори; 16 – мостова схема; 17 – джерело живлення моста; 18 – масштабний підсилювач; 19 – самописний потенціометр; 20 – перетворювач напруги; 21 – електронний частотомір; 22 – диск; 23 – освітлювач; 24 – щілинна заслінка; 25 – фотодіод; 26 – формувач імпульсів; 27 – перерахункова схема; 28 – електронний лічильник; 29, 31 – блок управління; 30 – термокамера; 32 – нагрівач; 33 – датчик температури; 34 – тепловентилятор.

Основа 1 має можливість горизонтування за рівнем при допомозі установлювальних опор 2. Зразок 3 закріплюється у верхньому 4 і нижньому 5 захватах. Конструкція захватів, висока чистота робочих поверхонь і точність їх виготовлення дозволяють створити між дотичними поверхнями силу тертя, достатню для закріплення дуже тонких листових матеріалів (товщиною 0,003...5 мм). Верхній нерухомий захват 4 через шарнір 6 зв'язаний з мембранним динамометром 7, що через шарнір 8 кріпиться до рами машини РМ-30.

Шарнірні вузли використовуються для надійного центрування зразків і запобігання позацентровому прикладанню навантаження до зразка 3. Нижній рухомий захват 5 закріплений на телескопічному штоку, в основу якого запресована гайка 9. Телескопічний шток за допомогою пари гвинт 10 – гайка 9 переміщується в напрямній втулці 11 у вертикальному напрямку. Обертання гвинта 10 здійснюється через редуктор 12 електродвигуном постійного струму 13, який управляється тиристорним приводом 14. Управління тиристорним приводом 13 здійснюється за допомогою задавача швидкості 15, що дозволяє змінювати швидкість деформування в широких межах: від 10 до 200 мм/хв. Автоматична система виміру і реєстрації кривої деформування складається з електронної системи виміру й автоматичної реєстрації навантаження, а також електронної системи виміру і реєстрації деформації.

Навантаження, що діють на зразок у процесі розтягу, вимірюються мембранним динамометром 7, на якому наклеєні напівпровідникові тензорезистори 15 (Ю-8-А), з'єднані у мостову схему 16. Живлення моста здійснюється за допомогою стабілізованого джерела 17. Сигнал, пропорційний навантаженню, підсилюється масштабним підсилювачем 18, надходить на вхід односекундного самописного потенціометра 19 (КСП – 4) і на вхід аналого-цифрового перетворювача напруги в частоту 20. Сигнал з частотою, пропорційною навантаженню, вимірюються електронним частотоміром 21. Вимір деформації з видачею цифрового коду здійснюється за допомогою простого оптико-механічного перетворювача. На ходовому гвинті 10 закріплений диск 22, у якому по колу просвердлено сто отворів діаметром 1 мм.

Через ці отвори світло від освітлювача 23 і щілинну заслінку 24 потрапляє на фотодіод 25. У щілинній заслінці 24 є дві щілини, відстань між якими дорівнює половині відстані між отворами в диску 22. У результаті, при обертанні диска на фотодіоді 25 виникає 200 світлових імпульсів за один оберт ходового гвинта 10, які формувач імпульсів 26 перетворює у послідовність прямокутних імпульсів амплітудою 10 В, причому кількість їх складає 200 на 1 оберт гвинта. Оскільки крок гвинта складає 2 мм, то один імпульс відповідає переміщенню гайки, а отже, і рухомого захвата на 0,01 мм. Із формувача 26 імпульси надходять на перерахункову схему 27, де здійснюється розподіл частоти з коефіцієнтом розподілу від 1 до 100, чим задається масштаб реєстрації по осі деформації. Реєстрація деформації здійснюється електронним лічильником 28 у цифровому вигляді. Керування процесом реєстрації здійснюється блоком управління 29, що визначає момент початку виміру деформації електронним лічильником 28; виробляє сигнал, який переводить частотомір 21 у режим виміру навантаження в періоди часу, що відповідають деформації зразка 1 %, 5 %, 10 % тощо; запам'ятовує величину навантаження, яка відповідає моменту розриву зразка і переводить частотомір 21 у режим виміру розривного навантаження. Точність автоматичної системи виміру і реєстрації кривої деформування складає: для зусилля – 1,0 % від максимального значення при даному масштабі реєстрації; для деформації – 0,5 %.

Для вивчення розтягу листових текстильних та шкіряних матеріалів у широкому інтервалі температур служить термокамера 30. Сталість заданої температури підтримується в термокамері автоматичною слідкуючою системою пропорційного регулювання, що складається з блоку управління 31, нагрівача 32, датчика температури 33 і тепловентилятора 34.

3.3. Дослідна установка для визначення повзучості і тривалої міцності

Дослідна шестипозиційна установка (рис. 3.3) призначена для дослідження в'язкопружних властивостей і тривалої міцності текстильних та

шкіряних матеріалів у широкому діапазоні температур (20...300°C) [173, 174].

Установка (рис. 3.3) складається з корпусу, системи навантаження, двоканальної системи виміру й автоматичного запису деформації, а також автоматичної слідкуючої системи пропорційного регулювання, що забезпечує підтримку в термокамері заданої температури і зміну її за визначеною програмою. Основні технічні дані дослідної установки наведені в табл. 3.3

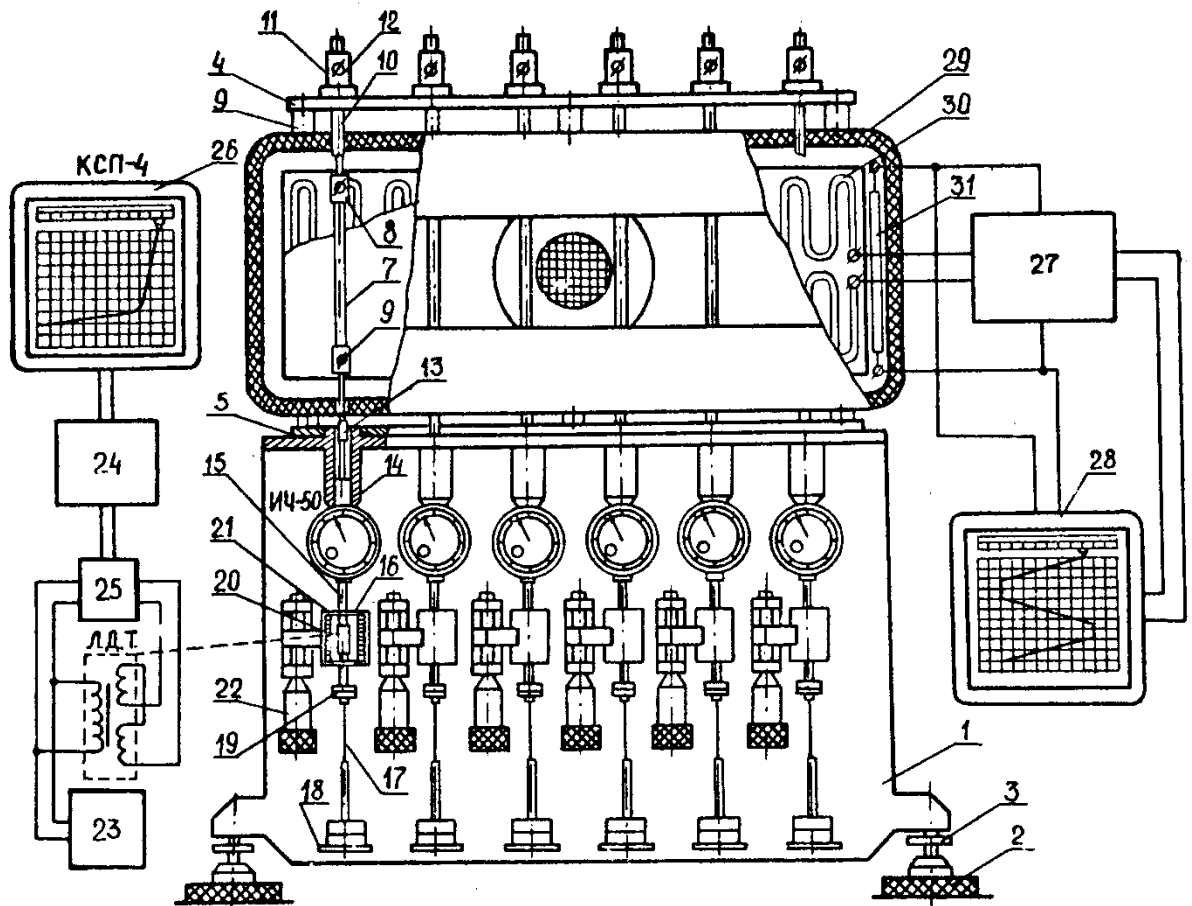


Рис. 3.3 Дослідна установка для визначення в'язкопружних властивостей і тривалої міцності листових текстильних та шкіряних матеріалів: 1 – корпус установки; 2 – віброізолююча прокладка; 3 – установлювальний гвинт; 4 – верхня траверса; 5 – нижня траверса; 6 – колона; 7 – зразок; 8 – верхній затискач; 9 – нижній затискач; 10 – шток; 11 – напрямна втулка; 12 – плунжерний затискач; 13 – перехідна втулка; 14 – держак; 15 – спеціальний стержень; 16 – лінійний диференціальний трансформатор; 17 - гнучкий елемент; 18 – підставка для вантажів; 19 – спеціальні вантажі; 20 – котушка індуктивного датчика; 21 – пермалоевий екран; 22 – мікрометричний пристрій нуля відліку; 23 – кварцовий генератор; 24 – підсилювач; 25 – схема амплітудно-фазової компенсації залишкового сигналу; 26 – реєструючий прилад; 27 – блок управління; 28 – блок програмування температури; 29 – термокамера; 30 – нагрівач; 31 – термометр опору.

