СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.011.78

Р.С. Федюк

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК СТРОИТЕЛЬНОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

В настоящее время для изготовления несъемной стеновой опалубки применяется весьма широкий спектр марок пенополистирола. Это связано с отсутствием единых норм на технологию изготовления и область применения несъемной опалубки. Производители пенополистирола предоставляют в своих рекламных заявлениях не всегда правдивую информацию обо всех положительных и отрицательных качествах применяемых для конструкций материалов. Поэтому вопрос исследования теплотехнических и эксплуатационных свойств различных видов пенополистирола является весьма актуальным. Впервые автором рассматривается гипотеза о возможности применения экструзионного пенополистирола не только для изготовления опалубки фундаментных блоков, но и для стеновой опалубки.

Согласно классической энциклопедии полимеров [1], в процессе эксплуатации происходит «деструкция полимеров – разрушение макромолекул под действием тепла, кислорода, света, проникающей радиации, механических напряжений, биологических и других факторов. Таким образом, на воздухе при обычных температурах происходит обязательное изменение химического строения полимеров под воздействием кислорода воздуха, называемое окислительной деструкцией [2].

В настоящее время оценка долговечности элементов (ограждающих конструкций) стен производится на основе исследования их морозостойкости. В то же время, официально утвержденной методики определения долговечности пенополистирола и ограждающих конструкций с его применением не существует [3].

Обширный обзор научных исследований по морозостойкости строительных материалов представлен в [4-9]. Однако трактовка этих данных с точки зрения морозостойкости во многом зависит от условий самих испытаний. Обычно при проведении опытов изделия замораживаются с одной (одностороннее замораживание) или со всех сторон (объемное замораживание). Стандартный метод определения морозостойкости, основанный на прямом объемном (всестороннем) замораживании водонасыщенных образцов в холодильной камере с последующим их оттаиванием в воде в последнее время стал объектом критики ученых многих стран [4-9].

Ниже рассматривается возможность применения пенополистирола в качестве несъемной опалубки с позиций долговечности. Поэтому задачей исследований на циклические температурно-влажностные воздействия (по методике А.В. Ли [10]) будет проведение замеров основных эксплуатационных параметров пенополистирола, таких как теплопроводность, динамический модуль упругости, средняя плотность, усадка, после определенного количества циклов испытаний.

Экспериментальные исследования были проведены автором в Дальневосточном федеральном университете в 2013 г.

Цель эксперимента – получить зависимость изменения эксплуатационных параметров от продолжительности циклических температурно-влажностных воздействий различных марок пенополистирола, применяемого для производства несъемной опалубки:

1. Пенополистирол «Изодом» (ООО «Изодом» (Уссурийск)), средняя плотность 29 кг/м^3.
2. Пенополистирол «Изодом» (ООО «СтройПрофиГрупп» (Москва)), средняя плотность 26 кг/м^3.
3. Пенополистирол «Изодом» (ООО «Изодом-2000» (Москва)), средняя плотность 28,5 кг/м^3.
4. Пенополистирол «Легодом» (Тихоокеанская строительная компания (Владивосток)), средняя плотность 26,5 кг/м^3.
5. Экструзионный пенополистирол (ООО «Неомир» (Курск) средняя плотность 40,3 кг/м^3.

Задачи эксперимента:

1. Провести циклические температурно-влажностные испытания образцов материалов по методике А.В. Ли [10].
2. В процессе проведения циклических испытаний необходимо проводить замеры основных эксплуатационных параметров материалов, таких как: теплопроводность, динамический модуль упругости.

В соответствии с поставленными задачами был произведен отбор образцов пенополистирола двух типов:

1. Для определения теплопроводности, усадки, изменения средней плотности были выпилены 3

образца квадратной формы со сторонами 250 х 250 мм и толщиной 50 мм.

2. Для определения прочности на сжатие при десятипроцентной деформации, были выпилены 3 образца квадратной формы со сторонами 100 х 100 мм и толщиной 10 мм.

