

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЖЕСТКИХ ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ УТЕПЛЕНИИ ЗДАНИЙ

• Издательство ТГТУ •

УДК 661.185.7.006 (075)
ББК Н360.76я73-5
Я79

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
В. И. Леднев

Я79 **Механические испытания жестких пенопластов при
дополнительном утеплении зданий:** Лаб. работы / Сост.: В. П. Ярцев, К. А.
Андрианов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 20 с.

В лабораторных работах излагается цель, приводится описание лабораторного оборудования, конструкций образцов, даются расчетные формулы, порядок выполнения работы и программы для расчета на ЭВМ.

Лабораторные работы предназначены для студентов 5 курса дневного и заочного отделений и магистрантов, обучающихся по специальности 290300.

УДК 661.185.7.006 (075)
ББК Н360.76я73-5

© Тамбовский государственный
технический университет (ТГТУ),
2002

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЖЕСТКИХ
ПЕНОПЛАСТОВ
ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ
УТЕПЛЕНИИ ЗДАНИЙ**

Лабораторные работы
для студентов 5 курса дневного и заочного отделений и
магистрантов, обучающихся по специальности 290300

Тамбов • Издательство ТГТУ • 2002

Учебное издание

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЖЕСТКИХ
ПЕНОПЛАСТОВ ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ
УТЕПЛЕНИИ ЗДАНИЙ**

Лабораторные работы

Составители:
ЯРЦЕВ Виктор Петрович,
АНДРИАНОВ Константин Анатольевич,

Редактор В. Н. Митрофанова
Компьютерное макетирование И. В. Евсеевой

ЛР № 020851 от 13.01.99 г. Плр № 020079 от 28.04.97 г.

Подписано к печати 13.02.2002.

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

Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,12 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С.99.

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остро стоит вопрос об утеплении зданий. В качестве утеплителей часто применяют жесткие пенопласты (напряжение сжатия при 50 %-ой деформации более 0,15 МПа), но какой именно тип ячеистого материала будет более надежен и долговечен при эксплуатации его в строительных конструкциях в качестве утеплителя неизвестно.

Лабораторные работы посвящены исследованию как прочностных, так и деформационных свойств теплоизоляционных материалов. Это позволяет на основании лабораторных испытаний перейти к прогнозу долговечности, прочности и термостойкости таких органических утеплителей непосредственно в самих конструкциях и создать методику прогнозирования работоспособности пенопластов в широком диапазоне нагрузок, температур и времени эксплуатации.

Лабораторная работа 1

Длительные статические испытания на поперечный изгиб

Цель работы. Определение прочности, долговечности и термостойкости жестких пенопластов при поперечном изгибе.

Оборудование и приборы. Испытания проводятся на шестипозиционном стенде (рис. 1). Он состоит из рамы 1, выполненной из уголков. К ней сверху крепятся два стержня 2 диаметром 6 мм. Образец 9 помещается на опоры 2

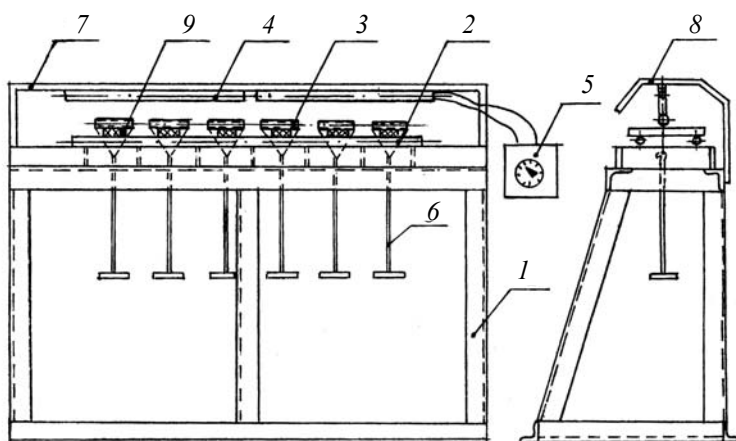


Рис. 1 Стенд для длительных статических испытаний на поперечный изгиб

демпфирующее устройство – емкость, заполненная песком.

Конструкция образцов. Для испытаний используются образцы прямоугольной формы. Конструкция и размеры образцов показаны на рис. 2.