Таблиця 3.3

Основні технічні дані дослідної установки для дослідження в'язкопружних властивостей і тривалої міцності текстильних та шкіряних матеріалів

Технічна характеристика	Технічні дані
Кількість секцій	6
Робочий діапазон випробовуваних навантажень, Н	0...100
Допустима похибка величини навантаження, що задається, %	± 1
Тип вимірювача деформації	електронно-механічний
Граничне значення електронного вимірювача деформації, мм	5
Граничне значення шкали індикатора деформації, мм	50
Ціна поділки шкали електронного вимірювача деформації, мм	0,001
Ціна поділки шкали індикатора деформації, мм	0,01
Допустима похибка вимірювача деформації, поділок	± 1
Робочий хід нижнього захвата, мм	50
Найбільша відстань між захватами, мм	150
Найбільша ширина випробовуваних зразків, мм	25
Робочий діапазон випробовуваних температур, °С	20...300
Ціна поділки шкали температур, °С	1
Допустима похибка відхилення від заданої температури, °С	± 0,5
Граничне значення шкали датчика часу, годин	1000
Похибка виміру датчика часу, с	0,1
Габаритні розміри установки (довжина×ширина×висота), мм	855×470×1855

Корпус дослідної установки є несучим елементом і являє собою масивну зварену раму 1 (рис. 3.3), на якій змонтовані усі вузли й апаратура. Корпус установлюється на фундаменті через віброізолюючі прокладки 2 і має можливість горизонтування за рівнем за допомогою установлювальних гвинтів 3.

Усі шість секцій змонтовані на одній силовій рамі, які складається з верхньої 4 і нижньої 5 траверс, з'єднаних між собою колонами 6. Силова рама кріпиться жорстко до корпусу 1 установки. Вона охоплює по периметру термокамеру, але при цьому не має з останньою теплового контакту, що дозволяє виключити вплив теплового розширення елементів силової рами на деформацію зразка.

Зразок 7 закріплюється в ідентичних за своєю конструкцією верхньому 8 і нижньому 9 затискачах, які складаються з основи і накладної губки з

напрямними буртиками, що забезпечують центрування осі плоских зразків. Висока чистота і точність виготовлення затискачів дозволяють створити між дотичними поверхнями зразка і затискача силу тертя, достатню для закріплення дуже тонких листових текстильних та шкіряних матеріалів (товщиною 0,3...5 мм) без порушення цілісності поверхневого шару зразків.

Верхній нерухомий затискач 8 кріпиться в штоку 10, який може переміщуватися в напрямній втулці 11, змінюючи робочу довжину зразка. Напрямна втулка 11 кріпиться до верхньої траверси 4 силової рами і має плунжерний затискач 12 для надійної фіксації штока 10. Нижній рухомий затискач 9 кріпиться за допомогою перехідної втулки 13 до ніжки індикатора годинникового типу ИЧ-50 (ціна поділки 0,01 мм), що закріплений у держаку 14. Останній, у свою чергу, кріпиться до нижньої траверси 5 силової рами. Шток індикатора ИЧ-50 через спеціальний стрижень 15 з'єднаний з осердям 16 лінійного диференціального трансформатора (ЛДТ), яке через гнучкий елемент 17 з'єднано з підставкою для вантажів 18.

Система виміру й автоматичного запису деформацій дозволяє візуально і за допомогою електронного вимірювального пристрою реєструвати з високою точністю деформацію зразка в процесі повзучості. Вона складається з вимірювальної й електронної систем автоматичного запису деформацій.

Вимірювальна система являє собою оригінальну комбінацію індикатора переміщень годинникового типу ИЧ-50 і електричного лінійного диференціального трансформатора (ЛДТ), що є датчиком переміщень. Безлюфтове переміщення цієї ланки забезпечується завдяки жорсткому зв'язку між штоком індикатора ИЧ-50 і осердям 16 ЛДТ, що дозволяє здійснювати тарування ЛДТ безпосередньо за шкалою індикатора. Компенсація сил тертя при переміщенні штока індикатора забезпечується підбором маси рухомих елементів і спеціальних вантажів 19.

Котушка 20 індуктивного датчика розташована в спеціальному пермалоевому екрані 21 мікрометричного пристрою установки нуля відліку 22, що кріпиться до нижньої траверси силової рами. Мікрометричний пристрій

установки нуля відліку 22 призначений для зміщення нуля відліку електронної системи виміру деформації кожної секції на величину, яка дорівнює орієнтовному значенню умовно-миттєвої деформації повзучості, що дозволяє вимірювати її значення з високою точністю ($\leq 0,5\%$ від вимірюваної величини, ціна поділки 0,001 мм) у широкому діапазоні постійних навантажень.

Електронна система автоматичного запису деформації складається з кварцового генератора 23, підсилювача 24, схеми амплітудно-фазової компенсації залишкового сигналу 25 на виході ЛДТ і реєструючого приладу 26, яким є самописний односекундний потенціометр КСП-4.

Автоматична слідкуюча система пропорційного регулювання для підтримання заданої температури і зміни її за визначеною програмою, складається з блоку управління 27, блоку програмування температури 28 і термокамери 29. Блок управління містить безконтактний тиристорний регулятор температури пропорційного регулювання, призначений для підтримки заданої температури від 20° до 300°C у термокамері з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Принцип дії регулятора температури ґрунтується на властивості тиристора змінювати в широких межах середнє значення випрямленої напруги шляхом зміни часу відмикання тиристорів відносно початку позитивної напівхвилі напруги в мережі, яка подається через тиристор на нагрівач 30. Величина випрямленої напруги в сталому режимі пропорційна тепловим втратам у термокамері і максимальна в період нагрівання термокамери.

Датчиком температури в термокамері 29 слугує термометр опору 31, задавачем температури в термокамері є реохорд блоку управління 27 або реохорд блоку програмування 28.

Датчик і задавач температури є плечами вимірювального моста. При досягненні всередині термокамери значення температури, встановленого на задавачеві, міст врівноважується і його вихідний сигнал дорівнює нулю. При відхиленні температури в термокамері від заданої на виході моста з'являється сигнал неузгодженості, пропорційний величині і знаку відхилення між заданою і істинною температурами в робочому об'ємі термокамери.

Цей сигнал підсилюється підсилювачем і управляє надалі часом відкриття тиристора, до силового кола якого включений нагрівач. Потужність, яка виникає на нагрівачі, залежить від тривалості відкриття тиристора. Блок програмування температури 26 призначений для забезпечення розігріву термокамери за певною закономірністю в діапазоні від 20°C до 300°C [175].

В основу роботи блоку програмування покладений принцип автоматичного зчитування фотоелектричною слідкуючою системою програми, нанесеної на діаграмну стрічку самописного потенціометра, і перетворення графічного закону зміни температури в управляючу напругу постійного струму, полярність і величина якої пропорційні рівню і знаку програмного значення температури.

3.4. Установа для акустичних досліджень

Найбільш важливими характеристиками, які визначають експлуатаційні властивості матеріалів, є структурні параметри і пружні константи. Визначення зазначених величин для текстильних та шкіряних матеріалів простіше проводити динамічними методами. Основна мета розробки полягає в тому, щоб за допомогою акустичного методу зондування прогнозувати ефективні властивості шкіряних, полімерних, композиційних та текстильних матеріалів, які пройшли технологічну обробку.

Розроблена установа призначена для визначення ефективних властивостей текстильних та шкіряних матеріалів, волокон, ниток, плівок, пряжі акустичним методом у діапазоні температур від -100 до +200°C [171, 176]. На дослідній установці також можна робити випробування зразків і з інших матеріалів у межах конструктивної можливості і технічної характеристики установки. Основні технічні дані дослідної установки наведені в таблиці 3.4.

Структурна схема установки та її загальний вигляд наведені на (рис. 3.4).

Таблиця 3.4

Основні технічні дані випробувальної установки для акустичних досліджень ефективних властивостей текстильних та шкіряних матеріалів

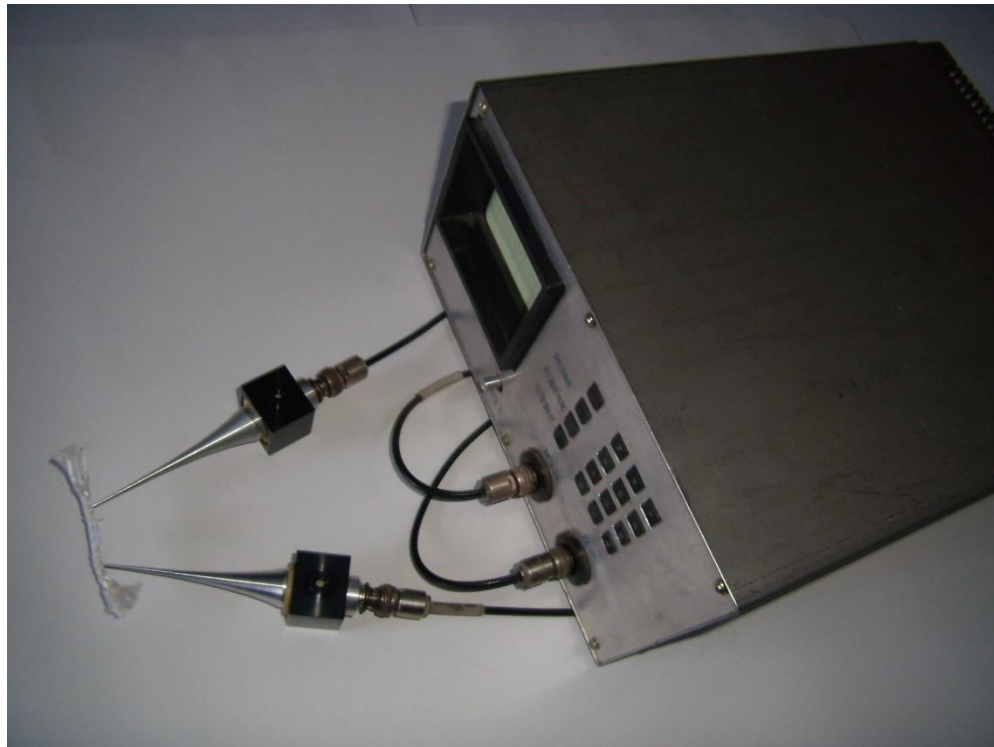
Технічна характеристика	Технічні дані
Робочі умови експлуатації: діапазон температур, °С відносна вологість, %	-100...+200 до 95
Безперервність роботи установки не більше, годин	16
Найменша відстань між хвилеводами, мм	5
Робоча частина екрана: по вертикалі, мм по горизонталі, мм	50 80
Дрейф нуля підсилювачів не перевищує за 60 хвилин, мВ	5
Максимальна чутливість каналів вертикального і горизонтального відхилень променя, мм/мВ	5
Похибка генератора по частоті, Гц	0,01...0,02
Нестабільність частоти генератора, Гц	0,02
Робоча напруга, В	220 (±10%)
Частота мережі, Гц	50 (±0,5%)
Споживана потужність, Вт	150
Розміри установки (довжина × ширина × висота), мм	40 × 40 × 75
Маса установки, кг	25

Робота установки основана на тому, що передавальний хвилевід спеціальної форми періодично випромінює в досліджуваний зразок короткі зондувальні імпульси, а потім приймальний хвилевід приймає сигнали, які пройшли крізь зразок. Інтервал часу T між посиланням зондувального імпульсу і приходом сигналу переводиться в напругу, що відображається на екрані осцилографа.

