

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания к лабораторным работам для студентов 5 курса дневного отделения и магистрантов специальности 290300 по дисциплинам «Строительные конструкции» и «Строительные материалы»

Тамбов • Издательство ТГТУ • 2003

УДК (691:620.17)(075)  
ББК Н30я73  
Ф503

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент  
Доктор технических наук, профессор ТГТУ  
*В. И. Леденев*

Ф50  
3 Физико-механические испытания строительных  
композитных материалов: Метод. указ. / Сост.: В. П.  
Ярцев, О. А. Киселева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн.  
ун-та, 2003. 24 с.

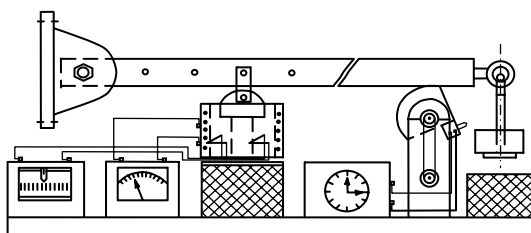
Рассмотрены методы исследования длительных  
прочностных и деформационных характеристик компо-  
зитных строительных материалов.

Предназначены для студентов 5 курса и магистран-  
тов специальности 290300.

УДК (691:620.17)(075)  
ББК Н30я73

© Тамбовский государствен-  
ный  
технический университет  
(ТГТУ),  
2003

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИА- ЛОВ



• Издательство ТГТУ •

Учебное издание

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ  
ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания

Составители:

ЯРЦЕВ Виктор Петрович,  
КИСЕЛЕВА Олеся Анатольевна

Редактор Т. М. Глинкина

Компьютерное макетирование И. В. Евсеевой

Подписано к печати 28.02.2003

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага газетная.

Печать офсетная. Объем: 1,39 усл. печ. л.; 1,1 уч.-изд. л.

Тираж 50 экз. С. 148

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Древесные пластики и другие композитные материалы нашли широкое применение в строительстве. Их используют в качестве обшивок стеновых панелей, черновых и чистых полов, а также в строительных конструкциях (перегородки, балки и стойки, трехслойные панели и т.д.). При этом материал находится под действием длительных нагрузок, которые приводят к его деформации и разрушению. В процессе эксплуатации конструкций происходит изменение температуры, что также сказывается на процессах деформирования и разрушения.

В настоящее время при расчете несущей способности конструкции используется понятие «предельная прочность». Однако решающее действие в процессе разрушения принадлежит не нагрузке, а тепловым флуктуациям. Поэтому для прогнозирования работоспособности материалов и конструкций, которая включает в себя три основных параметра: время свершения критического события, предельное напряжение и температуру, актуально использовать принцип температурно-временной силовой эквивалентности.

Лабораторные работы посвящены исследованию прочностных, деформационных и теплофизических характеристик. Описана методика прогнозирования прочностной и деформационной работоспособности древесных пластиков.

### Лабораторная работа 1

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПРОЧНОСТИ

*Цель работы:* научиться определять качество композитных строительных материалов.

*Оборудование и приборы:* шестипозиционный стенд для длительных испытаний на поперечный изгиб (рис. 1), состоящий из рамы 1, выполненной из уголков. К ней сверху крепятся два стержня 2 диаметром 6 мм. Образец 9 помещается на опоры 2 широкой стороной и нагружается посередине рабочего

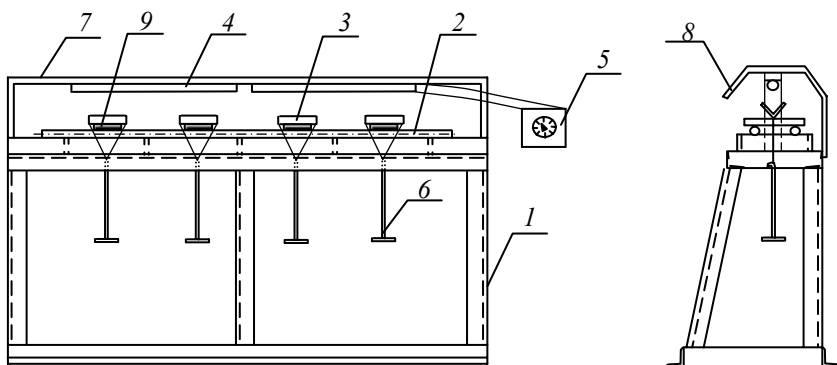
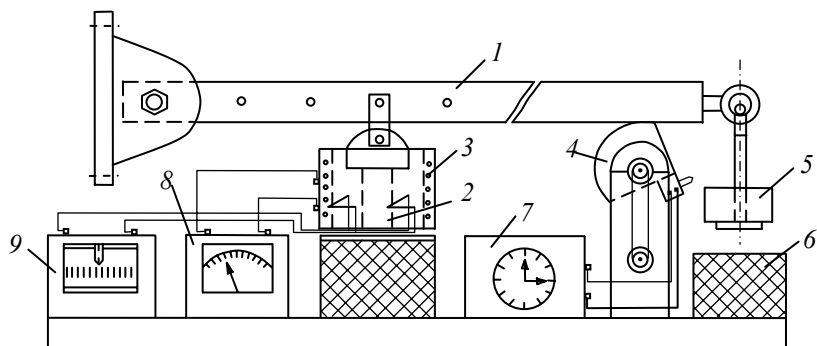