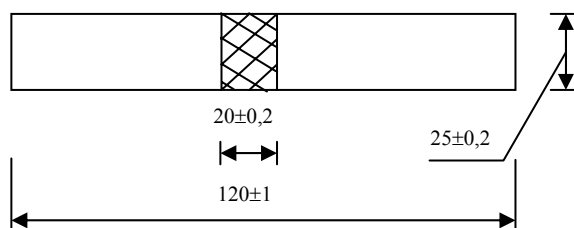


Рис. 2 Образец для длительных испытаний на поперечный изгиб

нарушений ячеистой структуры; после изготовления проверяют размеры поперечного сечения образцов на опорах и в средней части;

2) перед испытанием образцы кондиционируют по ГОСТ 12423-66 при температуре $20 \pm 0,2$ °С в течение 24 ч и относительной влажности 65 ± 5 %;

3) образец помещают на опоры широкой стороной и определяют разрушающую нагрузку ($N_{\text{разр}}$);

4) ЛАТРОм задается необходимая температура для испытаний и поддерживается с помощью ТЭНов;

5) образцы нагружаются ступенчато постоянной нагрузкой, равной 0,1 от $N_{\text{разр}}$, причем, нагрузку уменьшают до такой величины, чтобы время до разрушения было равно нескольким десяткам секунд;

6) фиксируют время от момента начала нагружения до разрушения образца (долговечность);

7) вычисляют напряжение в образце по формуле

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{Nl}{bh^2} \text{ [МПа]},$$

широкой стороной и нагружается посередине рабочего участка образца с помощью стержня 3 диаметром 6 – 8 мм 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 ± 1 °С. Шарик термометра должен быть расположен в зоне разрушения рабочего участка образца. Для устранения влияния колебаний при разрушении образцов применяется

Порядок выполнения работы. Испытания проводятся в следующей последовательности:

1) изготовление образцов; образцы могут изготавливаться как механическим способом, так и с помощью нагреваемой нихромовой проволоки, причем, образцы из листа пенопласта вырезают таким образом, чтобы их толщина совпадала с направлением вспенивания материала; образцы должны быть без видимых

где N – нагрузка, приложенная к образцу; l – рабочая длина образца; b , h – ширина и высота образца соответственно. Схема нагружения образца показана на рис. 3.

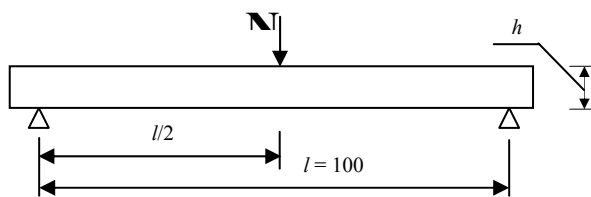


Рис. 3 Расчетная схема нагружения образца

Обработка результатов испытаний. Полученные экспериментальные данные заносятся в табл. 1.

1 Значения времени до разрушения при заданных напряжениях и температуре

№ точки	№ образца	T , К	N , кН	σ , МПа	τ , с	$\lg [\tau]$	$\lg [\tau_{\text{сп}}]$

Экспериментальные данные обрабатываются с позиции термофлуктуационной концепции прочности твердых тел, где на тело кроме приложенной нагрузки действует и тепловое движение атомов, как решающий фактор механического разрушения [1].

При постоянных заданных температуре и напряжении одновременно испытывается 6 – 12 образцов на каждую точку. За результат испытаний принимается среднее арифметическое. Нагрузка варьируется в таких пределах, чтобы получить не менее четырех точек на одну прямую при заданной температуре (берутся минимум три различные температуры). Достоверность экспериментальных данных проверяется по ГОСТ 14359-69.

По экспериментальным данным строится график в координатах $\lg [\tau] - \sigma$ (рис. 4, а). Для выявления аналитической зависимости, связывающей время до разрушения, напряжение и температуру зависимость перестраиваются в координаты $\lg [\tau] - 1/T$ (рис. 4, б). Уравнения, описывающие связь долговечности τ с напряжением σ и температурой T , приведены в [2] и имеют вид для:

долговечности

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

прочности

$$\sigma_{\text{сп}} = \frac{1}{\gamma} \left[U_0 - \frac{2,3 RT}{1 - T/T_m} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right]; \quad (2)$$

