

УДК 691.175

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
ЭКСТРУЗИОННОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА "ПЕНОПЛЭКС"**

**PHYSICAL AND TECHNICAL BASES OF OPERABILITY
OF THE EXTRUDED POLYSTYRENE "PENOPLEX"**

А.А. МАМОНТОВ, В.П. ЯРЦЕВ
A. A. MAMONTOV, V.P. YARTSEV

(Тамбовский государственный технический университет)
(Tambov State Technical University)
E-mail: sansanich1409@yandex.ru

В статье рассматривается проблема выявления границ работоспособности экструзионного пенополистирола, соблюдение которых обеспечит его надежную эксплуатацию. Представлены результаты исследования процессов разрушения и деформирования пенопласта с позиций термофлуктуационной теории прочности. Экспериментально установлен вид описывающих их аналитических зависимостей и значения термофлуктуационных констант. Получены диаграммы работоспособности, позволяющие прогнози-

вать долговечность утеплителя в заданном температурно-силовом диапазоне. С их помощью также можно определить предельную величину нагрузки или температуры, обеспечивающей длительную эксплуатацию экструзионного пенополистирола.

The problem of identifying the boundaries of operability of the extruded polystyrene is considered in the article. Keeping of these limits will provide of reliable operation of the heater. The results of research of destruction and deformation processes of the plastic foams from the standpoint of the thermalfluctuation theory of strength is presented. The form of analytical dependences, describing these processes, is experimentally established. Also values of the thermalfluctuation constants is defined. Charts to predict the longevity of the insulation at a predetermined temperature and force range is obtained. With their help, you can also define the limiting value of load or temperature, providing of long operation of extruded polystyrene.

Ключевые слова: экструзионный пенополистирол "ПЕНОПЛЭКС", работоспособность, термофлуктуационная концепция, поперечный изгиб, сжатие.

Keywords: extruded polystyrene "PENOPLEX", performance, thermalfluctuation concept, transverse bending, compression.

В настоящее время широко распространенным теплоизоляционным материалом являются плиты экструзионного пенополистирола "ПЕНОПЛЭКС". Как правило, они применяются в многослойных конструкциях, работоспособность которых определяется работоспособностью входящих в них материалов. Известно, что ресурс работоспособности теплоизоляционного материала, в отличие от конструкционного, исчерпывается быстрее [1]. Связано это не столько с его несущей способностью, что также немаловажно, сколько с теплоизолирующими свойствами. В процессе эксплуатации в утеплителе возникают напряжения, вызываемые механическими и атмосферными воздействиями. Они ускоряют деструкцию полимера, нарушается замкнутость ячеек, увеличивается проницаемость пенополистирола и, как следствие, его теплопроводность [2]. В свою очередь, это приводит к частым ремонтам конструкций и значительным эксплуатационным затратам, связанным с заменой утеплителя.

Одной из актуальных научных проблем в области полимерных теплоизоляционных материалов является исследование их работоспособности. Поскольку эксплуатация

утеплителя сопровождается одновременным действием механических нагрузок и температур, исследовать его работоспособность необходимо с позиций термофлуктуационной теории разрушения и деформирования твердых тел, позволяющей учесть оба фактора.

С точки зрения термофлуктуационной теории для любого материала существуют три взаимосвязанные границы работоспособности: силовая, временная и температурная [3]. Направленное изменение любого из указанных параметров возможно посредством изменения двух других, что позволяет наиболее полно использовать ресурс материала.

Согласно [3] границами прочностной работоспособности являются соответственно предел длительной прочности (σ , МПа), долговечность (τ , с) и термостойкость (T , °С). Деформационная работоспособность характеризуется пределом длительной текучести (σ_T , МПа), деформационной долговечностью (θ , с) и теплостойкостью (T , °С).

Работоспособность материала определяется небольшой группой физических констант, которые связаны с его составом и

строением. Для определения значений констант необходимо исследовать процессы разрушения и деформирования материала с термоактивационных позиций в условиях одновременного действия нагрузок и температур.