Рис. 1 Стенд для длительных испытаний на поперечный изгиб

участка образца с помощью уголка и нижней тяги 6, на которую навешиваются грузы. Повышенная температура создается стержневыми тепло-электронагревателями 4 и кожухом 8 в виде полуцилиндра. ТЭНы крепятся к скобе 7, а кожух к П-образным стойкам, закрепленным на раме. Температура задается и регулируется ЛАТРом 5, а измеряется при помощи термометра с точностью  $\pm 1$  °С. Шарик термометра должен быть расположен в зоне разрушения рабочего участка образца. Для устранения влияния колебаний при разрушении образцов применяется демпфирующее устройство – емкость, заполненная песком.

Для проведения эксперимента на сжатие можно использовать установку рычажного типа (рис. 2). Она состоит из рычага, нагружающих устройств, измерительных приборов и съемной термокамеры.



**Рис. 2** Рычажное устройство для испытаний на долговечность при сжатии:

- 1 – рычаг; 2 – образец; 3 – криотермокамера; 4 – приспособление для плавного нагружения; 5 – груз; 6 – демпфер; 7 – хронометр; 8 – ЛАТР; 9 – потенциометр с термопарами

Образец 2 помещается на демпфер. К нему с помощью рычага 1 прикладывается необходимая нагрузка. Для проведения опытов при повышенных температурах используется съемная термокамера 3, с автоматическим регулированием температуры. Температура образца замеряется термопарой, а регулируется потенциометром 9. Можно также использовать конвекционный обогрев, расположив нагреватель на определенном расстоянии от образца и замеряя температуру обычным ртутным термометром. Время до разрушения (долговечность) фиксируется секундомером.

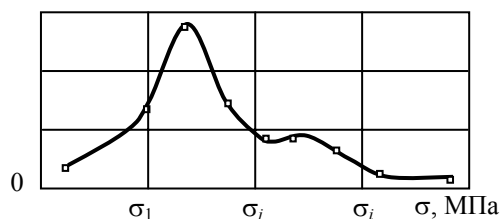
*Конструкция образца.* Для испытаний используют образцы прямоугольной формы длиной 120 мм (при поперечном изгибе) или кубики (на сжатие). Ширина и высота образцов выбирается в зависимости от материала (например, для пенопластов  $25 \times 20$  мм, а древесностружечных плит  $20 \times 10$  мм) и используемого оборудования.

### Методические указания

Для оценки качества композитных материалов важное значение имеет распределение в них компонентов.

Композитные материалы имеют сложную неоднородную структуру. Поэтому в процессе их разрушения наблюдается значительный разброс прочности и долговечности. Для долговечности он может достигать одного-двух десятичных порядков при одинаковых образцах и при одинаковых условиях испытания.

$(\Delta n/n)$  100 %



Следует отметить, что разброс вызван множеством внешних и внутренних факторов. Однако решающая роль принадлежит внутренним факторам. К ним относятся дефекты (остаточные напряжения, поры, микротрещины и т.д.), имеющиеся в материале, а также распределение их по объему.

**Рис. 3** Распреде-

Для выявления разброса экспериментальных значений композитных материалов строят кривые распределения прочности и долговечности.

Кривая распределения прочности (рис. 3) имеет форму, близкую к классической (гауссовской). На кривых присутствуют пики, которые характерны для разных уровней прочности. Из рисунка видно, что график имеет большую площадь. Это объясняется наличием дефектов. Они могут возникать либо как особенности, присущие данному материалу по его природе, либо в результате переработки или механической обработки (царапины, трещины). Дефекты беспорядочно распределены по образцу и имеют разные размеры. Поэтому предел прочности не является точной константой материала. Следует отметить,

что на кривой может быть несколько пиков. Это говорит о том, что в материале присутствуют в большом количестве дефекты разных размеров.

По пику кривой и ее площади можно судить о степени равномерности компонентов в материале. Чем выше их равномерность, тем более узким должен быть пик кривой распределения.