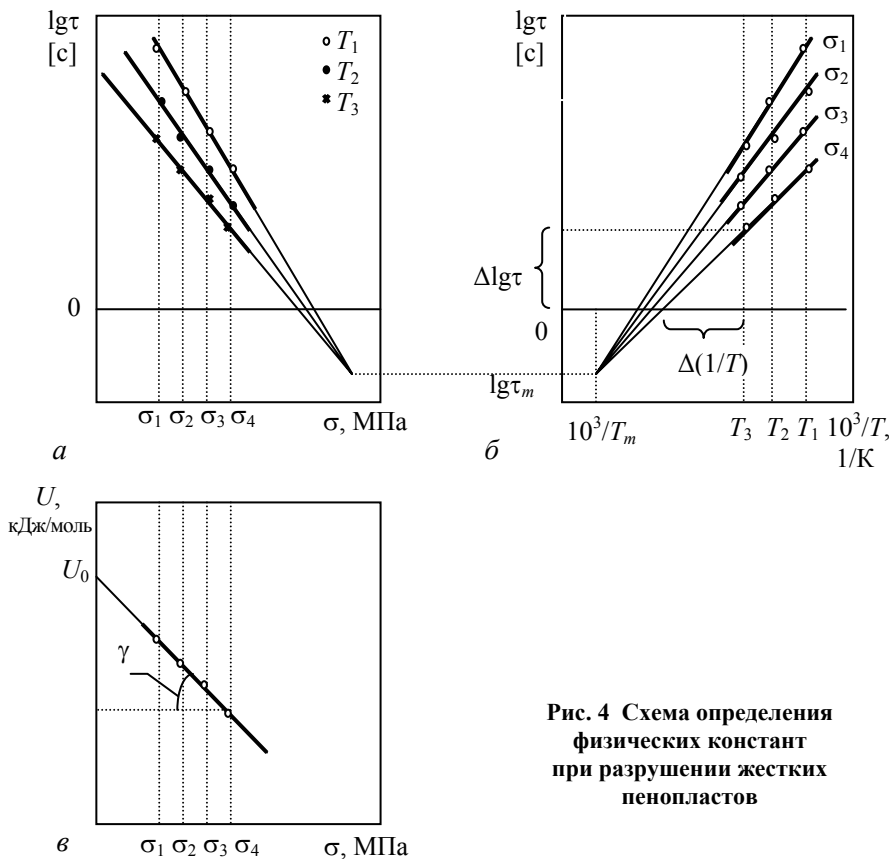
термостойкости

$$T_{\text{сп}} = \left[\frac{1}{T_m} + \frac{2,3 R}{U_0 - \gamma \sigma} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right]^{-1}, \quad (3)$$

где τ_m (период колебания кинетических единиц), U_0 (энергия активации), γ (структурно-механический фактор), T_m (предельная температура существования материала) – физические константы материала; σ – напряжение; T – температура; R – универсальная газовая постоянная; τ – время до разрушения (долговечность).

Величины констант определяются графоаналитическим способом. Так, τ_m и T_m – определяются как координаты полюса (точка пересечения прямых) из зависимости $\lg [\tau] - 1/T$. По тангенсу угла наклона прямых (рис. 4, б) по формуле $U = \frac{2,3 R \Delta \lg \tau}{\Delta(1/T)}$ рассчитываются значения U при заданных напряжениях и строится график в координатах $U - \sigma$ (рис. 4, в).

При экстраполяции на $\sigma = 0$ определяется величина U_0 ; по тангенсу угла наклона прямой определяется γ . Значения рассчитанных констант сводятся в табл. 2. Проверка правильности определения констант производится на ЭВМ по программе "Konstanta.exe". Блок – схема программы приведена в прил. 1.



Определив константы, по уравнениям (1) – (3) необходимо рассчитать величины прочности, долговечности и термостойкости при заданных параметрах испытания и занести полученные результаты в табл. 2.

Рис. 4 Схема определения физических констант при разрушении жестких пенопластов

2 Значения констант уравнений (1) – (3) и параметры прочностной работоспособности жестких пенопластов

$\tau_m, с$	$10^3/T_m, 1/К$	$U_0, кДж/моль$	$\gamma, кДж/моль \cdot МПа$	$\sigma, МПа$	$T, К$	$\tau, с$

Литература: [1, с. 61 – 66], [2, с. 59 – 74].

Лабораторная работа 2

ДЛИТЕЛЬНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы. Определение работоспособности жестких пенопластов при растяжении.

Оборудование и приборы. Для длительных испытаний на растяжение взята установка, приведенная в [3]. Она представляет собой стенд, станина которого выполнена из двух швеллеров № 7, к которым крепится тавр со стенкой толщиной 8 мм. В стенке тавра просверлены отверстия диаметром 12 мм, в которые вставляются захваты испытательных секций 7 (см. рис. 5). Каждая секция состоит из неподвижного 3 и подвижного 4 полуколец захвата, верхних 1 и нижних 2 тяг. Образец 6 надевается на полукольца 3 и 4. Неподвижное полукольцо через тягу соединяется со станиной, а к