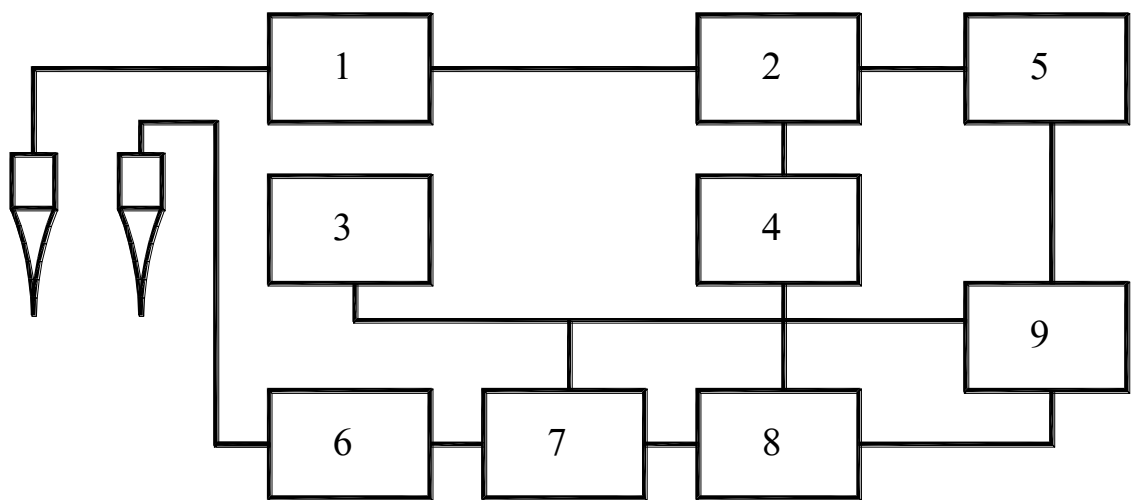
Тривалість зондувальних імпульсів у приладі регулюється в діапазоні 50...500 мкс, частота заповнення – 220 кГц. Імпульсна потужність випромінювання становить приблизно (1,5...2,0) Вт. Інтервал часу T , протягом якого відбувається проходження імпульсу крізь досліджуваний об'єкт, визначається за формулою

$$T = \frac{L}{C}, \quad (3.4)$$

де L – відстань між випромінюючим і приймаючим хвилеводом, м; C – швидкість звуку в досліджуваному середовищі, м/с.



а)



б)

Рис. 3.4 Загальний вигляд (а) та структурна схема установки (б):

1 – ультразвуковий генератор; 2 - тактовий генератор; 3 - пристрій ЧАРП;
 4 - ключовий каскад; 5 - блок індикації; 6 – блок приймача; 7 - блок селекції;
 8 - блок управління; 9 – перетворювач.

В установці передбачене часове автоматичне регулювання посилення (ЧАРП), яке змінює коефіцієнт підсилення приймача протягом кожного циклу від мінімального до максимального, що сприяє зменшенню негативного впливу

шумів на прилад. Крім того, у приладі є блок селекції, що дозволяє вибірково вимірювати затримку (інтервал часу T) кожного з п'ятнадцяти ехоімпульсів, тобто визначати відстань до п'ятнадцяти перешкод, які сприймаються зондувальним імпульсом. Це дає можливість, зокрема, визначати не тільки швидкість поширення ультразвуку, але і судити про характер внутрішньої структури (тріщини, сторонні включення тощо) досліджуваного матеріалу.

Тактовий генератор 2 приладу виробляє імпульси, що включають ультразвуковий генератор 1 і відкривають ключовий каскад 4. Останній встановлює у вихідний стан ЧАРП 3, блок селекції 7, блок управління 8 і перетворювач 9. Радіочастотний імпульс, сформований ультразвуковим генератором, перетворюється випромінювачем в акустичний, який і поширюється в досліджуваному середовищі. Після закінчення надходження імпульсу запуску генератор ультразвукових коливань виключається, а приймальний хвилевід спеціальної форми приймає ехосигнали і формує з них радіоімпульси, що надходять на вхід приймача 6, яким управляє пристрій ЧАРП, підсилюються, детектуються і перетворюються в імпульси постійної тривалості й амплітуди, що потім надходять у блок селекції. На його виході імпульс виникає тільки при надходженні на вхід блоку заданого числа імпульсів (від 1 до 15). Перетворювач 9 приладу починає працювати відразу ж після закінчення імпульсу запуску, а припиняє – після надходження імпульсу з блоку селекції. Час роботи перетворювача, як уже зазначалося, прямо пропорційний базі вимірювання. Він і перетворюється в значення напруги, яка надходить в блок індикації 3.

За результатами випробувань і даними їх статистичної обробки було встановлено: при дослідженні проходження ультразвукових хвиль в ізотропному матеріалі при об'ємному вимірюванні інструментальна похибка приладу склала $\pm 0,4$ %; відносна похибка приладу при вимірюванні бази прозвучування склала $\pm 0,5$ %; при дослідженні впливу зусилля притиснення хвилеводів на похибку визначення швидкості проходження ультразвуку зусилля притиснення перетворювачів до досліджуваної поверхні практично не впливає

на похибку вимірювання; прилад дозволяє миттєво визначити міцність зразків не руйнуючи їх.

Розроблена установка, її метрологічна атестація та проведені випробування показали, що за допомогою установки можна визначати структурні та ефективні властивості текстильних матеріалів та пакетів з них, шкір, волокон на її основі, ниток, полімерних волокон, плівок, дротів, композиційних і монолітних матеріалів.

3.5. Установка і методика дослідження структури

Дослідна установка призначена для визначення діаметрів та довжини волокон, відстаней між умовними центрами волокон та пучків, типу структурного пакування текстильних та шкіряних матеріалів в інтервалі температур (20...200°C) [177, 178]. Основні технічні дані дослідної установки наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Основні технічні дані дослідної установки для дослідження структури текстильних та шкіряних матеріалів.

Технічна характеристика	Технічні дані
Тип вимірювача лінійних розмірів	оптико-механічний
Граничне значення шкали вимірювача лінійних розмірів, мм	300
Ціна поділки шкали оптичного вимірювача, розмірів, мм	$1 \cdot 10^{-4}$
Ціна поділки шкали механічного вимірювача, розмірів, мм	0,001
Найбільші габарити випробовуваних зразків, довжина × ширина, мм	350 × 350
Тип ділильного механізму	секторний
Ціна поділки шкали ділильного механізму, кутові градуси	5
Похибка шкали ділильного механізму, кутові хвилини	±10
Робочий діапазон вимірювальних температур, °C	20...200
Ціна поділки шкали температур, °C	1
Допустима похибка відхилення від заданої температури, °C	± 0,5
Габаритні розміри (довжина × ширина × висота), мм	1100 × 1100 × 800

Установка (рис. 3.5) створена на базі координатографа ПК-1 і складається з власне координатографа, оптичної голівки, предметного поворотного столика, рамки для установки зразка, термокамери й автоматичної слідкуючої системи пропорційного регулювання для підтримки в термокамері заданої температури і зміни її за певною програмою.