Из рис. 4 видно, что кривая распределения образцов по долговечности имеет форму близкую к классической (пуассоновской). Естественно, что чем выше степень равномерности распределения компонентов, тем более короткой должна быть кривая распределения, и поэтому необходимо нормировать площадь под кривой при постоянном заданном  $\Delta X$ .

$(\Delta n/n) 100\%$

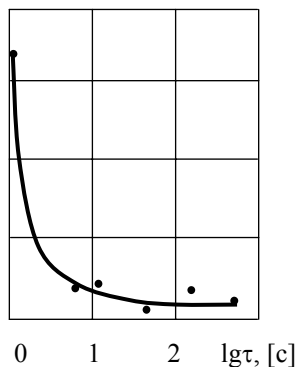


Рис. 4 Распределение по долговечности образцов

### Порядок выполнения работы

- 1 Образец помещают на установку и постепенно нагружают до его разрушения.
- 2 Фиксируют определяющую разрушающую нагрузку  $N_p$  и напряжение  $(\sigma_p)$ .
- 3 В режиме заданных постоянных температур и влажности испытывают 50 образцов.
- 4 Полученные данные заносятся в табл. 1 и строится график (см. рис. 3).
- 5 Делают вывод о качестве данного материала.

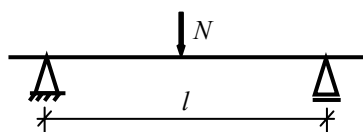


Рис. 5 Расчетная схема для испытаний на поперечный изгиб

разрушающую нагрузку ( $N_p$ ) и напряжение ( $\sigma_p$ ). постоянных температур и влажности заносятся в табл. 1 и строится график

Таблица 1

Но- мер об- разца	Разме- ры об- разца	Разрушаю- щая нагрузка $N_p$ , кг	Разрушающее напряжение $\sigma_p$ , МПа	Примеча- ние

### Контрольные вопросы

- 1 Чем определяется качество материала?
- 2 Какой вид имеет кривая распределения прочности материала?
- 3 Какой вид имеет кривая распределения долговечности?
- 4 Каким образом по кривым распределения можно судить о качестве материала?

Литература: [1, с. 34 – 36; 2, с. 43 – 45].

## ПРОВЕРКА ДЕЙСТВИЯ ПРИНЦИПА БЕЙЛИ

### ДЛЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Цель работы:* проверить действие принципа Бейли.

*Оборудование и приборы:* шестипозиционный стенд для длительных испытаний на поперечный изгиб (рис. 1).

*Конструкция образца.* Для испытаний используют образцы прямоугольной формы (см. лаб. раб. 1).

### Методические указания

Согласно кинетической концепции долговечность подчиняется правилу аддитивности. Разрыв связей (разрушение) не зависит от присутствия перерывов в нагружении твердых тел, так как в течение всего времени в материале накапливаются необратимые изменения, приводящие к разделению тела на части. Данный процесс описывается принципом Бейли  $\int_0^{\tau} \frac{dt}{\tau[\sigma(t)]} = 1$ .

Уравнение характеризует принцип наложения или суммирования парциальных разрушений твердого тела в моменты времени от начала нагружения до того, когда сумма израсходованных долей ресурса долговечности станет равной единице.

Однако, если время релаксации того же порядка, что и период цикла нагружения или намного больше периода цикла, то принцип аддитивности времен нагружения не выполняется. В первом случае это объясняется тем, что в полупазе разгрузки в твердом теле возникают различные ослабления. А во втором случае релаксация не влияет на долговечность и ее суммирование. Вместе с тем общеизвестно, что при многократном нагружении значительно теряется несущая способность (критерий Майнера), и принцип Бейли не выполняется. Следует заметить, что данный принцип справедлив и при деформировании.

### Порядок выполнения работы

- 1 Помещают образец на опоры и определяют разрушающую нагрузку  $N_p$ .
- 2 По разрушающей нагрузке определяют разрушающие напряжения  $\sigma_p$ .

$$\sigma_p = \frac{3}{2} \frac{Nl}{b\delta^2}.$$

3 Испытывают 5-6 образцов при непрерывном действии нагрузки  $N_1 = (0,7 \dots 0,85)N_p$ . В процессе испытания фиксируют время от начала нагружения до разрушения образца  $\tau$ .

- 4 Полученные данные заносят в табл. 2.

5 Испытывают 5-6 образцов при дискретном действии нагрузки  $N_2 = N_1$ , т.е. действие нагрузки чередуется с отдыхом. Нагружают образец на время  $\tau_1$ , равное  $(0,15 \dots$

0,2)τ. Затем его разгружают и дают отдохнуть несколько минут (0,15 ... 0,2)τ. Снова загружают образец на время τ<sub>1</sub>

и т.д. до его разрушения.