Определение средней плотности образцов материала

Образцы взвешивались с точностью до 1 мг. Средняя плотность образца ρ_0 вычислялась в зависимости от массы, объема и влажности по формуле, взятой из [10]:

$$\rho_o = \frac{m}{V(1+0{,}01W)},$$

Влажность определяется при достижении образцами материала постоянного веса. За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение. Результаты измерений массы, объема, влажности и вычисленные значения средней плотности материала заносятся в таблицу. Пример полученных результатов для одного из вариантов представлен в табл. 1.

Определение прочности на сжатие при десятипроцентной деформации.

Определяется динамический модуль упругости образцов. Сущность метода заключается в определении резонансной частоты образца при неразрушающем возбуждении в нем упругих колебаний звуковой частоты и расчете величины модуля $E_д$. Схема установки для определения динамического модуля приведена на рис. 1.

Образец размещается в устройстве возбуждения так, что шаровая опора находилась в точке пересечения диагоналей, а пружина обеспечивала прижим с усилием не более 50 г.

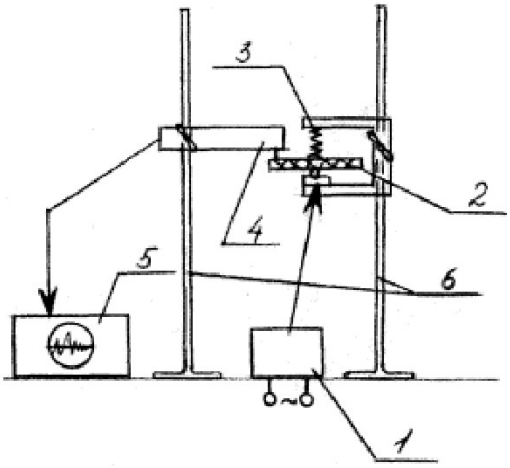

Рис. 1. Схема установки для определения динамического модуля упругости:1 – устройство возбуждения звуковых колебаний; 2 – образец; 3 – упругий фиксатор (пружина); 4 – пьезоэлектрический звукосниматель с корундовой иглой; 5 – спектрометр; 6 – штатив

Игла устройства детектирования размещается последовательно в характерных точках поверхности образца (в углах или центах ребер), добиваясь наибольшей амплитуды и остроты резонансного пика на экране индикатора анализатора спектра (рис. 2).

Производятся четыре измерения для каждого образца (на каждом ребре или для каждого угла в зависимости от формы колебаний

Динамический модуль упругости материала $E_д$., Мпа, вычисляется по формуле [202]:

$$E_д = (2\pi f)^2 \frac{\rho b^4 (12-\nu^2)}{a^2 h^2} 0{,}3,$$

f – резонансная частота, Гц;

Таблица 1. Определение средней плотности образцов экструзионного пенополистирола ООО «Неомир»

№ образца	Объем, м^3	Масса, кг	Влажность образца W, %	Средняя плотность образца ρ_0
1	0,00296	0,1195	1,0	40,37
2	0,00296	0,1183	1,0	39,96
3	0,00298	0,1190	1,0	40,20

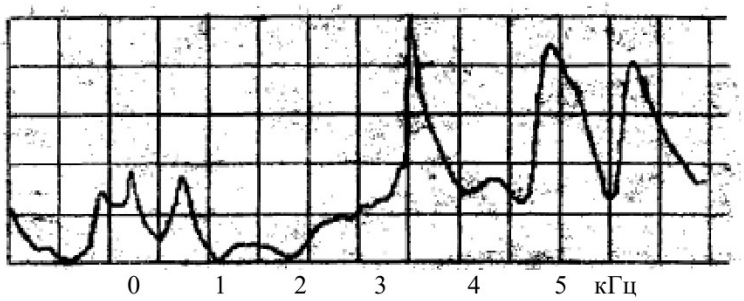

Рис. 2. Изображение резонансных пиков на экране индикатора анализатора спектра

Таблица 2. Определение динамического модуля упругости экструзионного пенополистирола ООО «Неомир»