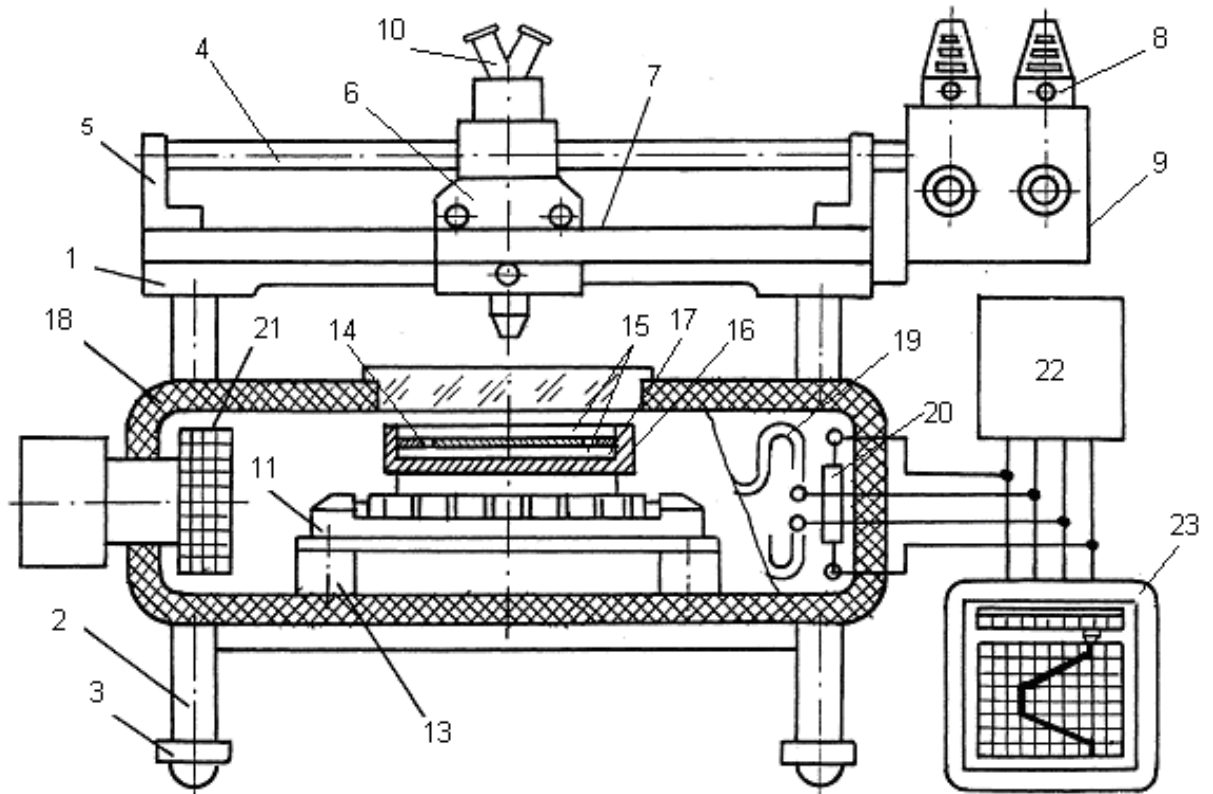


Рис. 3.5 Дослідна установка для визначення діаметрів та довжини волокон, відстаней між умовними центрами волокон та пучків, типу структурного пакування текстильних та шкіряних матеріалів в інтервалі температур (20...200°C): 1 - корпус координатографа ПК-1; 2 – стійка; 3 – регульовальні опори; 4 – високоточні ходові гвинти; 5 - безлюфтові опори; 6 – карета; 7 – напрямники; 8 - вимірювальна голівка; 9 - привод управління; 10 - бінокулярна оптична голівка; 11 - предметний поворотний столик; 12 - ділильний механізм; 13 - азбоцементні стійки; 14 - рамка для установки зразка; 15 - плоскопаралельні оптичні скельця; 16 – арматура; 17 - фторопластова прокладка; 18 – термокамери; 19 – нагрівач; 20 - датчик температури; 21 – тепловентилятор; 22 - блок керування; 23 - блок програмування температури.

Корпус *1* координатографа встановлений на чотирьох стійках *2*, обладнаних регулювальними опорами *3* з метою його горизонтування. На корпусі *1* встановлена двокоординатна оптико-механічна система виміру розташування точки на площині. Вона складається з високоточних ходових гвинтів *4*, встановлених у безлюфтових опорах *5*, каретки *6*, що переміщається по напрямниках *7*, трилімбової вимірювальної голівки *8* і привода керування *9*.

Усі вузли переміщень координатографа обладнані пристроями вибирання люфтів, що забезпечує вимір координат точок з високою точністю (ціна поділки трилімбової вимірювальної головки 0,001 мм).

На каретці *6* координатографа встановлена бінокулярна оптична головка *10* від мікроскопа МВС-1.

Предметний поворотний столик *11* обладнаний ділильним механізмом *12*, що дозволяє фіксувати розташування поворотного стола через $5^{\circ} \pm 10'$. Предметний поворотний столик поміщений у термокамеру *18* і ізольований від корпусу *1* координатографа азбоцементними стійками *13*. Рамка для установки зразка *14* складається з двох плоскопаралельних оптичних скелець *15*, поміщених у загальну арматуру *16* і розділених між собою фторопластовою прокладкою *17*, товщина якої на 0,01 мм більша від товщини досліджуваного зразка. Автоматична слідкуюча система пропорційного регулювання для підтримки заданої температури складається з термокамери *18*, нагрівача *19*, датчика температури *20*, у вигляді платиного термометра опору, тепловентилятора *21*, блоку керування *22* і блоку програмування температури *23*. Принцип роботи слідкуючої системи описаний детально в п. 3.3.

3.6. Випробувальна установка для визначення в'язкопружних характеристик текстильних матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань

В'язкопружні властивості текстильних матеріалів можливо оцінювати цілим комплексом механічних показників, або використовувати для цих цілей

універсальні показники - модуль пружності $E(t)$ і тангенс кута механічних втрат $tg \delta$, на основі яких визначати інші функції [159]. Використання динамічних методів випробування у сфері лінійно-в'язкої пружності дає можливість додатково отримувати цінну інформацію, без руйнування проб [98, 99]: величину сил тертя, коефіцієнти жорсткості, максимальний і мінімальний напрямки усадки матеріалів та ступінь неспівпадання пружної симетрії з геометричними вісями матеріалу.

При проведенні досліджень, важливими характеристиками, що визначають формостійкість деталей одягу, є пружні деформації за зміною яких можна судити про макроструктуру досліджуваного матеріалу.

Якщо детальне висвітлення динамічних методів випробувань у роботах [96 - 99] пов'язані з вивченням в'язкоупругих характеристик, а саме, ортотропних жорстких матеріалів (пластмас, плівок металів, волокнистих композитів) в діапазоні частот $10 \div 6 \cdot 10^3$ Гц і інтервалі температур - $60 \div +200$ °С, то на відміну від них матеріали для одягу мають широкий спектр анізотропних властивостей, які зазнають суттєвих змін у процесі дублювання [179].

Декремент загасання δ визначається за шириною резонансної западини амплітудної збурювальної сили при постійній амплітуді проби. Суть методу полягає в тому, що при виникненні явища резонансу, визначається амплітуда коливань проби збурювальною силою. Потім збільшують збурювальну силу в N раз, що призводить до зростання амплітуди коливань.

$$N = \frac{I_N^2}{I_p^2} \quad (3.5)$$

де - I_N і I_p відповідно струми збурювальної сили при резонансі і збурювальної сили, що збільшена в N раз.

При зміні збурювальної сили, встановленої вище і нижче від резонансної частоти домагаються зменшення величини амплітуди коливань до заданого значення, що відповідає резонансному. Ці значення частот і визначають ширину резонансної западини. Величина логарифмічного декременту загасання

δ визначається за формулою:

$$\delta = \frac{\pi(T_1 - T_2)T_p}{T_1 T_2 \sqrt{N^2 - 1}} \quad (3.6)$$

де T_p - період резонансних коливань, с; T_1 - період коливань при заданій температурі нижче резонансу, с; T_2 - період коливань при заданій температурі вище резонансу, N - коефіцієнт збільшення збурювальної сили.

Для оцінки в'язкопружних властивостей матеріалів є установка [166], частково модернізована нами стосовно до умов випробування текстильних матеріалів.

Установка (рис. 3.6) призначена для дослідження динамічних властивостей текстильних матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань шляхом визначення комплексного модуля пружності E і декременту загасання δ в діапазоні температур $-20 \div 200$ °С. Розрахункові вирази, які лягли в основу методики та принципу роботи установки, отримані з урахуванням коливань системи з одним ступенем свободи, тобто поздовжніх коливань стрижня, який жорстко закріплений одним кінцем і з вантажем на другому кінці. При цьому збудження стрижня здійснюється зовнішньою гармонійною силою. З урахуванням цього модуль пружності E рекомендується визначати, використовуючи вираз

$$E = 4\pi^2(M + m/3)l / FT_p^2 \quad (3.7)$$

де M - маса вантажу, кг; m - маса стрижня, кг; l - робоча довжина стрижня, м; F - площа поперечного перерізу проби, м²; T_p - період резонансних коливань, с.

У випадку дослідження текстильних матеріалів масою стержня в порівнянні з масою вантажу, можна знехтувати. Тоді рівняння (3.7) можна представити у виді

$$E = 4\pi^2 M l / FT_p^2 \quad (3.8)$$

Установка складається з механічної частини, коливальної системи, системи збудження і реєстрації коливань, термокріокамери, трикаскадної автоматичної системи стеження пропорційного регулювання, що забезпечує підтримку в термокріокамері заданої температури її змінення за заданою програмою. Основні технічні дані установки наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

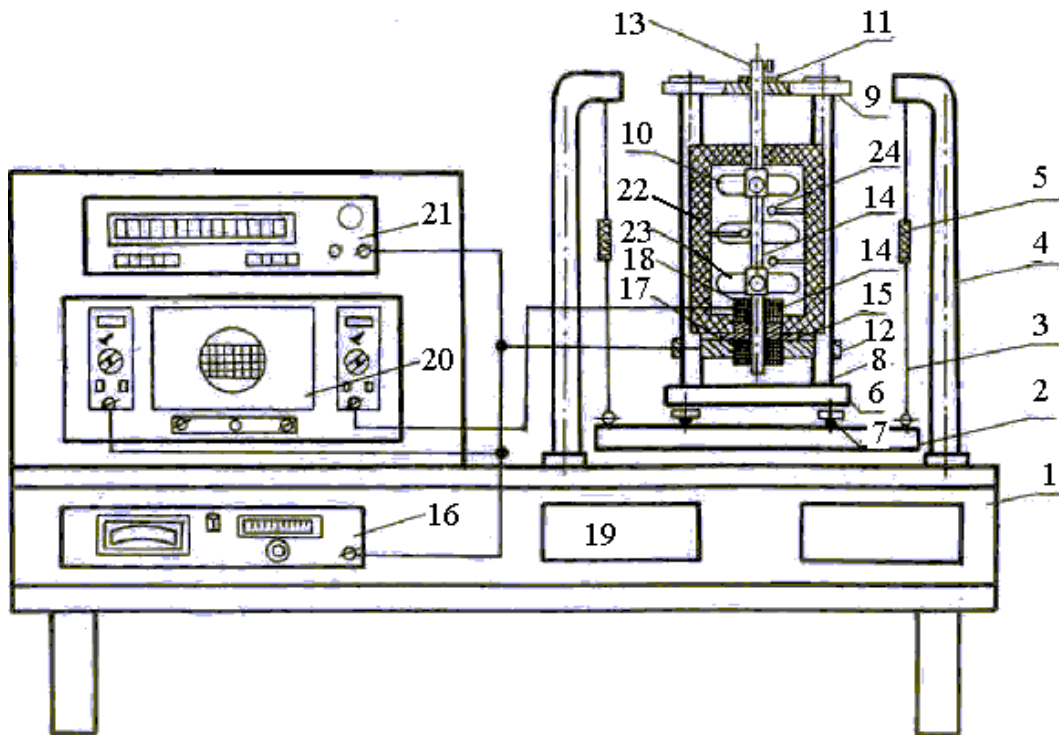
Основні технічні дані дослідної установки для визначення в'язкопружних властивостей матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань

Технічна характеристика	Технічні дані
Вид коливань по типу деформування проби	поздовжній
Діапазон частот синусоїдальних коливань, Гц	0,1-2000
Допустимі відхилення реєстрації моменту резонансу, с	10^{-5}
Відстань між захватами, мм 10-200	10-200
Найбільша товщина проб, мм	2
Ширина проб, мм	1-30
Номинальні значення маси змінних вантажів, кг	0,005-0,25
Робочий діапазон температур, °С	-100 ÷ 200
Ціна поділки шкали температур, °С	1÷5
Допустиме відхилення від заданої температур, °С	0,5
Допустиме відхилення вимірювання періоду корлебаній, %	0,25
Габаритні розміри установки, мм	1150x600x1350
Маса установки, кг	70

Механічна частина установки складається з зварного корпусу 1 і опорної плити 2, на якій встановлена вібраційна частина установки з коливальною системою і термокріокамерою. Опорна плита 2 підвішена на чотирьох струнах 3 до стійок 4. Струни 3 забезпечені регулювальними пристосуваннями 5, які забезпечують плавну зміну довжини струн, і як результат - зміну просторового положення опорної плити 2. Таке кріплення виключає витік енергії коливань досліджуваної системи та впливу на неї паразитних резонансів. Підставою вібраційної частини установки є плита 6, з регулювальними гвинтами 7, на якій кріпляться дві напрямні колони 8, які з'єднані з верхньою нерухомою траверсою 9.



a)



б)

Рис. 3.6 Установа для дослідження динамічних властивостей текстильних матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань: загальний вигляд (а) та структурна схема установки (б)

До траверси кріпиться верхній захоплювач *10*, який має можливість переміщуватись по центруючій втулці *11*, що має можливість змінювати робочу довжину зразка. Пристрій захоплення і термокамери були нами модернізовані стосовно розмірів проб тканин. Між плитою *6* і верхньої траверсою *9* по напрямних колонах *8* переміщується рухома траверса *12*, на якій кріпиться система збудження і реєстрації коливань .

Коливальна система складається з призматичного зразка (стиржня) *13* і вантажу *14*. Вантаж *14* являє собою набір постійних феритових магнітів, поміщених в тонку латунну трубку, що виконує роль екрану. Верхній кінець вантажу *14* має захват для кріплення і центрування зразка. Нижній кінець вантажу *14* має осьове кріплення для додаткових вантажів.

Для проведення випробувань текстильних матеріалів різної товщини були виготовлені набори вантажів з різними масами в межах від $5 \cdot 10^{-3}$ кг до $0,25 \cdot 10^{-3}$ кг.

Маса вантажу вибиралася такою, щоб не викликати явища повзучості в пробі при підвищених температурах.

Випробувальна установка має два режими роботи.

У режимі ручного управління частотою генератора система збудження поздовжніх коливань проби складається з котушки збудження *15* і генератора низьких частот *16*. Котушка збудження *15* встановлена в нижній частині спеціального екрану-тримача *17*, який закріплений на рухомій траверсі *12*. Екран-тримач *17* має можливість переміщуватись в двох взаємоперпендикулярних напрямках в горизонтальній площині, що дозволяє робити центрування проби *13* відносно вісі котушки збудження *15*.

Система реєстрації коливань досліджуваної проби *13* складається з реєструючої котушки *18*, встановленої у верхній частині екрану-утримувача *17*, двох широкосмугових підсилювачів *19*, двокоординатного осцилографа *20* та електронно-рахункового частотоміра *21*. За результатами зміни частоти генератора *16*, досягають виникнення резонансних коливань. При цьому на екрані осцилографа *20* момент резонансу зобразиться відповідно з фігурами Ліссажу - прямою лінією. Вимір величини періоду резонансних коливань

електронно-рахунковим частотомером 21, дає можливість визначити динамічний модуль пружності з виразу (3.8). При збільшенні збуджуючої сили в N раз, можна визначити зростання амплітуди коливань з виразу (3.5).

При частоті генератора 16 вправо і вліво від резонансу, знаходять такі частоти, при яких зростаюча амплітуда коливань зменшиться до свого резонансного значення. Декремент коливань визначається з виразу (3.6).

При роботі установки в режимі автоколивань проба 13 використовується як елемент акустичного зворотного зв'язку ширококутового підсилювача 19. Система збудження поздовжніх коливань складається при цьому з котушки збудження 15, проби 13, реєструючої котушки 18 і ширококутового підсилювача 19, до якого підключається система автоматичного регулювання посилення (АРУ), що дозволяє автоматично підтримувати з високою точністю задану амплітуду коливань проби 13. Величина резонансної амплітуди коливань проби регулюється зміною коефіцієнта посилення системи АРУ, що дозволяє проводити дослідження залежності динамічних властивостей полімерів від амплітуди деформації.

Система реєстрації коливань проби 13 складається з реєструючої котушки 18, ширококутового підсилювача 19, осцилографа 20, електронно-рахункового частотоміра 21, мікропроцесорного комплексу управління (СКУ) 25. Робота установки в цьому режимі використовується для дослідження динамічних властивостей тканин і ниток залежно від програмної зміни температури. При цьому процесом вимірювання управляє МКУ 25, алгоритм роботи якого складений таким чином, що при зміні температури в термокамері на $1 \div 5^\circ\text{C}$, по сигналу МКУ вимірюється період резонансних коливань частотоміром 21 і з його виходу через інтерфейс інформація надходить на мікро-ЕОМ, де за заданою програмою оброблюється, і результати обчислень динамічного модуля пружності надходять на цифродрукуючий пристрій.

Вимірювання декремента загасання при роботі в режимі автоколивань проводиться шляхом відключення АРУ в підсилювачі 19 і розриву акустичного зворотного зв'язку. При цьому сигнал з виходу підсилювача 19 у вигляді

віброграм затухаючих коливань надходить на пристрій для вимірювання декремента загасання, в основу роботи якого покладено підрахунок числа коливань за час, протягом якого амплітуда коливань зменшується в e раз (e - основа натуральних логарифмів) стосовно своєму резонансному значенню.

Для проведення випробувань в широкому діапазоні температур ($-100 \div 200^{\circ}\text{C}$) установка забезпечена термокріокамерой 22. Нагрівання проби в інтервалі температур $20 \div 200^{\circ}\text{C}$ здійснюється в термокріокамері 22 змінними нагрівальними безіндуктивними елементами 23. Нагрівальні елементи 23 розташовані у вигляді трьох секцій, рівномірно по довжині проби і управляються кожна окремо від трьоканального автоматичного стрижня системи пропорційного регулювання. В якості датчиків температури використовуються три термопари 24, встановлені в безпосередній близькості від проби. Використання трикаскадної системи підтримки заданої температури дозволило створити рівномірне по висоті камери температурне поле без перемішування повітря тепловентилятором, що в свою чергу виключило вібраційні і магнітні перешкоди, що створювались повітряним потіком і двигуном тепловентилятора.

Максимальна похибка визначення динамічного модуля пружності E і декремента загасання δ не перевищує відповідно $\pm 1,5\%$ і $\pm 2,5\%$.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. На підставі детального аналізу існуючих методів випробувань, розроблено методи та іспитові установки, для визначення у широкому температурно-часовому діапазоні необхідних технологічних властивостей текстильних та шкіряних матеріалів.

2. До складу комплексу входить ряд дослідних установок, що дозволяють досліджувати повзучість, релаксацію напружень, короткочасну і тривалу міцність, динамічні модулі пружності і декременти згасання при поздовжніх і крутильних коливаннях, параметри будови макроструктури текстильних та шкіряних матеріалів, у широкому інтервалі температур (-20...200) °С.

3. Наведено принципи роботи установок та окремих оригінальних пристроїв і описані методи визначення в'язкопружних властивостей, які необхідні для визначення технологічних параметрів шкіряних та текстильних матеріалів.

4. Запропоновані проекти методик вимірювань до кожної іспитової установки, в яких відображені сутність методу; сфера застосування методу; вимоги до зразків, що досліджуються; вимірювальна апаратура; послідовність проведення випробувань; здійснення обчислень; рекомендована форма запису результатів випробувань і обчислень; форма протоколу обчислень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі комплексних теоретичних досліджень в магістерській роботі вирішена важлива науково-технічна задача - розроблено комплекс методів і засобів оцінки фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості в широкому діапазоні температури, які забезпечують контроль і керування цими властивостями в ході технологічних процесів виробництва швейних виробів.

2. Обґрунтовано використання системи точних співвідношень, яка дозволяє по відомому аналітичному виразу однієї із спадкових функцій визначити аналітичні вирази решти функцій для оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості.

3. Встановлено, що з підвищенням температури границі області лінійної в'язкопружності зміщуються у бік підвищених напружень при повзучості й у бік підвищених деформацій при релаксації напружень. Область лінійності в'язкопружних властивостей тканин при температурі $T=20^{\circ}\text{C}$ в умовах релаксації напружень у середньому більш ніж на 25-50% ширше області лінійної в'язкопружності при повзучості, а по мірі збільшення температури розміри областей стають практично рівними. Визначені функції повзучості $I(t)$, релаксації напружень $E(t)$ і динамічного модуля пружності $E'(\omega)$ в інтервалі температур $T=20\dots 80^{\circ}\text{C}$.

4. Дослідження спадкоємного поведіння тканин показало, що тканини артикулу 15634 (вовна 88, поліестер 12), тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластин 4) і тканини артикулу 15034 (вовна 88, еластин 12) виявляють властивості притаманні скловидному, в'язкопружному і високоеластичному стану, причому границі областей, де виявляються зазначені властивості, істотно залежать від температурно-часового діапазону випробувань.