6 Определяют время до разрушения  $\tau_2 = \sum \tau_1$  и заносят полученные данные в табл. 2.

7 Сравнивают полученные данные и делают вывод.

**Таблица 2**

Но- мер об- разца	Напр яже- ние σ, МПа	Непрерывное дейст- вие нагрузки			Дискретное дейст- вие нагрузки		
		Время до раз- руше- ния τ, с	Долго- веч- ность lgt	lgt <sub>ср</sub>	Время до раз- руше- ния τ, с	Долго- веч- ность lgt	lgt <sub>ср</sub>

### Контрольные вопросы

1. Сформулируйте правило аддитивности.
2. Назовите случаи, когда принцип Бейли не работает.
3. Почему при многократном нагружении принцип Бейли не выполняется?
4. Что понимают под релаксационными явлениями?

*Литература:* [1, с. 30 – 35; 3, с. 286 – 288].

*Лабораторная работа 3*

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Цель работы:* освоить методику определения физических констант, позволяющих прогнозировать параметры работоспособности строительных композитных материалов.

### Методические указания

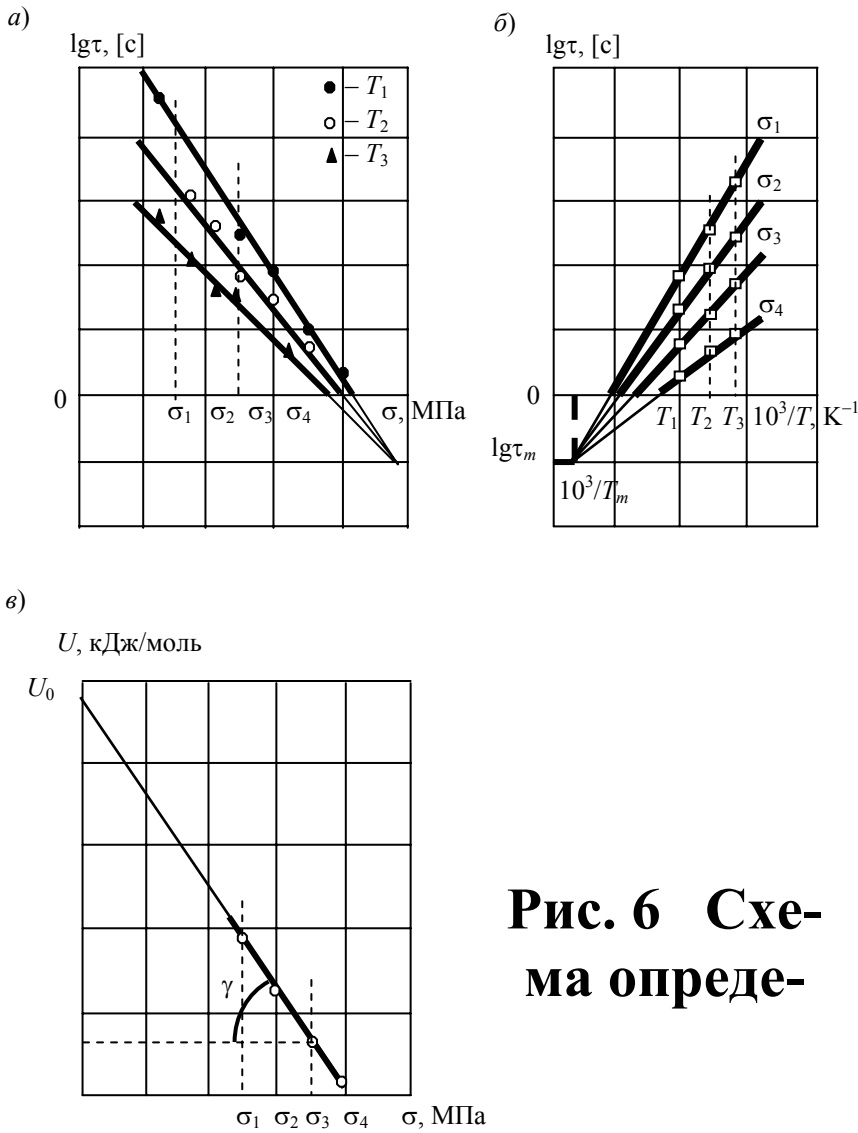
Известно, что для полимеров и других композитных материалов резко проявляется температурно-временная зависимость прочности, т.е. действие трех параметров – температуры, нагрузки и времени – качественно одинаково. Такая зависимость имеет линейный характер и образует семейство веерообразных прямых, сходящихся в точку (полнос). Классическим видом данной зависимости является «прямой пучок» (рис. 6, а). Он описывается уравнением



$$\tau = \tau_m \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right], \quad (1),$$

где  $\gamma$ ,  $U_0$ ,  $T_m$  и  $\tau_m$  – физические константы материала:  $\gamma$  – структурно-механическая константа;  $U_0$  – максимальная энергия активации разрушения;  $T_m$  – предельная температура существования твердого тела (температура разложения);  $\tau_m$  – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – атомов, групп атомов, сегментов);  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура;  $\tau$  – время до разрушения (долговечность);  $\sigma$  – прочность.