В связи с этим выполнялось исследование работоспособности экструзионного пенополистирола с позиций термофлуктуационной теории разрушения и деформирования твердых тел.

Для определения вида температурно-временной зависимости прочности и величин констант экструзионного пенополистирола "ПЕНОПЛЭКС" проводили длительные механические испытания образцов поперечным изгибом и сжатием по методике, описанной в [3]. По полученным экспериментальным данным в полулогарифмической системе координат строили графики, характеризующие зависимость времени достижения материалом критического состояния от величины возникающих в нем напряжений при соответствующих температурах. Значения физических констант рассчитывали графоаналитическим способом [3].

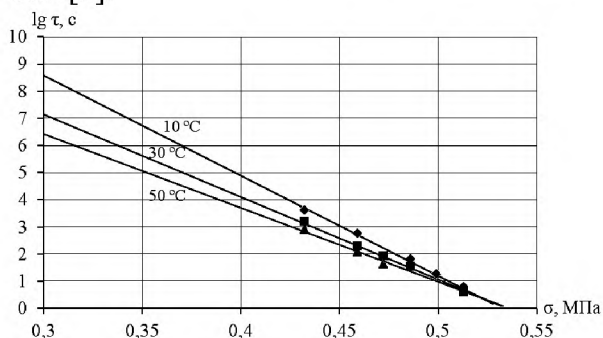


Рис. 1

На рис. 1 представлены зависимости логарифма долговечности ($\lg \tau$, с) пенополистирола "ПЕНОПЛЭКС" от напряжений при поперечном изгибе (σ , МПа) при температурах 10, 30 и 50 °С.

Видно, что графики имеют линейный характер и образуют семейство прямых, сходящихся в одну точку – "полюс". Процесс разрушения экструзионного пенополистирола имеет термофлуктуационную природу. Аналитическая зависимость, связывающая время до разрушения τ , напряжение σ и температуру T , описывается следующим уравнением [3]:

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

где τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц: атомов, молекул, сегментов), с; U_0 – максимальная энергия активации процесса разрушения, кДж/моль; γ – структурно-механическая константа, кДж/(моль·МПа); T_m – предельная температура существования твердого тела (температура разложения), К; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); τ – время до разрушения (долговечность), с; σ – напряжение, МПа; T – температура, К.

Значения физических констант τ_m , T_m , U_0 , γ для экструзионного пенополистирола "ПЕНОПЛЭКС", эксплуатируемого в условиях поперечного изгиба, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические константы при изгибе "ПЕНОПЛЭКС"			
τ_m , с	T_m , К	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(моль·МПа)
100,37	525	226	432

Из табл. 1 видно, что значения предельной температуры существования T_m и энергии активации U_0 близки соответствующим константам для беспрессового пенополистирола и исходного полимера – полистирола [4], [5]. Незначительное их расхождение объясняется рецептурными особенностями

материалов, присутствием в полимере различных добавок. Однородная и упорядоченная структура экструзионного пенополистирола сказывается на величине структурно-механической константы γ , значение которой в 1,2 раза меньше, чем у беспрессовых пенопластов. Достаточно

большое в сравнении с другими пенопластами значение τ_m подтверждает повышенную прочность и жесткость исследуемого материала.

Подставляя полученные значения физических констант в уравнение (1), можно прогнозировать долговечность "ПЕНО-ПЛЭКС", работающего при поперечном изгибе, в широком диапазоне напряжений и температур, а также определить предел длительной прочности (σ , МПа) и термостойкость (Т, К) материала в любое время эксплуатации (τ , с), выразив их из уравнения.

Прогнозирование границ работоспособности удобно вести с помощью диаграммы, позволяющей оценить как долговечность материала (срок эксплуатации, годы) в заданном температурно-силовом интервале, так и температуру или нагрузку, обеспечивающие его надежную работу при поперечном изгибе в течение установленного срока (рис. 2).