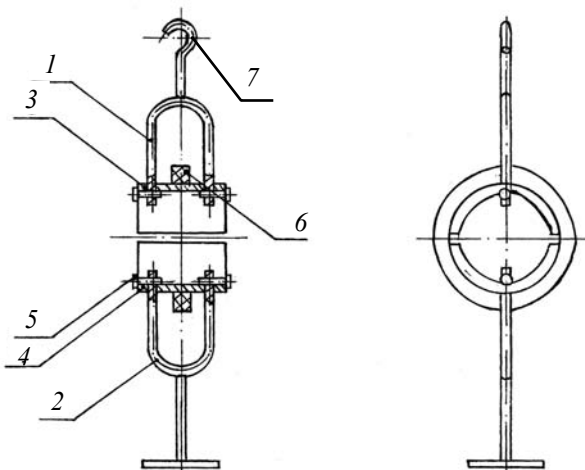


Рис. 5 Секция для длительных статических испытаний на одноосное растяжение

подвижному полукольцу подвешиваются грузы. Тяги соединяются с полукольцами при помощи штифтов 5. Повышенная температура в образце создается накладной термокамерой и регулируется ЛАТРОм, а замеряется термометром с точностью ± 1 °С.

Для устранения влияния колебаний при разрушении образцов, нагруженных одновременно, используется демпфирующее устройство – емкость, заполненная песком и покрытая резиновым листом.

Конструкция образцов. Для испытаний на долговечность применяется кольцевой образец. Такой образец имеет ряд преимуществ перед двусторонней лопаткой, рекомендуемой ГОСТом (исключается возможность образования концентраторов напряжения, смятие образца в зажимах, устраняется его перекося, и разрушение всегда происходит по рабочей плоскости). Конструкция и размер образца показаны на рис. 6.

Порядок выполнения работы. Испытания проводятся в следующей последовательности:

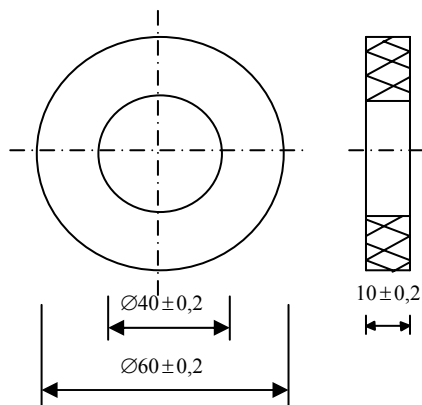


Рис. 6 Образец для длительных испытаний на растяжение

1) изготовление образцов; образцы изготавливаются с помощью нагрываемой нихромовой проволоки, находящейся в вертикальном положении на поворотном столике; образцы должны быть без видимых нарушений ячеистой структуры; после изготовления проверяют размеры поперечного сечения образцов в плоскостях разрушения;

2) перед испытанием образцы кондиционируют по ГОСТ 12423-66 при температуре $20 \pm 0,2$ °С в течение 24 ч и относительной влажности 65 ± 5 %;

3) образец одевают на полукольца и определяют разрушающую нагрузку ($N_{\text{разр}}$);

4) определив критическую разрушающую

нагрузку, повторяют п.п. (4) – (6), описанные в лабораторной работе 1;

7) вычисляют напряжение в образце по формуле

$$\sigma = \frac{N}{2A} \text{ [МПа]},$$

где N – нагрузка, приложенная к образцу; A – площадь поперечного сечения.

Обработка результатов испытаний. Экспериментальные данные и значения физических констант заносятся в табл. 1 и 2. Форма таблиц и порядок обработки экспериментальных данных приведены в лабораторной работе 1.

Литература: [1, с. 61 – 66], [2, с. 59 – 74], [3, с. 77 – 79].

Лабораторная работа 3

ДЛИТЕЛЬНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА СЖАТИЕ

Цель работы. Определение деформационной долговечности, температуры разложения и предела вынужденной эластичности при различной величине относительной деформации.*

Оборудование и приборы. Испытания на долговечность при сжатии до заданной величины относительной деформации проводятся на установке, показанной на рис. 7. Установка состоит из станины 1 и штока 2. На шток сверху прикладывается нагрузка. Относительная деформация образца при сжатии фиксируется при помощи индикатора часового типа 3 с точностью 0,01 мм. Образец 4 помещается под шток 2. Повышенная температура создается накладной термокамерой и регулируется ЛАТРОм, а замеряется термометром с точностью ± 1 °С, шарик которого располагается на верхней плоскости образца.

* В случае, если при испытании пенопластов не происходит хрупкого разрушения.