Физические константы, входящие в это уравнение, определяются графоаналитическим способом. Для этого экспериментальные данные перестраиваются в координаты  $\lg \tau - 10^3/T$  (рис. 6, б). Константы  $\tau_m$  и  $T_m$  находятся из положения полюса. Для определения остальных двух констант  $U_0$  и  $\gamma$  для каждой



**Рис. 6 Схе-  
ма опреде-**

прямой по равенству  $U(\sigma) = 2,3R \frac{\Delta \lg \tau}{\Delta(10^3/T)}$  рассчитывают значение энергии активации  $U$ . Затем по полученным данным строят график в координатах  $U - \sigma$  (рис. 6, в). При экстраполяции на  $\sigma = 0$  определяют максимальную энергию активации  $U_0$ , а по тангенсу угла наклона прямой  $U - \sigma$  величину  $\gamma$ .

Часто формула (1) не оправдывается. Это наблюдается при хрупком разрушении наполненных полиамидов, полиалкилентерефталатов и для древесностружечных плит с мелкой стружкой, т.е. полимеров, в которых наряду с химическими и межмолекулярными силами существенны и силы промежуточной величины. В результате наблюдается семейство прямых, которые в координатах  $\lg \tau - \sigma$  и  $\lg \tau -$

$10^3/T$  не сходятся в полюс (образуются параллельные прямые) (рис. 7, а). В этом случае нагрузка не влияет на энергию активации, и реализуются два варианта формул:

для нелинейной зависимости  $\lg \tau - \sigma$

$$\tau = B\sigma^{-m} \exp \frac{U}{RT}; \quad (2)$$

для линейной зависимости

$$\tau = \tau^* \exp \frac{U}{RT} \exp(-\beta\sigma). \quad (3)$$

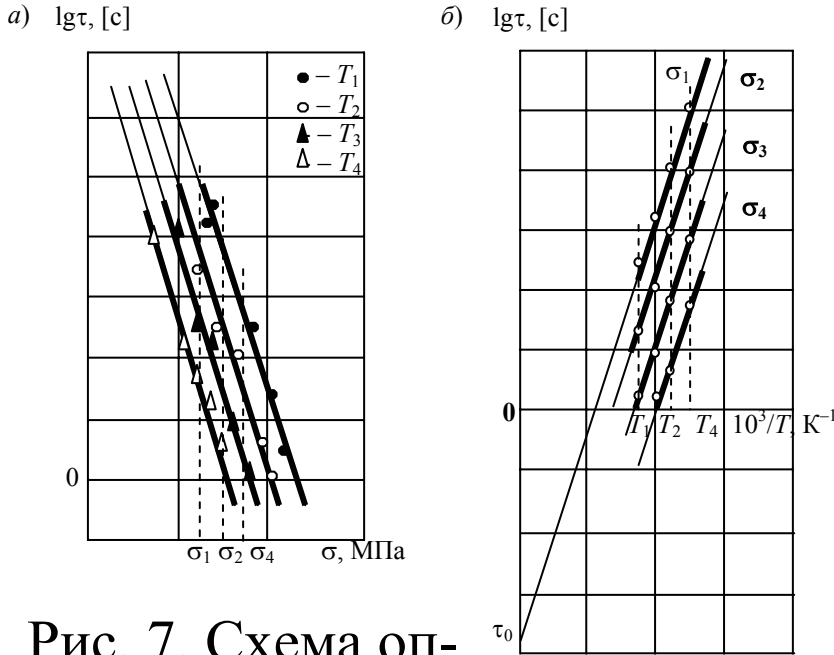


Рис. 7. Схема оп-

Значения константы  $U$  в формулах (2), (3) определяют из семейства прямых в координатах  $\lg \tau - 10^3/T$ . Константа  $\beta$  определяется как угол наклона прямых в координатах  $\lg \tau - \sigma$  ( $\beta = \frac{\Delta \lg \tau}{\Delta \sigma}$ ), а  $m$  – как угол наклона прямых в координатах  $\lg \tau - \lg \sigma$  (так как зависимость  $\lg \tau - \sigma$  не линейна). Оставшиеся две константы  $B$  и  $\tau^*$  определяются по формулам  $B = \tau_0 \sigma_0^{-m}$  и  $\tau^* = \tau_0 \exp(\beta\sigma)$  в координатах  $\lg \tau - 10^3/T$  (рис. 7, б). Для этого задаются  $\sigma_0$  и определяют  $\tau_0$  экстраполяцией на  $\lg \tau$  при данном напряжении ( $\sigma_0$ ).