№ образца	Толщина образца h, м	Ребро b, м	Частота f, Гц	Модуль $E_д$, Мпа	$R_{сж}$, Мпа
1	0,0102 0,0101 0,0108 0,0105	0,0939 0,0945 0,0936 0,0940	2487	117,3	0,2932
2	0,0109 0,0107 0,0108 0,0105	0,0936 0,0945 0,0936 0,0945	2488	118,6	0,2965
3	0,0105 0,0101 0,0108 0,0105	0,0937 0,0945 0,0938 0,0940	2486	117,2	0,2930

ρ – средняя плотность материала;

b – длина ребра образца, м;

h – толщина образца, м;

ν – коэффициент Пуассона (0,4-0,5 для полимерных материалов);

a – коэффициент формы колебаний («прямой крест – 14,10, «диагональный крест» - 20,56).

Прочность на сжатие при десятипроцентной деформации $R_{сж}$, Мпа, вычислена по формуле [1]:

$R_{сж} \approx 0{,}025\ E_д$

Результаты определения динамического модуля упругости прочности на сжатие при десятипроцентной деформации были занесены в таблицу. Пример полученных результатов для одного из вариантов представлен в табл. 2.

Определение коэффициента теплопроводности

Для определения коэффициента теплопроводности использован прибор ИСК-У в соответствии с ГОСТ 7076-87 [11]. Термическое сопротивление измерено методом стандартного теплового потока. Измеритель вычисляет текущее значение термического сопротивления по формуле [10]:

$$R^{ïð}{}_{o} = \frac{1}{t}\int_{o}^{t} \frac{\overline{T_{â} - Ò_{i}}}{q} \times \frac{Ò_{ñ} - Ò_{â}}{Ò_{ñ} - \overline{Ò_{â}}}\, dt + \Delta_R,$$

где t = 10, 100, 1000 секунд – устанавливаемое время усреднения;

$T_{â}, \overline{Ò_{â}}$ - локальная и средняя температура верхней (внутренней) поверхности; T_c – температура воздуха в помещении; $T_н$ – температура нижней (наружной) поверхности; q – тепловой поток в зоне измерения $T_в$; Δ_R – ошибка градуирования.

Схема установки для определения теплопроводности и ее внешний вид приведены на рис. 3.

При измерениях образец материала устанавливался между охладителем и подогревателем, которые стягивались вручную при помощи шпи-

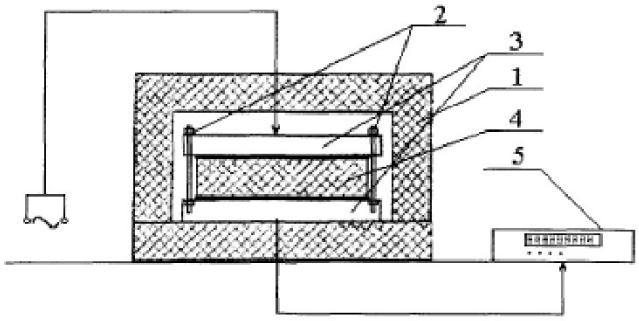

Рис. 3. Прибор ИСК-У. 1 – теплоизоляционный кожух; 2 – прижимные гайки; 3 – теплообменники; 4 – образец; 5 – электронный блок

Таблица 3. Экспериментальные значения эксплуатационных параметров экструзионного пенополистирола (ООО «Неомир») при циклических температурно-влажностных воздействиях