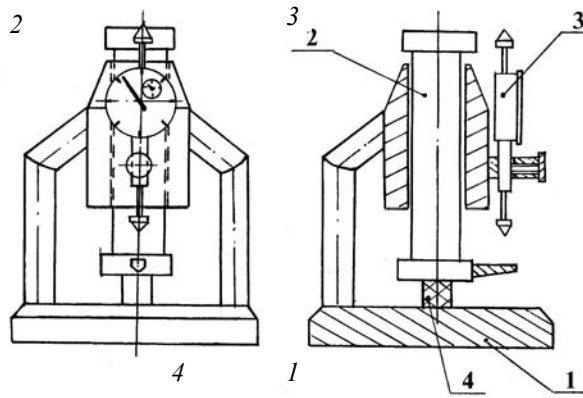


Рис. 7 Установка для длительных статических испытаний на сжатие

Конструкция образцов. Для испытаний используются образцы в виде куба со стороной ребра $25 \pm 0,2$ мм.

Порядок выполнения работы. Испытания проводятся в следующей последовательности:

- 1) изготовление образцов; образцы могут изготавливаться как механическим способом, так и с помощью нагреваемой нихромовой проволоки; высота образца должна совпадать с направлением вспенивания; образцы должны иметь ровную поверхность без видимых дефектов;
- 2) перед испытанием образцы кондиционируют по ГОСТ 12423-66 при температуре $20 \pm 0,2$ °С в течение 24 ч и относительной влажности $65 \pm 5\%$.
- 3) образец помещают под шток;
- 4) ЛАТРОм задается необходимая температура для испытаний и поддерживается с помощью накладной термокамеры;
- 5) задается величина относительной деформации ($\varepsilon = 1, 3, 5, 10, 20 \%$);
- 6) образец нагружается постоянной нагрузкой, причем, нагрузка задается до такой величины, чтобы время достижения заданной величины относительной деформации было равно нескольким десяткам секунд;
- 7) с помощью индикатора часового типа фиксируют время от момента начала нагружения образца до достижения величины заданной относительной деформации (деформационная долговечность);
- 8) вычисляют напряжение в образце по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A}, \text{ МПа,}$$

где N – нагрузка, приложенная к образцу; A – площадь поперечного сечения образца.

3 Значения времени до деформирования при заданных напряжении и температуре

№ точки	№ образца	$\varepsilon, \%$	$T, \text{ К}$	$N, \text{ кН}$	$\sigma, \text{ МПа}$	$\theta, \text{ с}$	$\lg [\theta]$	$\lg [\theta_{\text{ср}}]$

Обработка результатов испытаний. Полученные экспериментальные данные заносятся в табл. 3.

Экспериментальные данные обрабатываются с позиции термофлуктуационной концепции деформирования [2].

При постоянных заданных температуре и напряжении одновременно испытывается 6 – 12 образцов на каждую точку. За результат испытаний принимается среднее арифметическое. Нагрузка варьируется в таких пределах, чтобы получить не менее четырех точек на одну прямую при заданной температуре и величине относительной деформации (берутся минимум три различные температуры). Достоверность экспериментальных данных проверяется по ГОСТ 14359-69.

По экспериментальным данным строится график в координатах $\lg \theta - \sigma$. Для выявления аналитической зависимости, связывающей время до деформирования, напряжение и температуру зависимости графоаналитическим способом перестраиваются в координаты $\lg [\theta] - 1/T$. Уравнения, описывающие связь деформационной долговечности θ с напряжением σ и температурой T , приведены в [2] и имеют вид:

для деформационной долговечности

$$\theta = \theta_m \exp \left[\frac{U_0' - \gamma' \sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_m'} \right) \right]; \quad (1)$$

предела вынужденной эластичности

$$\sigma_b = \frac{1}{\gamma'} \left[U_0' - \frac{2,3RT}{1-T/T_m'} \lg \frac{\theta}{\theta_m} \right]; \quad (2)$$

и теплостойкости

$$T_p = \left[\frac{1}{T_m'} + \frac{2,3R}{U_0' - \gamma' \sigma} \lg \frac{\theta}{\theta_m} \right]^{-1}, \quad (3)$$

где θ_m (период колебания сегмента в цепи), U_0' (энергия активации перемещения сегмента из одного положения в другое), γ' (структурно-механическая константа, отражающая неравномерность распределения нагрузки по цепям полимера), T_m' (предельная температура размягчения полимера) – физические константы материала; σ – напряжение; T – температура; R – универсальная газовая постоянная; θ – время до деформирования (деформационная долговечность).