Наблюдаются также и случаи обращения пучка прямых, когда они сходятся в полюс не при предельно высокой, а при предельно низкой температуре. Это встречается при растяжении пленок и при усталостном истирании, а также для некоторых материалов (например, для твердых древесноволокнистых плит) с ориентированной структурой (рис. 8). При этом справедлива формула

$$\tau = \tau_m^* \exp \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{RT} \left( \frac{T_m^*}{T} - 1 \right). \quad (4)$$

Физические константы в данном случае определяются аналогично константам для «прямого пучка».

Работоспособность материала, которая в отличие от общепринятого термина «несущая способность», связанного только с прочностью материала, включает комплекс из трех параметров – максимальной нагрузки, температуры и времени их воздействия.

Для оценки работоспособности из уравнений (1 – 4) для разных случаев можно выразить два оставшихся параметра: прочность и термостойкость.

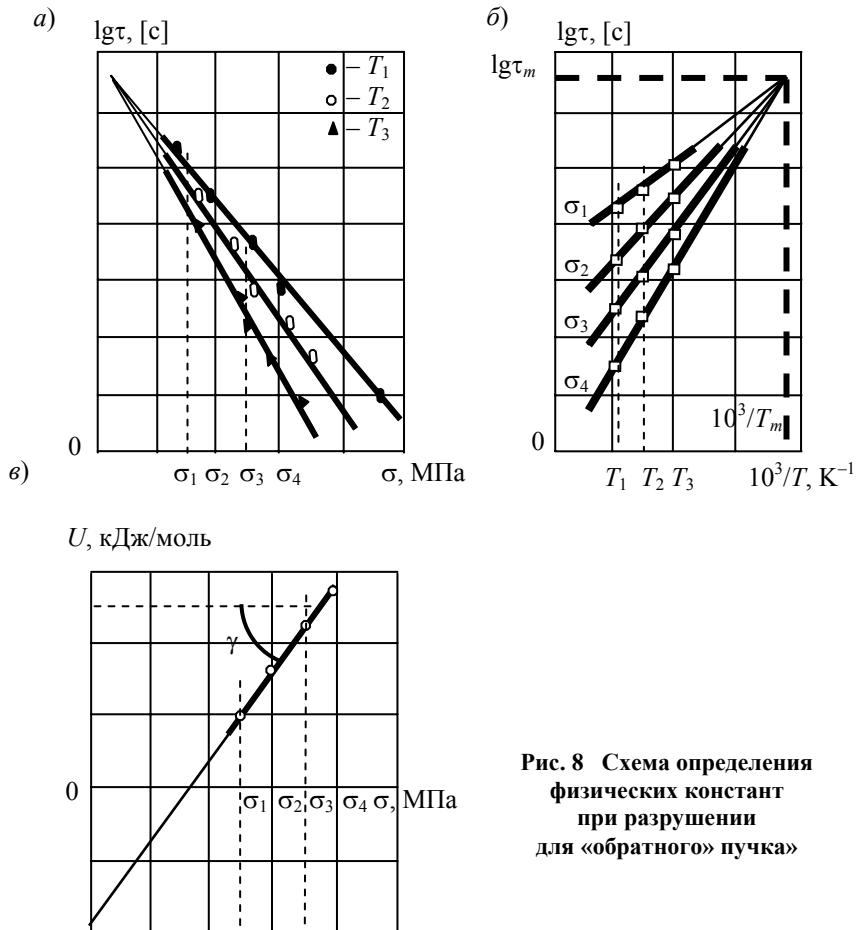
1 «Прямой пучок»:

- прочность

$$\sigma = \frac{1}{\gamma} \left( U_0 - \frac{2,3RT}{1-T/T_m} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right);$$

- термостойкость

$$T = \left( \frac{1}{T_m} + \frac{2,3R}{U_0 - \gamma\sigma} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right)^{-1}.$$



2 «Обратный пучок»:

- прочность

$$\sigma = \frac{1}{\gamma^*} \left[ U_0^* - 2,3 \frac{RT}{T_m^*/T - 1} \lg \frac{\tau}{\tau_m^*} \right];$$

$U_0$

- термостойкость

$$T = \left( -A + \sqrt{A \cdot \sqrt{A + 2T_m^*}} \right) \cdot 10^3 \text{ и } A = \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{2R \lg \frac{\tau}{\tau_m^*}}.$$

3 Параллельные прямые (для линейных зависимостей):

- прочность

$$\sigma = \frac{1}{\beta} \left( \frac{U}{RT} - \lg \frac{\tau}{\tau_m^*} \right);$$