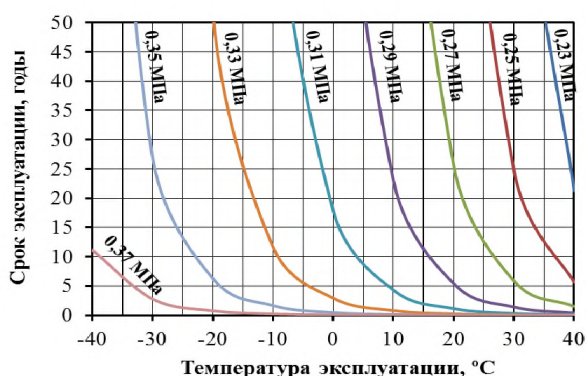


Рис. 2

На основании данной диаграммы можно предположить, что исследуемый материал прослужит более 50 лет, если напряжения, возникающие в нем при изгибе, не будут превышать 0,25 МПа, а температура окружающей среды будет около 25°C.

Деформирование тел, как и разрушение, имеет термофлуктуационную природу, но происходит через разрыв и последующее возникновение межмолекулярных связей.

Этот процесс описывается аналогичным уравнением, в котором изменяется лишь физический смысл констант [3]: T_m – предельная температура размягчения, выше которой полимер не может вести себя как твердое тело; θ_m – период колебания кинетических единиц – сегментов; U_0 – максимальная энергия активации процесса размягчения, которая определяется энергией связей, препятствующих потере формы тела; γ – структурно-механическая константа, характеризующая эффективность механического поля при действии нагрузки.

На рис. 3 показаны зависимости логарифма долговечности ($\lg \theta$, с) пенополистирола "ПЕНОПЛЭКС" от напряжений (σ , МПа) при сжатии до 10% деформации при температурах 20, 40 и 60°C, иллюстрирующие результаты исследования деформационной работоспособности утеплителя.

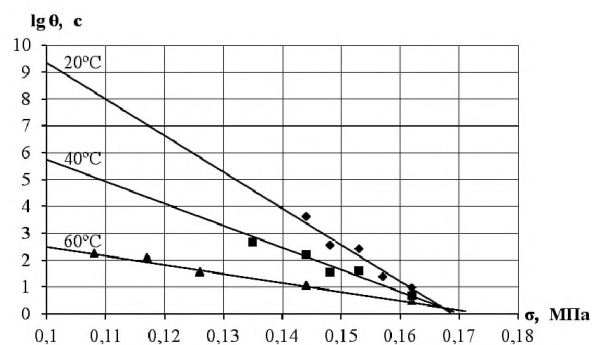


Рис. 3

Видно, что при различных температурах испытаний зависимости логарифма долговечности ($\lg \theta$, с) от напряжений (σ , МПа) имеют линейный характер и сходятся в одну точку – полюс. Деформирование пенополистирола также подчиняется термофлуктуационному механизму. Аналитическое выражение, описывающее их, аналогично уравнению (1), только вместо τ и τ_m следует писать θ и θ_m .

Значения физических констант θ_m , T_m , U_0 , γ для "ПЕНОПЛЭКС" при сжатии до 10% деформации приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Физические константы при сжатии "ПЕНОПЛЭКС"			
θ_m , с	T_m , К	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(моль·МПа)
$10^{0,25}$	349	804	4816

Величины констант θ_m , U_0 , γ значительно превышают соответствующие показатели для беспрессового пенополистирола [4], [5], что объясняется более однородной и жесткой структурой исследуемого материала. При деформировании на 10% в работу включается весь объем образца, что приводит к изменению полного сегмента полимерной цепи. Это подтверждается увеличенным значением θ_m . В отличие от поперечного изгиба температура полюса T_m соответствует начальной температуре размягчения пенополистирола.