Величины констант определяются графоаналитическим способом из зависимостей $\lg [\theta] - 1/T$. Так, θ_m и T_m' – как координаты полюса (точка пересечения прямых). По тангенсу угла наклона прямых по формуле $U = \frac{2,3R \Delta \lg \theta}{\Delta(1/T)}$

рассчитываются значения U при заданных напряжениях и строится график в координатах $U - \sigma$. При экстраполяции на $\sigma = 0$ определяется величина U_0' ; по тангенсу угла наклона прямой определяется γ' . Схема определения физических констант приведена в лабораторной работе 1. Значения констант заносятся в табл. 4. Проверка правильности определения констант производится на ЭВМ по программе "Konstanta.exe". Блок – схема программы приведена в прил. 1.

4 Значения констант уравнений (1) – (3) и параметры деформационной работоспособности жестких пенопластов

$\varepsilon, \%$	$\theta_m, \text{с}$	$10^3/T_m', \text{1/К}$	$U_0', \text{кДж/моль}$	$\gamma', \text{кДж/моль}\cdot\text{МПа}$	$\theta, \text{с}$	$T_p, \text{К}$	$\sigma_b, \text{МПа}$

По уравнениям (1) – (3) вычисляются деформационная долговечность, теплостойкость и предел вынужденной эластичности при заданных параметрах испытания и величине относительной деформации. Полученные результаты заносятся в табл. 4.

Литература: [2, с. 74 – 89].

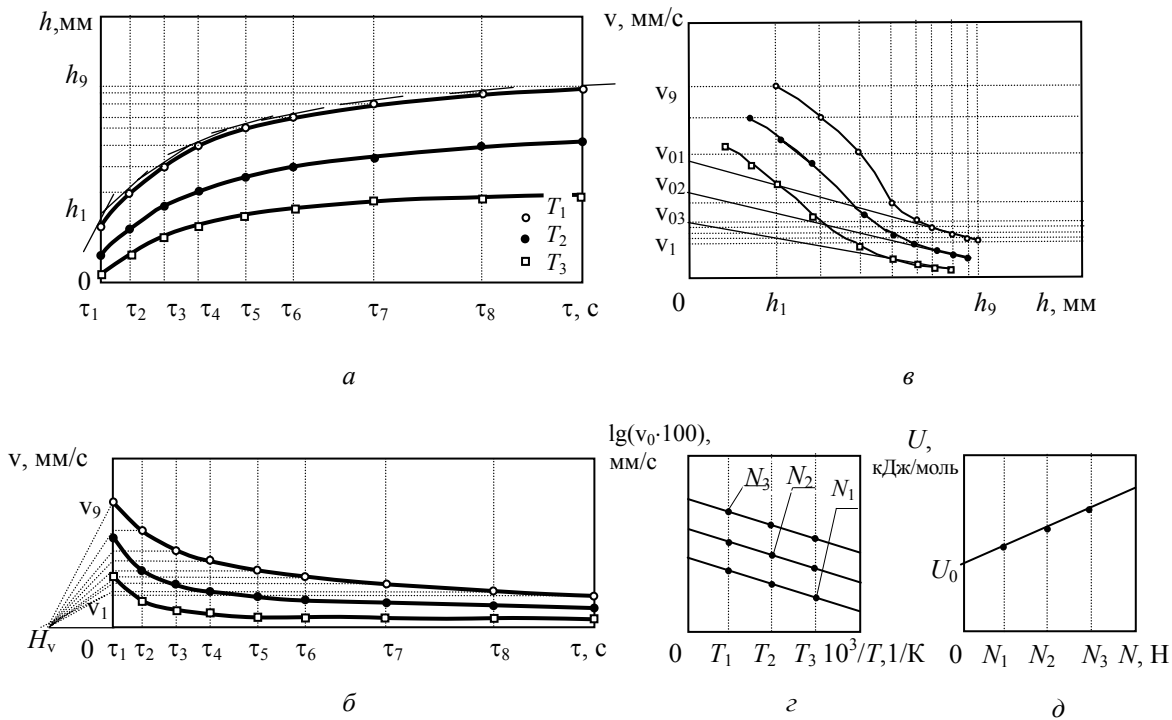


Рис. 9 Схема определения констант уравнения Аррениуса:

a – построение кинетических кривых; b – определение скорости пенетрации; c – начальных кажущихся скоростей v_0 ; d – зависимости логарифма начальной скорости от обратной температуры; e – температурно-силового фактора при длительной пенетрации жестких пенопластов

ПОСТРОЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ПРИ ПЕНЕТРАЦИИ

Цель работы. Определить скорость внедрения индентора в поверхность материала для заданного времени при фиксированных нагрузке и температуре.