- термостойкость

$$T = \frac{U}{R} \left( \lg \frac{\tau}{\tau_m^*} + \beta \sigma \right)^{-1}.$$

### Порядок выполнения работы

- 1 Подбираем по табл. 1 Прил. исходные данные.
- 2 По этим данным строим график в координатах  $\lg \tau - \sigma$ . Перестраиваем его в координаты  $\lg \tau - 10^3/T$ .
- 3 В зависимости от вида полученного графика определяем эмпирические константы и заносим их в табл. 3.
- 4 Определяем параметры работоспособности и заносим их в табл. 3.
- 5 Сравниваем теоретические значения прочности, долговечности и термостойкости со значениями на графике. Если их значения отличаются более, чем на 20 % повторяем пункты 2 – 4.

**Таблица 3**

### Значения эмпирических констант и основные параметры работоспособности

Эмпирические константы							Параметры работоспособности		
$\tau_m^*$ , с	$T_m^*$ , К	$U_0^*$ , Дж/моль	$\gamma^*$ , Дж/моль·МПа	$\beta$ , 1/МПа	$m$	$B$ , МПа	$\tau_r$ , с	$\sigma_r$ , МПа	$T_r$ , К

### Контрольные вопросы

- 1 На чем основывается механизм поведения твердого тела с позиции термофлуктуационной концепции?
- 2 Что оказывает решающее влияние на разрушение материалов?
- 3 Какова роль нагрузки и температуры при разрушении?
- 4 Физический смысл констант ( $\tau_m^*$ ,  $T_m^*$ ,  $\gamma$ ,  $U_0$ ).
- 5 Какие параметры характеризуют работоспособность материала?

6 Что понимают под долговечностью материала?

*Литература:* [1, с. 31 – 42; 2, с. 45 – 50; 3, с. 3 – 16; 4, с. 2 – 11].

*Лабораторная работа 4*

### **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ НА МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Цель работы:* выявить влияние концентратора напряжений на механизм разрушения и работоспособность композитных материалов.

*Оборудование и приборы:* шестипозиционный стенд для длительных испытаний на поперечный изгиб (рис. 1).

*Конструкция образца.* Для испытаний используют образцы прямоугольной формы длиной 120 мм. Ширина и высота образцов выбирается в зависимости от материала (например, для пенопластов  $25 \times 20$  мм, а древесностружечных плит  $20 \times 10$  мм). В центре образца просверливается отверстие диаметром 5 мм.

#### **Порядок выполнения работы**

- 1 Образец помещают на опоры широкой стороной и определяют разрушающую нагрузку  $N_p$ .
- 2 С помощью ЛАТРа задается необходимая температура.
- 3 Образцы нагружаются постоянной нагрузкой, равной  $0,5 \dots 0,95$  от  $N_p$ .

4 В процессе эксперимента фиксируется время от момента начала нагружения до разрушения образца (долговечность).

5 Результаты заносятся в табл. 4.

Таблица 4

Но- мер точки	Темпер атура $T, ^\circ\text{C}$	Но- мер об- разца	Нагру зка $N$ , кг	Напря- жение $\sigma$ , МПа	Долгове чность $\tau$ , с	$\lg\tau$	$\lg\tau$ ср

### Обработка результатов

По экспериментальным данным строится график в координатах  $\lg\tau - \sigma$  (рис. 6 – 8). Каждая точка на полученных экспериментальных зависимостях является усредненным результатом 6 ... 12 измерений. Для построения прямой при заданной температуре необходимо получить 5 точек. Для получения пучка берут 3-4 прямых при разных температурах. Эти зависимости описываются уравнениями (1 – 3).

Далее графоаналитическим способом определяются физические константы и рассчитываются параметры работоспособности (Лаб. раб. 3) и заносятся в табл. 5

Таблица 5

### Значения эмпирических констант и основные параметры работоспособности

Эмпирические константы				Параметры работоспо- собности		
$\tau_m$ , с	$T_m$ , К	$U_0$ , кДж/мо ль	$\gamma$ , кДж/(моль·М Па)	$\tau_T$ , с	$\sigma_T$ , МПа	$T$ , К

### Контрольные вопросы

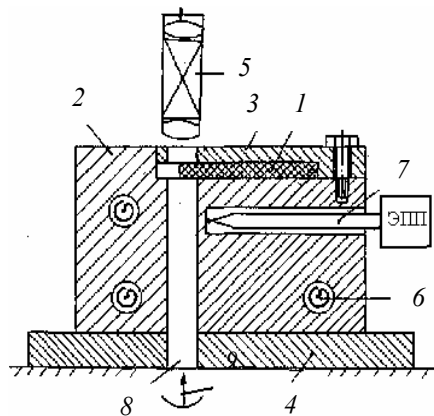
- 1 Что оказывает решающее влияние на разрушение материалов?
- 2 Какие параметры характеризуют работоспособность материала?
- 3 Что понимают под концентратором напряжений?
- 4 Какие бывают концентраторы напряжений?
- 5 Чем обусловлена низкая прочность при наличии концентратора напряжений?

