

## ПРОЧНОСТНАЯ И ДЕФОРМАЦИОННАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АРМИРОВАННОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

А.А. Мамонтов, О.А. Киселева

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; kardinal61@mail.ru

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** армирование; долговечность; пенетрация; пенополистирол; поперечный изгиб; стеклосетка; стеклохолст.

**Аннотация:** Разработаны оптимальные конструкции армированного пенополистирола, которые являются более прочными. Исследовано влияние армирования на прочностную и деформационную долговечность пенополистирола.

---

Пенополистирол нашел широкое применение в строительстве в качестве эффективного утеплителя фасадов, тепло- и звукоизоляции пола, несъемной опалубки при изготовлении монолитного фундамента, в целях изоляции от промерзания.

Как любой материал пенополистирол имеет ряд недостатков: низкую прочность, высокую деформативность и как следствие – малую долговечность [1]. Поэтому актуальной задачей является повышение прочности и долговечности этого теплоизоляционного материала.

Повышение прочности пенополистирола было достигнуто армированием стеклотканевой сеткой и стеклохолстом. По результатам кратковременных механических испытаний установили следующие оптимальные конструкции армированного пенополистирола [2]:

- двухслойная с армирующей прослойкой и покрытием из стеклосетки;
- трехслойная с армирующими прослойками и покрытием из стеклохолста;
- трехслойная с армирующими прослойками из стеклохолста и покрытием из стеклосетки.

Проследим, как влияет армирование на долговечность пенополистирола.

При нагружении в твердом теле одновременно возникают два процесса: деформирование и разрушение. Они протекают с разной скоростью, и обнаруживается тот процесс, для реализации которого требуется меньше времени. Оба процесса имеют термофлуктуационную природу и описываются идентичными уравнениями. В случае разрушения уравнения имеют следующий вид [3]:

- для прямого пучка

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

- для обратного пучка

$$\tau = \tau'_m \exp \left[ \frac{U'_0 - \gamma' \sigma}{RT} \left( \frac{T'_m}{T} - 1 \right) \right]; \quad (2)$$

– для параллельных прямых

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

где  $\tau_m$  – минимальная прочностная долговечность (период колебания кинетических единиц: атомов, молекул, сегментов), с;  $U_0$  – максимальная энергия активации процесса разрушения или размягчения, кДж/моль;  $\gamma$ ,  $\beta$  – структурно-механические константы, кДж/(моль·МПа);  $T_m$  – предельная температура существования твердого тела в случае разрушения или предельная температура разложения (размягчения) в случае деформирования, К;  $R$  – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К);  $\tau$  – время до разрушения (прочностная долговечность), с;  $\sigma$  – напряжение, МПа;  $T$  – температура, К;  $\tau'_m$ ,  $\tau_*$ ,  $T'_m$ ,  $U'_0$ ,  $U$ ,  $\gamma'$  – эмпирические константы.

При деформировании материала в уравнениях (1)–(3) вместо величин  $\tau$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau'_m$ ,  $\tau_*$  следует указывать, соответственно:  $\theta$  – время достижения заданной деформации (деформационная долговечность);  $\theta_m$  – минимальная деформационная долговечность;  $\theta'_m$ ,  $\theta_*$  – эмпирические константы.

В связи с этим рассматривают прочностную и деформационную долговечность материалов.

Изучение долговечности пенополистирола вели с позиций термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел. В результате были получены зависимости прочностной долговечности ( $\lg\tau$ , с) от напряжений при изгибе ( $\sigma$ , МПа), описываемые уравнениями (1) и (3). Рассчитаны термофлуктуационные константы, входящие в данные уравнения (табл. 1) [4].

При исследовании деформационной долговечности армированного пенополистирола проводились длительные испытания пенетрацией в режиме заданных напряжений и температур. В процессе испытаний фиксировали время достижения заданной глубины погружения индентора (2 мм). В результате были получены зависимости деформационной долговечности конструкций  $\lg\theta$ , с, от напряжений при пенетрации  $H$ , МПа (рисунок).