5. Дослідження динамічного модуля пружності $E_1(\omega)$ показало, що в діапазоні частот 10-135 Гц спостерігається практично постійне значення модуля для всіх досліджених матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Огибалов П.М., Ломакин В.А., Кишкин Б.П. Механика полимеров. - М.: МГУ, 1975. - 528 с.
2. Гливенко В.И, Интеграл Стильтьеса. - М-Л.: ОНТП, ТТЛ, 1936. -216 с.
3. Ильюшин А.А., Победря В.Е. Основы математической теории термо-вязкоупругости. - М., 1970, - 280 с.
4. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. Изд-во «Наука», 1968. - 416 с.
5. Ишлинский А.Ю. Уравнения деформирования не вполне упругих вязкоэластических тел. Известия АН СССР, ОТН, № I, 1945, с. 34-45.
6. Скудра А.М. Длительная прочность упруго-вязких тел. Сб. Вопросы динамики и динамической прочности, вып. IV, Рига, 1956. - 42 с.
7. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Гетерс Г.А. Сопротивление жестких полимерных материалов. Изд-во «Зинатне», Рига, 1967, -398 с.
8. Ржаницын А.Р. Некоторые вопросы механики систем деформирующихся во времени. Гостехиздат. М.-Л., 1949. - 252 с.
9. Гермелис А.А., Латищенко В.А. Определение реологических характеристик полимерных материалов из статических кривых, кривых ползучести и релаксации. Механика полимеров, 1967, № 6, с. 977-988.
10. Уржумцев Ю.С., Максимов Р.Д. Графоаналитическое определение реологических коэффициентов. Механика полимеров, 1968, № 4, с. 754-757.
11. Малинин Н.И. Прикладная теория пластичности и ползучести. Изд-во «Машиностроение», М., 1968, - 400 с.
12. Аскадский А.А. Деформация полимеров. М., «Химия», 1973. - 448 с.
13. Ержанов Ж.С. Об оценке напряженного состояния горного массива . В сб. «Математические методы в горном деле», т. 2, изд-во СО АН СССР, Новосибирск, с. 15-23.
14. Слонимский Г.Л. О законах деформации реальных материалов. Журнал технической физики, 1939, т. 9, № 20, с. I79I-I807.
15. Слонимский Г.Л., Роговина Л.З. Определение механических характеристик полимерного материала по релаксации напряжения при

постоянной деформации. Высокомолекулярные соединения 1964, № 4, с. 620-623.

16. Павлов В.И., Аскадский А.А., Слонимский Г.Л. Исследование влияния надмолекулярной структуры на релаксационные свойства кристаллических и аморфных полимеров. Высокомолекулярные соединения, 9А, 1967, № 2, с. 385-392.

17. Слонимский Г.Л., Аскадский А.А., Мжелский А.И. О теплостойкости полимеров. Высокомолекулярные соединения, 1970, 12А, № 5, с. 1161-1179.

18. Корзенева Ю.И., Виноградова С.В., Слонимский Г.Л., Коршак В.В., Аскадский А.А. Исследование процесса отверждения ненасыщенных полимеров. Высокомолекулярные соединения. 1969, 11А, № 3, с. 519-524.

19. Бронский А.П. Явление последействия в твердом теле. Прикладная математика и механика, т.5, № 1, 1941, с. 31-56.

20. Ван Фо Фы Г.А., Об уравнениях связи между напряжениями и деформациями в стеклопластиках. Прикладная механика, 1965, т.1, с. 110-115.

21. Ван Фо Фы Г.А., Озеров В.И. Вязко-упругие деформации терморезистивных полимеров. Прикладная механика, т. 1, в.8, 1965, с. 100-105.

22. Ван Фо Фы Г.А., Озеров В.И. До нелінійної теорії повзучості полімерів. Доповіді АН УРСР, 1968, №7, с.652-655.

23. Ван Фо Фы Г.А., Озеров В.И. К основам теории нелинейной термовязкоупругости некоторых полимеров. В книге: Тепловые напряжения в элементах конструкций. Изд-во «Наукова думка», Киев, 1969, с. 256-260.

24. Озеров В.И. Термовязкоупругие деформации некоторых полимеров. Прикладная механика, 1965, №11, с. 113-118.

25. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. - Изд-во «Наука», М., 1966. - 752 с.

26. Малинин К.И. Ползучесть элементов конструкций из полимерных материалов. Журн.прикл.механики и техн.физики, № 2, 1970, с. 109-125.

27. Билида Г.В., Зайцев И.Я. Про повзучість та релансацію напружень в склопластику. Доповіді АН УРСР, 1970, №7 с. 61.

28. Ривкинд В.Н., Екельчик В.С. К вопросу об анизотропии ползучести

стеклопластика и оценке ее влияния на изгиб и устойчивость пластин. В кн.: Строительная механика корабля, Л., 1968, вып.110, с. 129-140.

29. Билида Г.В. О прочности и деформативности стеклопластика при сдвиге. Проблемы прочности, 1971, № 7, с. 46-51.

30. Работнов Ю.Н. Равновесие упругой среды с последствием. Прикладная математика и механика, т. 12, № I, 1948, - с. 52-62.

31. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. -М., «Наука», 1977. - 384 с.

32. Розовский М.И. Некоторые свойства специальных операторов, применяемых в теории ползучести. Прикладная математика и механика, 1959, т. 23, № 5, с. 978-981.

33. Розовский М.И. Об одном свойстве степени специального оператора и его приложении к решению динамических задач. Сб. «Ползучесть и длительная прочность», Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1963, с. 112-118.

34. Синайский Е.С. О некоторых свойствах специального оператора, имеющего приложения в теории ползучести. Известия АН Арм. ССР, физ.-матем. науки, 1964, т- 17, № 6, с.121-134.

35. Громов В.Г. К вопросу о решении граничных задач линейной вязкоупругости. Механика полимеров, 1967, № 6, с. 999-1011.

36. Ривкинд В.Н. Способ определения параметров дробно-экспоненциальной функции для описания кривой ползучести. В кн.: Свойства судостроительных стеклопластиков и методы их контроля. Л., вып. 3, 1974, с. 111-114.

37. Гольдман А.Я., Щербак В.В., Кислов Е.Н., Дворский Е.И. Способ определения параметров для описания кривой ползучести наследственных материалов на основе таблиц β - функций Работнова. Машиноведение, 1977, № 6, с. 77-82.

38. Звонов Е.Н., Малинин Н.И., Палерник Л.Х., Цейтлин В.М. Определение характеристик ползучести линейных упруго-наследственных материалов с использованием ЭЦВМ. Изв. АН СССР. Механика твердого тела, 1968, № 5, с. 72-76.

39. Розовский М.И. Нелинейные интегрально-операторные уравнения ползучести и задача о кручении цилиндра при больших углах крутки. Изв. АН СССР, ОТН. Механика и машиностроение, № 5, с. 42-51.

40. Розовский М.И. О некоторых особенностях упруго-наследственных сред. Изв. АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, 1961, № 2, с. 30-36.

41. Акнин Б.Д. Асимптотическое разложение экспоненциальной функции дробного порядка. Прикл. математика и механика, ХХУ, вып. 4, 1961, с. 796-798.

42. Работнов Ю.Н., Паперник Л.Х., Звонов Е.Н. Таблицы дробно-экспоненциальной функции отрицательных параметров и интеграла от нее. М. 1969. - 132 с.

43. Афанасенко Н.Н., Екелочик В.С., Ривкинд В.Я., Рябов В.М. Вычислительные аспекты в задачах вязкоупругости. В кн.: Численные методы решения задач теории упругости и пластичности. Материалы IV Всесоюзной конференции, ч.2, Новосибирск, 1976, с. 5-23.

44. Колтунов М.А. К вопросу выбора ядер при решении задач с учетом ползучести и релаксации. Механика полимеров, 1966, с. 483-497.

45. Слуцкий Е.Е. Таблицы для вычислений неполной Г-функции и функции вероятности. - Изд-во АН СССР, 1950. - 72 с.

46. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. - Изд-во «Высшая школа», М-, 1976. - 277 с.

47. Работнов Ю.Н., Паперник Л.Х., Степанычев Е.И., Приложение нелинейной теории наследственности к описанию временных эффектов в полимерных матрицах. Механика полимеров, 1971, № I, с. 74-78.

48. Работнов Ю.Н., Паперник Л.Х., Степанычев Е.И. Описание ползучести композиционных материалов при растяжении и сжатии. Механика полимеров, 1973, № 5, с. 779-785.

49. Потураев В.Н., Дырда В.И., Круш И.И. Прикладная механика резины. - Киев, 1975, 216 с.

50. Екельчик В.С., Ривкинд В.Н. Аналитическое описание линейной анизотропной ползучести тканевых стеклопластиков различных схем

армирования. В кн.; Свойства полиэфирных стеклопластиков и методы их контроля. Л., 1970, вып. 2, с. 151-167.

51. Брызгалин Г.И. К описанию анизотропной ползучести стеклопластиков. Журнал прикладной механики и технической физики, 1963, № 6, с. 177-182.

52. Екельчик В.С., Исмаилов В.С., Кострицкий С.Н., Сборовский А.К. Описание температурной зависимости вязкоупругих свойств полимеров в динамическом режиме на основе линейной теории термо-вязкоупругости. Механика полимеров, 1977, № 5, с. 915-918.

53. Листовничий В.Ж., Шермегор Т.Д. Релаксация напряжений и ползучести некоторых линейных вязко-упругих сред. Инж. журн. Механика твердого тела, 1970, № 4, с. 106-112.

54. Шермегор Т.Д. Реологические характеристики упруго-вязких материалов, обладающих асимметричным релаксационным спектром. Инж. журн., 1967, № 5, с. 73-83.

55. Бартнев Г.М., Зеленев Ю.В. Физика и механика полимеров. – М.: Высшая школа, 1983. – 391 с.

56. Перепелкин М.Е. Структура и свойства волокон. – М.: Химия, 1985.- 208 с.

57. Роговин З.А., Малкин А.Я. Физика полимеров. Перевод с английского. – М.: Мир, 1969. – 322 с.