Оборудование и приборы. Твердость пенопластов определяется с помощью установки, показанной на рис. 8. Установка состоит из станины 1, штока 2, в который завальцован шарик 4 Ø 10 мм. Образец 5 помещается под шток 2, на который сверху прикладывается нагрузка. Относительная деформация образца при пенетрации фиксируется индикатором часового типа 3 с точностью 0,01 мм. Повышенная температура создается накладной термокамерой, внутрь которой помещается образец и регулируется ЛАТРом, а замеряется термометром с точностью ±1 °С. Шарик термометра располагается на верхней плоскости образца.

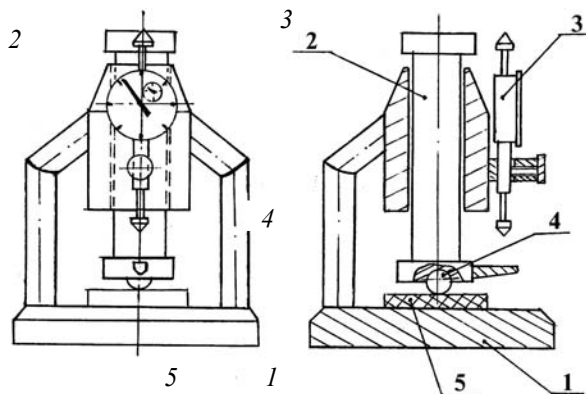


Рис. 8 Установка для исследования пенетрации

Конструкция образцов. Для испытаний используются образцы в виде полосы толщиной 10 мм и шириной 30 мм, вырезанной из разных участков плиты, причем толщина полосы должна совпадать с направлением вспенивания; образцы должны иметь ровную поверхность без видимых дефектов.

Порядок выполнения работы. Испытания проводятся в следующей последовательности:

- 1) перед испытанием образцы кондиционируют по ГОСТ 12423-66 при температуре $20 \pm 0,2$ °С в течение 24 ч и относительной влажности $65 \pm 5\%$.
- 2) ЛАТРом задается необходимая температура для испытаний и поддерживается с помощью накладной термокамеры;
- 3) образец помещают на опору широкой стороной и нагружают постоянной нагрузкой;
- 4) фиксируют время от момента начала нагружения и через определенные промежутки времени замеряют глубину погружения индентора в поверхность материала с помощью индикатора.

Обработка результатов испытаний. Полученные экспериментальные данные заносятся в табл. 5.

5 Испытания при длительной пенетрации жестких пенопластов

№ точки	№ измерения	T, К	Нагрузка N, Н	Показания индикатора, мм		Время τ, с
				h	h _{ср}	

При обработке экспериментальных данных используется методика, описанная в [1].

При постоянных заданных температуре и нагрузке испытывается 3 – 6 образцов на каждую точку. Через определенные промежутки времени фиксируется соответствующее этому времени показание индикатора (за результат испытаний принимается среднее арифметическое). Берутся минимум три различные нагрузки при заданной температуре (минимум три температуры). Достоверность экспериментальных данных проверяется по ГОСТ 14359-69.

По полученным экспериментальным данным строятся кинетические кривые в координатах $h - \tau$ (рис. 9, а). Они описываются уравнением Аррениуса [1]

$$K = K_0 \exp \frac{U}{RT}, \quad (1)$$

где $K = v$ – скорость внедрения индентора; $K_0 = v_0$ – начальная скорость; универсальная газовая постоянная.

U – температурно-силовой фактор; R –

Величина температурно-силового фактора U определяется графоаналитическим способом [4] из зависимостей, показанных на рис. 9, а (зависимость построена при одной нагрузке и трех различных температурах; аналогичные зависимости строятся при других нагрузках). Пример определения U показан на рис. 9.

Проекции кинетических кривых на ось абсцисс (время τ) разбивают на отрезки так, чтобы соответствующие части кривой мало отличались от прямолинейных. Затем, отмечают на горизонтальной оси полюс H_v на расстоянии 20 мм и через него проводят прямые, параллельные касательным (рис. 9, а) заданным в точках (рис. 9, б). Через точки пересечения этих прямых с осью ординат (скорость пенетрации v), проводят прямые, параллельные оси абсцисс до пересечения с соответствующими ординатами. Кривая, соединяющая эти точки, будет кривой скорости пенетрации (рис. 9, б). При этом масштаб полученной зависимости скорости пенетрации от времени определяется по формуле

$$M_v = \frac{M_h}{M_\tau H_v}, \quad (2)$$

где M_h – масштаб глубины погружения от времени, мм/мм; M_τ – масштаб времени, с/мм; H_v – полюсное расстояние, мм.