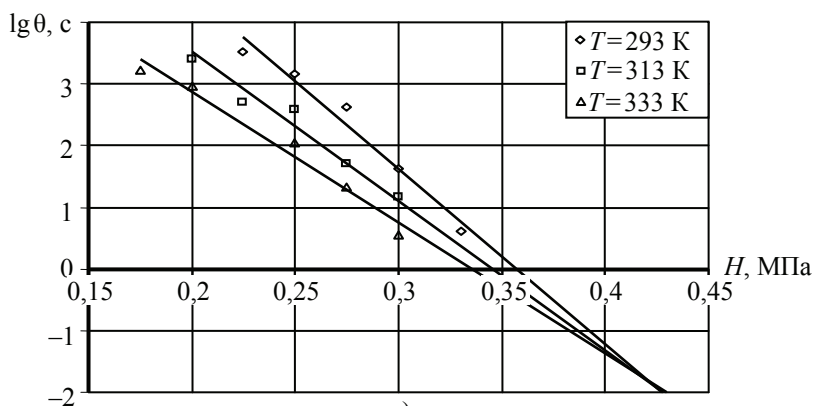
Из рисунка видно, что все экспериментальные зависимости, выраженные в координатах  $\lg\theta-H$ , имеют линейный характер, но их вид определяется способом армирования.

Так, для неармированного пенополистирола зависимость представлена прямыми, сходящимися в одну точку (прямой пучок) (рисунок, а), а для пенополистирола, армированного и покрытого стеклотканевой сеткой – обратным пучком (рисунок, б). Такой вид зависимости характерен для ориентированного материала,

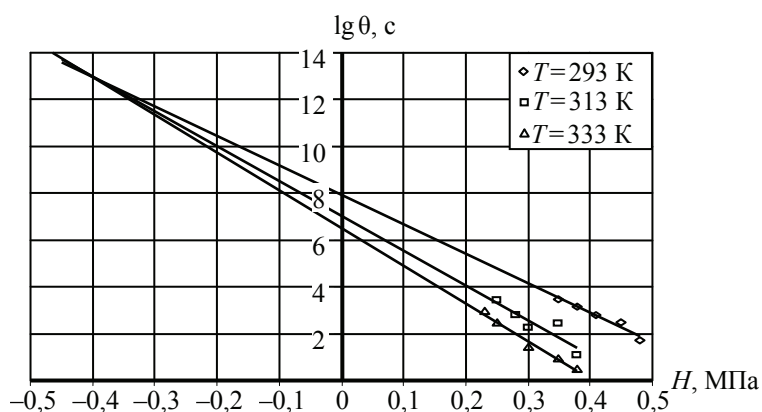
Таблица 1

**Значения физических и эмпирических констант для пенополистирола ПСБ-С 35 при поперечном изгибе**

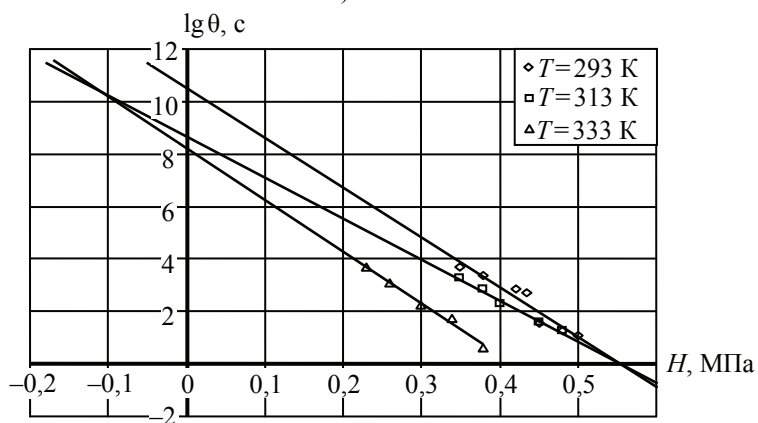
Конструкция пенополистирола	Величины констант				
	$\tau_m$ , с	$T_m$ , К	$U_0(U)$ , кДж/моль	$\gamma$ , кДж/(моль·МПа)	$\beta$ , 1/МПа
Неармированная	$10^{-2,9}$	526,3	200	515,3	–
Двухслойная с армирующим слоем и покрытием из стеклосетки	$10^{-12,6}$	–	129,6	–	7,5
Трехслойная с армирующими слоями и покрытием из стеклохолста	$10^{-3,7}$	434,8	300	400	–



a)



б)



в)

**Зависимости деформационной долговечности ( $\lg \theta$ , с) от напряжения при пенетрации ( $H$ , МПа) для пенополистирола ПСБ-С35:**  
*a* – неармированного; *б* – двухслойного с армирующим слоем и покрытием из стеклосетки; *в* – трехслойного с армирующими слоями и покрытием из стеклохолста

роль которого как раз и выполняет покрытие из стеклосетки. Что же касается пенополистирола, армированного и покрытого стеклохолстом, то вид зависимости определяется диапазоном температур. При температурах в пределах от 293 до