58. Екельчик В.С. Применение дробно-экспоненциальных функций для описания вязкоупругого поведения полимеров в широком температурно-временном диапазоне. Изв. АН СССР. Механика твердого тела, 1960, № 1, с. 116-123.

59. Демидова И.И., Екельчик В.С. Об описании реологии полимеров с помощью суммы дробно-экспоненциальных функций. В кн.: Исследования по упругости и пластичности, Л., 1978, № 12, с. 107-113.

60. Шермегор Т.Д. Описание наследственных свойств материала при помощи суперпозиции операторов. В кн.: Механика деформируемых тел и конструкций. М., 1975, с. 528-532.

61. Екельчик В.С., Рябов В.М. Об использовании одного класса наследственных ядер в линейных уравнениях вязкоупругости. *Механика композитных материалов*, 1981, № 3, с. 393-404.
62. Бугаков И.И. Ползучесть полимерных материалов. - Наука, М., 1973. - 288 с.
63. Тернер С. Механические испытания пластмасс, - Изд-во "Машиностроение", М., 1979. - 175 с.
64. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Механизмы релаксационных процессов в полимерах. *Механика полимеров*, 1975, № I, с. 107-125.
65. Smith T.L. Viscoelastic behavior of polyisobutylene under constant rate of elongation. *J. Polym. Sci.*- 1956, vol.20, p.89.
66. Sips R. General Theory of Deformation of Viscoelastic Substances. *J. Polym. Sci.*- 1951, vol.9, p. 191-206.
67. Москвитин В.Б. Сопротивление вязкоупругих материалов. - Изд-во "Наука", М., 1972. - 327 с.
68. Михайлов И.Г., Соловьев В.А., Сырников С.П. Основы молекулярной акустики. - Изд-во "Наука", М., 1964. - 514 с.
69. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах. - Изд-во И.Л., М., 1955. - 192 с.
70. Lee E.H., Morrison I.A. A comparison of the propagation of longitudinal waves in rods of viscoelastic materials. *J. Polym. Sci.*,- 1956, vol.19, p. 93-110.
71. Lee E.N., Kanter I. Wave propagation in finite rods of viscoelastic materials. *J. Appl. Phys.*, 1953, vol.24, p.1115.
72. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Релаксационные явления в полимерах. - Изд-во "Химия", М., 1972. - 373 с.
73. Staverman A.I., Schwarzl F.R. Linear Deformation Behavior of High Polymers. *Die Physik der Hochpolymeren* (Stuart H.A.ed vol.4, ch.1, Berlin, 1956, p. 114-142.
74. Алфрей Т. Механические свойства высокополимеров. - Изд-во И.Л., М., 1952. - 620 с.
75. Бленд Д. Теория линейной вязкоупругости. - Изд-во "Мир", М., 1965. -

199 с.

76. Постников В.С. Исследование молекулярного движения в твердых полимерах методом внутреннего трения. Успехи химии, 1967, № 10, с. 1842-1879.

77. Зинер К. Упругость и неупругость металлов. В книге: Упругость и неупругость металлов. Изд-во И.Л., М., 1954, с.8-1.

78. Morrison I.A. Wave propagation in rods with Voint materials and viscoelastic materials with three parametee models. Quart. J. Maht.- 1956, vol.14, p. 153-169.

79. Мешков С.И. Интегральное представление дробно-экспоненциальных функций и их применение к динамическим задачам линейной вязкоупругости. Журнал прикладной механики и технической физики. 1970, № I, с. 103-110.

80. Мешков С.И. К описанию внутреннего трения в наследственной теории упругости при помощи ядер, обладающих слабой сингулярностью. Журнал прикладной механики и технической физики, 1967, № 4, с. I47-I5I.

81. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. - Изд-во "Металлургия", М., 1969. - 330 с.

82. Шермергор Т.Д. Об использовании операторов дробного дифференцирования для описания наследственных свойств материалов. Журнал прикладной механики и технической физики, 1966, № 6, с. 118-121.

83. Белов М.А., Богданович А.Е. Численное обобщение преобразования Лапласа методом асимптотического расширения интервала в динамических задачах вязкоупругости. Механика полимера 1976, №5, с. 864-870.

84. Шермергор Т.Д. Реологические характеристики упруговязких материалов, обладающих асимметричным релаксационным спектром. Инженерный журнал, 1967, № 5, с. 73-83.

85. Кокошвили С.М., Калнинь П.П. Построение зависимостей «напряжение - деформация» стеклопластиков по экспериментальному изучению волновых процессов. Механика полимеров, 1974, № 4, с,704-705.

86. Кокошвили С.М. Исследование механических свойств полиэтилена и фторопласта в широком диапазоне скоростей деформации. Механика

полимеров, 1968, № I, с. 45-52.

87. Кокошвили С.М., Тамуж В.П. Влияние скорости деформации на механические свойства полиформальдегида. Механика полимеров, 1966, № 6, с. 937-940.

88. Кокошвили С.М., Тамуж В.П., Янсон Ю.О. Вычисление релаксационных спектров по результатам динамических испытаний. Механика полимеров, 1971, № 2, с. 349-353.

89. Янсон Ю.О. Определение спектров времен релаксации и рассеянной энергии ряда жестких полимерных материалов при ударном нагружении: Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. - Рига, 1973. - 12 с.

90. Gross B. The mathematical structure of the theories of viscoelasticity.- Hermann, Paris.- 1968.- 71 p.

91. Гольберг И.И. Механическое поведение полимерных материалов (математическое описание). - Изд-во "Химия", М., 1970. – 192 с.

92. Gurtin M.E., Sternberg E. On the linear Theory of Viscoelasticity. Archive for rational mechanics and analysis.- 1962, p. 11-291.

93. Staverman A.I., Schwarzl F. The Viscoelastic Properties of Plastics. J. Appl. Sci. Res.- 1953, A.4, p. 127-134.

94. Hopkins I.L., Hamming R.W. On creep and relaxation. J. Appl. Phys.- 1957, vol.28, 8, p. 906-909.

95. Taylor R.L. Inversion of Prony series characterization for Viscoelastic stress analysis. Int. J. Numer. Meth. Eng.-1973, 5, n.4, p. 499-502.

96. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. - М.: Химия, 1978.- 336 с.

97. Кокошвили С.М. Методы динамических испытаний жёстких полимерных материалов. - Рига: Зинатне, 1978. - 182 с.

98. Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. - М.; Химия, 1973. - 296 с.

99. Кениг Дж. Новейшие инструментальные методы исследования структуры полимеров.- М.: Мир, 1982,- 264 с.

100. Слонимский Г.Л., Роговина Л.З. Определение механических характеристик полимерного материала по релаксации напряжения при постоянной деформации. Высокомолекулярные соединения 1964, № 4, с. 620-623.
101. Уржумцев Ю.С., Максимов Р.Д. Прогностика деформативности полимерных материалов. - Изд-во "Зинатне", Рига, 1975. - 416 с.
102. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. - М.: Химия, 1978.- 336 с.
103. Номенклатурный перечень изделий Ивановского завода испытательных приборов на 1986 год. - Типография им. В.И. Ленина, г. Кинешма, 1986. - 68 с.
104. Овсянников Б.М. Современные приборы и машины для механических испытаний металлов. Заводская лаборатория, 1982, №5, с. 86-93.
105. Испытательная техника: Справочник. Под ред. В.В. Ключева – М.: Машиностроение, 1982. - 528 с.
106. ГОСТ 18197-84. Пластмассы. Метод испытания на ползучесть при растяжении при постоянной нагрузке. – Переиздание 01.01.1992 г.
107. ГОСТ 14236-83. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – Переиздание 01.01.1991 г.
108. ГОСТ 20812-84. Пластмассы. Определение динамического модуля сдвига и тангенса угла механических потерь методом свободных крутильных колебаний. – Переиздание 01.01.1992.
109. ГОСТ 19873-84. Пластмассы. Резонансный метод определения динамических модулей упругости и коэффициентов потерь при колебаниях консольно закрепленного образца. - Переиздание 01.01.1994.
110. ГОСТ 9550-83. Пластмассы. Методы определения модуля упругости. - Переиздание 01.01,1991г.
111. ГОСТ 14359-83. Пластмассы, Методы механических испытаний. Общие требования. - Переиздание 01.01.1991г.

112. ГОСТ 12580-85. Пленки латексные. Метод определения упруго-прочностных свойств при растяжении. - Переиздание 01.01.1992г.

113. ГОСТ 12019-86. Пластмассы. Изготовление образцов для испытания из термопластов. Общие требования. - Переиздание 01.01. 1994 г.

114. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. - Изд-во "Мир", М., 1974. - 338 с.

115. Баев Л.В., Калинин Н.И., Работнов Ю.Н., Шубин И.А. Установка для испытаний пластмасс на ползучесть и релаксацию. Заводская лаборатория, 1962, № 4, с. 498-500.

116. Павлов Н.Н. Устройство для определения механических свойств полимеров. Заводская лаборатория, 1962, № 4, с.497-498.

117. Лукьянчиков, Попов Г.Г. Дискуссия о методах исследования и испытания физико-механических свойств пластмасс. - Заводская лаборатория, 1960, № 6, с. 665-667.

118. Панферов К.В. Дискуссия о методах исследования и испытания физико-механических свойств пластмасс. Заводская лаборатория, 1960, №12, с. 1386-1338.

119. Борздыка А.М., Гецов Л.Б. Новое в оборудовании и методике испытаний металлов на ползучесть и длительную прочность. Заводская лаборатория, 1963, № 3, с. 332-338.

120. Уманский Э.С., Крючков В.В., Дебровский И.Е., Ильченко В.И., Тиняков В.Г. Стенд для исследования ползучести и длительной прочности композиционных пленок при повышенных температурах. Проблемы прочности, 1973, № 5, с. 103-107.

121. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров. - М., 1963.-536 с.

122. Москвитин В.Б. Сопротивление вязкоупругих материалов. - Изд-во "Наука", М., 1972. - 327 с.