Подставляя полученные значения констант в уравнение (1), можно прогнозировать деформационную долговечность "ПЕНОПЛЭКС", работающего в условиях сжатия до 10% деформации в широком диапазоне напряжений и температур. Из уравнения (1) можно определить два других параметра деформационной работоспособности материала: предел длительной текучести (σ , МПа) и теплостойкость (T , К) в любой момент эксплуатации (θ , с).

Использование диаграммы работоспособности экструзионного пенополистирола "ПЕНОПЛЭКС" при деформировании сжатием до 10% деформации (рис. 4) упрощает решение подобных задач.

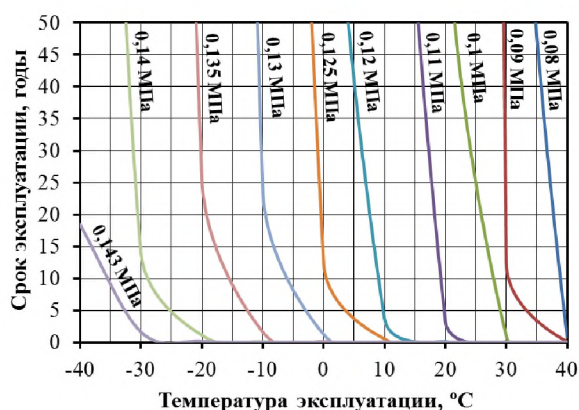


Рис. 4

Из диаграммы видно, что для того, чтобы деформации сжатия пенополистирола, работающего при температуре около 25°C, достигли своего критического значения не ранее 30 лет эксплуатации, уровень

возникающих в нем напряжений должен быть менее 0,1 МПа.

ВЫВОДЫ

1. Процессы разрушения и деформирования экструзионного пенополистирола подчиняются принципу температурно-силовой-временной эквивалентности.

2. Прогнозирование основных параметров работоспособности экструзионного пенополистирола необходимо осуществлять с применением термофлуктуационного подхода.

3. Получены диаграммы работоспособности экструзионного пенополистирола "ПЕНОПЛЭКС", позволяющие прогнозировать продолжительность его эксплуатации в заданных условиях, а также величину температурно-силовых воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. – М.: НИИСФ РААСН, 2004.
2. Гуюмджян П.П., Коканин С.В., Цыбакин С.В. Исследование долговечности пенополистирола строительного назначения // Вестник МГСУ. – 2012, №1. С. 88...93.
3. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? – М.: Химия, 1992.
4. Андрианов К.А., Ярцев В.П. Влияние состава на прочность, долговечность и термостойкость пенополистирола // Вестник Тамбовского гос. технич. ун-та. – 2002. Т.8, №2. С. 331...335.
5. Мамонтов С.А., Киселева О.А. Влияние старения на долговечность пенополистирола // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012, №2(40). С. 39...44.

REFERENCES

1. Aleksandrovskij S.V. Dolgovechnost' naruzhnyh ograzhdajushih konstrukcij. – M.: NIISF RAASN, 2004.
2. Gujumdzhan P.P., Kokanin S.V., Cybakin S.V. Issledovanie dolgovechnosti penopolistirola stroitel'nogo naznachenija // Vestnik MGSU. – 2012, №1. S. 88...93.
3. Ratner S.B., Jarcev V.P. Fizicheskaja mehanika plastmass. Kak prognoziruut rabotosposobnost'? – M.: Himija, 1992.

4. Andrianov K.A., Jarcev V.P. Vlijanie sastava na prochnost', dolgovechnost' i termostojkost' penopolistirola // Vestnik Tambovskogo gos. tehnic. un-ta. – 2002. T.8, №2. S. 331...335.

5. Mamontov S.A., Kiseleva O.A. Vlijanie starenija na dolgovechnost' penopolistirola // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2012, №2(40). S. 39...44.

Рекомендована кафедрой конструкции зданий и сооружений. Поступила 01.06.16.