**Значения физических и эмпирических констант  
для пенополистирола ПСБ–С 35 при пенетрации**

Конструкция пенополистирола	Величины констант			
	$\theta_m (\theta'_m)$ , с	$T_m (T'_m)$ , К	$U_0 (U'_m)$ , кДж/моль	$\gamma (\gamma')$ , кДж/(моль·МПа)
Неармирования	$10^{-1,8}$	552,5	144,1	341,9
Двухслойная с армирующим слоем и покрытием из стеклосетки	$10^{12,9}$	204,9	66,2	–167,1
Трехслойная с армирующими слоями и покрытием из стеклохолста:				
– в интервале температур от 20 до 40 °С ;	$10^{0,05}$	462,9	161,8	292,7
– в интервале температур от 40 до 60 °С	$10^{10,4}$	254,4	45,8	–412,5

313 К зависимость имеет вид прямого пучка, а в пределах от 313 до 333 К – обратного пучка (рисунок, в). Это объясняется тем, что первоначально материал работает как обычный пенополистирол, но при дальнейшем увеличении температуры в работу включается холст, пропитанный клеем.

Полученные зависимости описываются уравнениями (1) и (2). Физические и эмпирические константы, входящие в них, определяли графоаналитическим способом [3]. Значения их приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что для армированного стеклохолстом пенополистирола в диапазоне температур от 20 до 40 °С величины констант близки константам исходного пенопласта. Однако при более высоких температурах клеевая прослойка размягчается и включается в работу, что сказывается на величине констант. При армировании сеткой также наблюдается изменение всех констант. Причем в обоих случаях константы ведут себя аналогичным образом. Происходит значительное увеличение периода колебаний сегментов, что приводит к увеличению константы  $\theta_m$ . Уменьшение предельной температуры размягчения армированного пенополистирола связано с наличием клеевой прослойки, химический состав которой отличается от химического состава пенопласта, а также – с включением в работу стеклосетки. Уменьшение величины  $U_0$  свидетельствует о ведущей роли в процессе работы армирующего элемента, который сдерживает деформирование пенопласта. В силу того, что стеклохолст имеет волокнистую структуру, покрытие равномерно распределяет приложенную к нему нагрузку, снижая уровень локальных перенапряжений. Этим и объясняется снижение величины структурно-механической константы  $\gamma$ .

Полученные данные позволяют прогнозировать прочностную и деформационную работоспособность армированного пенополистирола в широком диапазоне условий эксплуатации (нагрузок и температур). Установлено, что наибольшей деформационной долговечностью обладает пенополистирол с прослойкой и покрытием из стеклохолста, а прочностной долговечностью – пенополистирол, армированный стеклосеткой.

### *Список литературы*

1. Павлов, В.А. Пенополистирол / В.А. Павлов. – М. : Химия, 1973. – 240 с.
2. Мамонтов, А.А. Повышение механических свойств пенопластов путем их армирования / А.А. Мамонтов, О.А. Киселева // Проблемы ноосферной безопасности и устойчивого развития : сб. науч. ст. молодых ученых и студ. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2010. – Вып. 1. – С. 187–189.
3. Ярцев, В.П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях зданий и сооружений / В.П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. – 150 с.
4. Мамонтов, А.А. Влияние армирования на долговечность пенополистирола / А.А. Мамонтов, О.А. Киселева // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы междунар. академ. чтений, Курск, 23–25 сент. 2010 г. / Курск. гос. ун-т. – Курск, 2010. – С. 80–85.

---

## **Strength and Deformation Durability of Reinforced Styrofoam**

**A.A. Mamontov, O.A. Kiseleva**

*Department "Construction of Buildings and Structures", TSTU;  
kardinal61@mail.ru*

**Key words and phrases:** cross-bending; durability; fiberglass; fiberglass mat; penetration; polystyrene; reinforcement.

**Abstract:** The paper presents the developed optimum constructions of reinforced polystyrene, which are more durable. The influence of reinforcement on strength and deformation durability of polystyrene is studied.

---

## **Haltbarkeits- und Deformationsfestigkeit des armierten Schaumpolystyrols**

**Zusammenfassung:** Es sind die optimalen Konstruktionen des armierten Schaumpolystyrols erarbeitet. Es ist die Einwirkung auf die Haltbarkeits- und Deformationsfestigkeit des armierten Schaumpolystyrols untersucht.

---

## **Longévité rigide de la déformation de polystyrène de mousse armé**

**Résumé:** Sont élaborées les constructions optimales de polystyrène de mousse armé qui sont les plus rigides. Est étudiée l'influence du ferrailage sur la longévité rigide de la déformation de polystyrène de mousse armé.

---

**Авторы:** *Мамонтов Александр Александрович* – магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Киселева Олеся Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».