123. Машовых Н.В., Юрьев В.А. Установка для исследования внутреннего трения в процессе ползучести в образцах из тонкой проволоки. Приборы и техника эксперимента, 1982, № 1, с. 249-250.

124. Савин В.П., Спитковский И.М. Приборы для статического и динамического нагружения образцов. Приборы и техника эксперимента, 1980, № 5, стр. 218-219.

125. Шарп Р. Методы неразрушающих исследований. - Изд-во "Мир", М., 1972. - 495 с.

126. Сидорович А.В., Кувшинский Е.В. Определение динамических механических характеристик материалов методом возбуждения колебаний изгиба в тонкой пластине, зажатой одним концом. Журнал технической физики, 1958, № 8, с. 1759-1767.

127. Зеленев Ю.В., Бартенев Г.М., Демишев Г.К. Определение динамических характеристик полимеров резонансным методом. Заводская лаборатория, 1963, № 7, с. 868-872.

128. Балодис А.А., Лашищенко В.А. Прибор для резонансных испытаний полимерных материалов. Механика полимеров, 1966, № 6, с. 923-926.

129. Коробов А.И., Бражкин Ю.А. Установка для измерения скорости акустических волн в твердых телах. Приборы и техника эксперимента, 1982, №6, с. 158-160.

130. Геллер Л.М., Смушкович Б.Л., Перепечко И.И., Нухин Е.П., Бобров С.Л. Прибор для определения динамического модуля и потерь в пластмассах. Заводская лаборатория, 1970, № 9, с. 1127-1129.

131. Перепечко И.И., Квачева Л.А., Ушаков Л.А., Светов А.Я., Гречишкин В.А. Влияние структуры полимерных материалов на их вязкоупругие свойства. Пластические массы, 1970, № 8, с. 43-48.

132. Кузьмин Н.Л., Сидоров В.И. Особенности измерения модуля упругости композитных материалов акустическими методами. Заводская лаборатория, 1990, № 5, с. 74-76.

133. Авторское свидетельство № 282724 (СССР). Низкочастотный акустический спектрометр. - Малютин Е.В., Павлов А.А., Перепечко И.И., Зорин Н.П., Ушаков Л.А. - Опубликовано в Б.И., 1970, № 30.

134. Манин В.К., Быков В.А., Джабаров Т.Н., Федоренко А.Г. Метод определения динамического модуля упругости и коэффициента потерь в полимерах с использованием звуковых бегущих изгибных волн. Ученые записки Душанбинского Государственного педагогического института, 1972, том 83, с. 198-201.

135. Манин В.Н., Быков В.А., Джабаров Т.Н. Метод и установка для определения модуля упругости и тангенса угла механических потерь полимеров при двухосном растяжении. Ученые записки Душанбинского Государственного педагогического института, 1972, том 83, с. 202-209.

136. Степаненко Н.Д., Ковешников Б.Н. Статистические характеристики логарифмического декремента колебаний стеклопластиков. Механика полимеров, 1975, № 3, с. 568-570.

137. Яновский Ю.Г. Динамические методы испытания полимеров. Обзор. Заводская лаборатория, - 1966, № 8, с. 954-961.

138. Яновский Ю.Г., Дзюра Е.А. Маятниковые приборы для изучения вязкоупругих характеристик полимерных систем. Обзор. Заводская лаборатория, 1969, № I, с. 107-113.

139. Испытательные машины для контроля материалов. - Цвик и КО и КИ Изготовитель Веркштоффпрюфмашинен, Эйнзинген, 1981. - 23 с.

140. Dekking P. Determination of Modulus and Dampfmg of Viscoelastic Materials. J. Polym. Sci.- 1969. vol.18, p. 100-105.

141. Nitsche R., Volf V., Kunststoffe B. Structur und Physikalisches Verhalten der Kunststoffe. Berlin.- 1962.- 128 p.

142. Ерыхов Б.П., Фляте Д.М. Применение метода крутильных колебаний для определения упругих характеристик бумаги. В сборнике "Вопросы долговечности документа".- Изд-во "Наука", Л., 1973, с. 77-81.

143. Постников В.С., Родионов А.А. Прибор для измерения внутреннего трения и модуля сдвига при свободных и вынужденных колебаниях. Заводская лаборатория, 1966, № 6, с. 763-764.

144. Davis V.M., Macosko C.W. A Forsed Torsional Oscillator for Dynamic

Mechanical Measurements. Polymer Eng. Sci.- 1977, v.17, №1, p. 32-37.

145. Криштал М.А., Пигузов Ю.В., Головин С.А. Внутреннее трение в металлах и сплавах. - Изд-во "Металлургия", М., 1964. -245 с.

146. Ветюков М.М., Школьников С.Н., Чувимцев Р.Г. Новиков А.Н. Крутильно-маятниковый вискозиметр с автоматическим отсчетом. Журнал физической химии, 1960, № 31, с. 470-473.

147. Шведов Е.А., Медведев М.А., Жихарев А.И., Ашмарин Г.М. Прибор для регистрации колебаний крутильного маятника. Заводская лаборатория, 1977, № 3, с. 365-367.

148. Worth R.A. The Dynamic Properties of Glassfiber-reinforced polypropylene subjected to pure bending. Polymer Eng. Sci.-1986, v.26, №19, p. 1293-1296.

149. Кенупен И.В., Володин В.Я. Автоматический крутильный маятник для измерения динамических характеристик полимеров. Заводская лаборатория, 1990, № 5, с. 76-79.

150. Цветков В.Н. Новейшие методы исследования полимеров.- Изд-во "Мир", М., 1966. - 446 с.

151. Уорд И. Механические свойства твердых полимеров. Изд-во "Химия", М., 1975. - 350 с.

152. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. Изд-во "Химия", М., 1978, - 312 с.

153. Испытательные машины для контроля материалов. – ИНСТРОН. - Изготовитель Н-1835, Ноттингем, 1989. - 48 с.

154. Испытательные приборы и машины. - Брюль и Кьер. ДК-2850, Нэрум, Дания, Денмарк, 1990. - 453 с.

155. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. - Изд-во "Металлургия", М., 1969. - 330 с.

156. Кострицкий В.В., Артеменко Л.Ф., Березненко С.М. Формування криволінійних поверхонь деталей одягу з урахуванням в'язкопружної природи текстильних матеріалів // Вісник КНУТД, №5, 2010. – с. 59-65.

157. Kostritsky V.V. The structure of numerical theories of Viscoelasticity. International conference of non-linear phenomena i physics and mechanics of solids. Abstracts, Perm-Moscow. 1990, p. 12.

158. Кострицкий В.В. Использование численных методов при прогнозировании вязкоупругих свойств полимеров. Заводская лаборатория. - 1992, т. 58, №2, с.

159. Демішонкова С.А. Кострицький В.В. Артеменко Л.Ф. Скиба М.Є. Методи інтерпретації в'язкопружних властивостей полімерних, шкіряних та текстильних матеріалів. Вісник КНУТД №4, том 1, 2008. с. 5-18

160. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) - Изд-во «Наука», М., 1974. - 832 с.

161. Игнатъева А.В., Краснощекова Т.Н., Смирнов В.Ф. Курс высшей математики. - Изд-во «Высшая школа», М., 1964. - 684 с.

162. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений, том I - Изд-во «Наука», М., 1966. - 632 с.

163. Демидова Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. - Изд-во «Наука», М-, .1970. - 664 с.

164. Крылов В.И., Шульгина Л.Т. Справочная книга по численному интегрированию. - Изд-во «Наука», М., 1966. - 372 с.

165. Крылов В.И., Скобля Н.С. Справочная книга по численному обращению преобразования Лапласа. - Изд-во «Наука и техника», Минск, 1968. - 295 с.

166. Кострицкий В.В. Методика и испытательная установка для исследования динамических свойств полимерных материалов // Заводская лаборатория.- 1990. - т. 56. - № 5. - С. 98-102.

167. Демішонкова С.А. Испитова установка для акустичних досліджень полімерних матеріалів. Тези доповідей IV всеукраїнської ювілейної наукової конференції молодих вчених та студентів К.: КНУТД, 2005.

168. Демішонкова С.А., Кострицький В.В. Термоелектричний модуль для дослідження термомеханічного аналізу полімерних матеріалів. Тези доповідей

наукової конференції молодих вчених та студентів К.: КДУТД, 2000. 1 сторінка

169. Бернштейн М. Л., Займовский В. А. Структура и механические свойства металлов. - М., «Металлургия», 1970.

170. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. - Изд-во «Наукова думка», г. Киев, 1971 - 248 с.

171. Демішонкова С.А., Пушнов Р.В., Кострицький В.В., Артеменко Л.Ф. Пристрій для виміру властивостей матеріалів, що демпфірують, при вільних коливаннях. Патент № 2002042904 від 14.10.2002 р. 11 сторінок.

172. Кострицький В.В., Артеменко Л.Ф. Випробувальна установка на розтягування полімерних плівок, волокон та текстильних матеріалів // Волков О.І., Кострицький В.В. Інноваційні розробки та технології науковців Київського національного університету технологій та дизайну. – К.: Світ Успіху, 2010. – 56 С.

173. Кострицкий В.В., Грабовский А.П. Установка для исследования ползучести и долговечности пленок // Заводская лаборатория.–1981. - № 2. - с. 86-67.

174. Кострицький В.В., Артеменко Л.Ф. Випробувальна установка для дослідження повзучості, коефіцієнтів теплового розширення та текстильних матеріалів // Волков О.І., Кострицький В.В. Інноваційні розробки та технології науковців Київського національного університету технологій та дизайну. – К.: Світ Успіху, 2010. – 56 С.

175. Авторское свидетельство № 940133 (СССР). Устройство для программного управления. Кострицкий В.В., Гнидаш В.В., Дебривный Н.Е., Смаглова И.В., Жирный И.П., Грабовский А.П. - Опубликовано в Б.И., 1982, №24.

176. Скиба М.Є., Артеменко Л.Ф., Демішонкова С.А. Установка для акустичних досліджень ефективних властивостей матеріалів // Вісник Київського Національного університету технологій та дизайну. - 2003. - №2. - с. 16-22.