Наименование параметра	Номер образца	Нач. значение	Количество циклов							
			115	240	333	473	602	700	916	1001
			Текущие значения							
Средняя плотность	1	40,36	40,343	40,524	40,451	40,694	40,73	40,72	40,72	40,72
	2	39,95	40,377	40,554	40,961	40,691	40,72	40,72	40,72	40,72
	3	40,68	40,602	40,602	40,690	40,591	40,69	40,69	40,69	40,69
Объем, м^3	1	0,00303	0,00299	0,00303	0,00297	0,00297	0,00297	0,00296	0,00296	0,00296
	2	0,00301	0,00299	0,00299	0,00297	0,00297	0,00297	0,00296	0,00296	0,00296
	3	0,00303	0,00301	0,00297	0,00297	0,00296	0,00296	0,00296	0,00296	0,00296
Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	1	0,0293	0,02568	0,02765	0,02925	0,03025	0,03169	0,03358	0,03482	0,03553
	2	0,0295	0,02544	0,02725	0,03012	0,03136	0,03268	0,03387	0,03421	0,03590
	3	0,0300	0,02615	0,02832	0,02912	0,03136	0,03225	0,03325	0,03478	0,03598
Прочность при 10% деформации, МПа			Количество циклов							
			127	288	416	505	608	790	916	1000
			Текущие значения							
	1	0,5442	0,5344	0,5214	0,5154	0,5098	0,4987	0,4986	0,4871	0,4789
	2	0,5435	0,5402	0,5302	0,5215	0,5176	0,5098	0,4931	0,4876	0,4710
	3	0,5434	0,5313	0,5223	0,5156	0,4976	0,4876	0,4894	0,4851	0,4761

лек и гаек. Значение теплового сопротивления снималось с цифрового табло электронного блока после установления постоянного значения термического сопротивления. После этого определялся коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = \frac{d}{R},$$

где d – толщина образца, м; R – термическое сопротивление, м°С/Вт.

Определенный таким образом коэффициент нуждается в корректировке.

Для определения погрешности рабочий эталонный образец помещался в ИСК-У, измерялось термическое сопротивление. Затем по приведенной выше формуле определялся коэффициент теплопроводности образца-эталона. Измерялась температура воздуха в помещении, где производились замеры теплопроводности. Затем определялось действительное значение коэффициента теплопроводности эталона при данной температуре по результатам государственной поверки рабочего эталона теплопроводности.

При измерении теплопроводности данным методом, результаты заносились в соответствующие ячейки табл. 3.

После определения начальных значений эксплуатационных параметров, образцы были подвергнуты циклическим воздействиям температуры в диапазоне от +20 до -20°С и относительной влажности воздуха 98%. Образцы были выдержаны при крайних значениях температур указанного диапазона до наступления практически равновесного термодинамического состояния, что было установлено с помощью термопары, размещенной в теле контрольного образца. Таким образом, продолжительность одного цикла составила время, прошедшее до установления в массе образцов постоянных температур. К примеру, для испытаний образцов материалов, отобранных в ходе данных исследований, цикл составил: охлаждение образцов от +20 до -20°С – 30 минут, выдержка образцов при от -20°С – 60 минут, нагрев образца от -20 до +20°С – 17 минут, выдержка при +20°С – 13 минут. Полный цикл составил 2 часа. Через определенное количество циклов (в нашем случае через каждые 100 циклов) образцы были извлечены из климатической камеры, и были определены текущие значения эксплуатационных параметров (средней плотности, усадки, коэффициента теплопроводности, динамического модуля упругости) теми же способами, что и при определении начальных значений, приведенных в табл. 1-2.

Полученные значения параметров были занесены в табл. 3 с указанием в соответствующих графах точного количества циклов испытаний, при котором проводились контрольные замеры. Количество циклов выдержки образцов в климатической камере определялось как количество циклов (кратное 100) до увеличения коэффициента теплопроводности на 30%.

Обработка массива экспериментальных данных проводилась методом регрессионного анализа и математической статистики по следующим этапам:

1. проведение эксперимента;
2. проверка воспроизводимости;
3. получение уравнения регрессии с проверкой статистической зависимости выборочных коэффициентов регрессии.
4. проверка полученной модели на адекватность.