Литература: [1, с. 36 – 42; 5, с. 61 – 66].

## ЛИНЕЙНОЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Цель работы:* определить коэффициент линейного термического расширения.

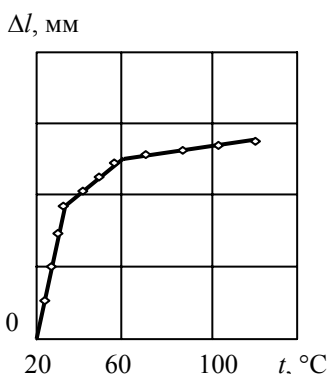
*Оборудование и приборы:* оптический дилатометр (рис. 9). Он состоит из криотермокамеры и микроскопа с окулярным микрометром, установленных на теплоизолированном основании. Криотермокамера содержит массивный корпус с электронагревательными элементами и стальную планку, которая вкладывается в паз корпуса и укрепляется с помощью винта. Для наблюдения за удлинением образца на планке предусмотрена смотровая щель. Внутри корпуса под образцом для его освещения прорезан сквозной канал.



**Рис. 9 Оптический дилатометр:**  
1 – образец; 2 – термокамера;  
3 – прижимная планка; 4 – основание;  
5 – микроскоп с окулярным микрометром;  
6 – спиральный нагреватель;  
7 – термопара с потенциометром;  
8 – смотровая щель; 9 – подсветка

*Конструкция образца.* Для испытания используются образцы прямоугольной формы с размерами 52 × 15 × 7 мм.

### Методические указания



**Рис. 10 Дилатометрическая кривая**

Термическое расширение входит в науку дилатометрию. Она основана на изменении объема тел при изменении температуры. Коэффициент линейного термического расширения рассчитывается из участков дилатометрических кривых (рис. 10) по формуле  $\alpha_i = \frac{\Delta l_i}{l_0 \Delta T_i}$ , где  $l_0$  – первоначальная длина образца;  $\Delta T_i = T_i - T_0$  – рассматриваемый интервал температур;  $\Delta l_i$  – удлинение образца в рассматриваемом интервале температур.

По дилатометрическим кривым можно также определять температуры переходов от одного состояния материала к другому. При этом вид кривых зависит от структуры макромолекул и надмолекулярной структуры полимера, что позволяет исследовать характер переходов в сополимерах, разветвленных и сшитых полимерах, в системах полимер-полимер и полимер-низкомолекулярное вещество. Данные дилатометрических исследований также позволяют исследовать влияние на температу-

ры фазовых переходов различных факторов (молекулярной массы, термической предыстории, скорости нагрева и т.д.).

### Порядок проведения работы

- 1 Образец в виде прямоугольной пластины помещают в паз и закрывают планкой. Один конец его фиксируют с помощью зажимного винта.
- 2 Задается линейная скорость нагрева с помощью ЛАТРа.
- 3 Через каждые 5 °С фиксируется линейное удлинение образца.
- 4 Полученные данные заносятся в табл. 6 и строится дилатометрическая кривая.
- 5 Определяют коэффициент линейного расширения.

Таблица 6

Температура, °С	Линейное удлинение,			$\Delta l_{\text{ср}}$
	$\Delta l_1$	$\Delta l_2$	$\Delta l_3$	
20				
25				
...				
100				

### Контрольные вопросы

- 1 На чем основана наука дилатометрия?
- 2 Как определяется коэффициент линейного термического расширения?
- 3 Что можно определить с помощью дилатометрических кривых?

*Литература:* [2, с. 50 – 52].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Ратнер С. Б., Ярцев В. П.** Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? М.: Изд-во «Химия», 1992. 320 с.
- 2 **Ярцев В. П.** Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях и конструкциях зданий и сооружений: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. 149 с.
- 3 **Ратнер С. Б., Ярцев В. П.** Пути перехода от испытаний образца к прогнозу работоспособности деталей из пластмасс: Обзор. инф. Серия «Пластические массы и синтетические смолы». М.: НИИТЭХИМ, 1982. 40 с.
- 4 **Ратнер С. Б., Ярцев В. П.** Физико-химические основы сопротивления пластмасс механическому воздействию: Обзор. инф. Серия «Производство и переработка пластических масс и синтетических смол». М.: НИИТЭХИМ, 1985. 40 с.
- 5 **Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. И.** Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974.