Зависимости (рис. 9 а, б) перестраивают в координаты $v - h$ (рис. 9, в). Экстраполяцией линейных участков кривых скоростей пенетрации от глубины погружения индентора в поверхность материала на ось ординат (скорость пенетрации v) определяются кажущиеся начальные скорости v_0 . Затем строятся зависимости логарифма начальной скорости от обратной абсолютной температуры (рис. 9, г). Величина температурно-силового фактора (рис. 9, д) определяется по формуле

$$U = 2,3R \frac{\Delta(\lg v_0 100)}{\Delta(10^3/T)} . \quad (3)$$

Экспериментальные данные и рассчитанные параметры заносятся в табл. 6. Проверка правильности определения констант производится на ЭВМ по программе "Grafdiffer.exe". Блок – схема программы приведена в прил. 2.

По уравнению (1) необходимо определить скорость внедрения тела в поверхность для заданного времени эксплуатации при фиксированных нагрузке и температуре.

6 Значения констант уравнения (1) и скорость внедрения индентора в поверхность материала

$N, Н$	$10^3/T, 1/К$	$v_0, мм/с$	$U_0, кДж/моль$	$v, мм/с$

Литература: [1, с. 432 – 447], [4, с. 134 – 135].

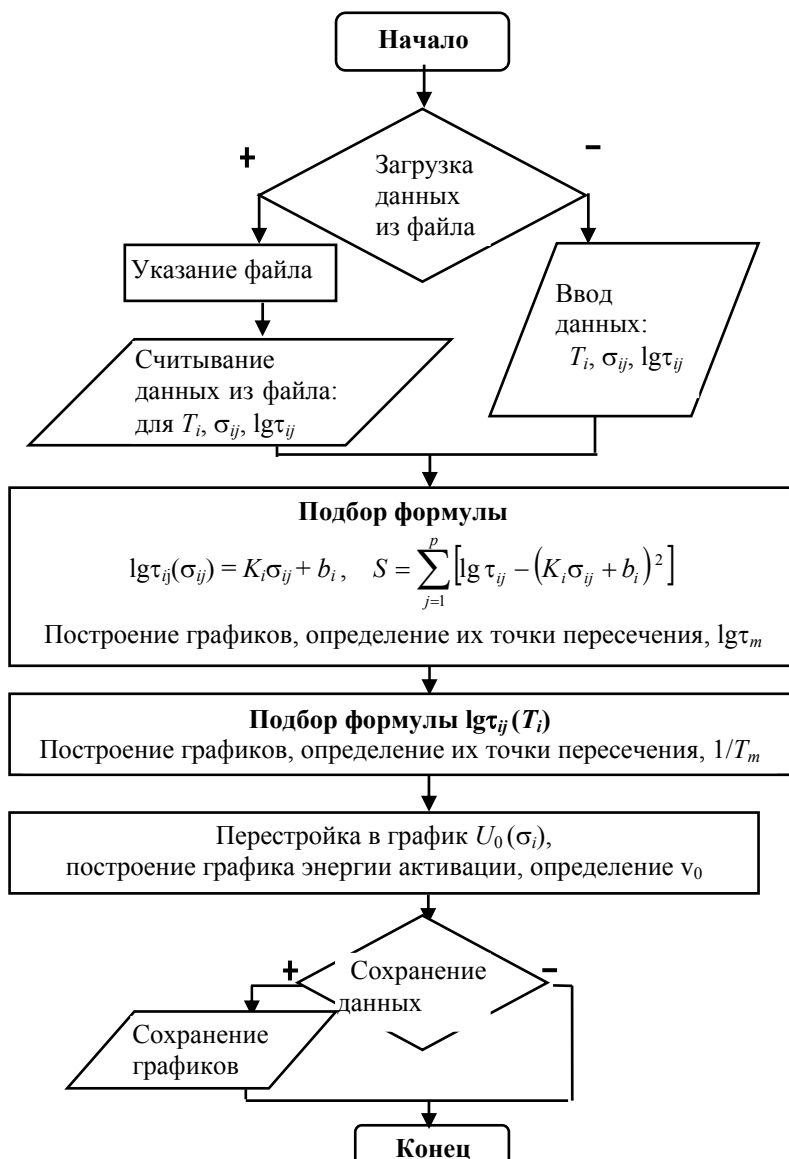
ЛИТЕРАТУРА

- 1 Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974.
- 2 Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / Сост.: С. Б. Ратнер, В. П. Ярцев. М.: Химия, 1992. 320 с.
- 3 Ярцев В. П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях и конструкциях зданий и сооружений: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2001. 149 с.
- 4 Справочник машиностроителя. Изд. 3-е, перераб. и доп. Т. 1 / Под ред. Н. С. Ачеркана. М.: ГНТИМЛ, 1963. 593 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММЫ "KONSTANTA.EXE"



Приложение 2

БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММЫ "GRAFDIFFER.EXE"