Для области линейного изменения каждого эксплуатационного параметра получена зависимость в виде:

$y = \beta_0 + \beta_i x \pm \varepsilon$, где

y – численное значение параметра.;

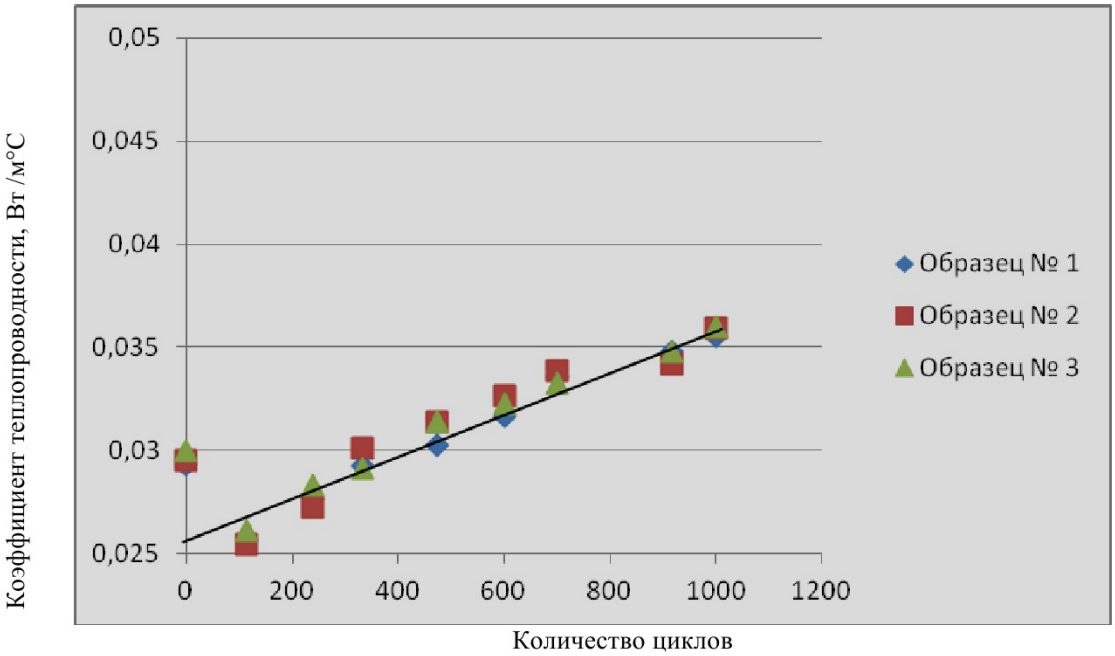

Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности от количества циклов испытаний при циклических температурно-влажностных воздействиях экструзионного пенополистирола «Неомир»

ε – величина предельной относительной ошибки (для доверительной вероятности 0,95);

β_0, β_1 – регрессионные коэффициенты;

x – количество циклов испытаний.

Полученные уравнения регрессии для исследованных материалов -

1. Для пенополистирола «Изодом» (ООО «Изодом» (Уссурийск)), средняя плотность 29 кг/м^3

$y = 0{,}0325 + 2{,}7383 \cdot 10^{-6}\, x \pm 0{,}000356$

коэффициент корреляции $r = 0{,}95$

2. Для пенополистирола «Изодом» (ООО «СтройПрофиГрупп» (Москва)), средняя плотность 26 кг/м^3

$y = 0{,}0295 + 4{,}8560 \cdot 10^{-6}\, x \pm 0{,}000431$; $r = 0{,}96$

3. Для пенополистирола «Изодом» (ООО «Изодом-2000» (Москва)), средняя плотность 28,5 кг/м^3

$y = 0{,}0305 + 6{,}8560 \cdot 10^{-6}\, x \pm 0{,}000491$; $r = 0{,}92$

4. Для пенополистирола «Легодом» (Тихоокеанская строительная компания (Владивосток)), средняя плотность 26,5 кг/м^3

$y = 0{,}0297 + 3{,}8023 \cdot 10^{-6}\, x \pm 0{,}000311$; $r = 0{,}95$

5. Для экструзионного пенополистирола (ООО «Неомир» (Курск)) средняя плотность 40,3 кг/м^3.

$y = 0{,}0267 + 4{,}8673 \cdot 10^{-6}\, x \pm 0{,}000311$; $r = 0{,}92$

Зависимость коэффициента теплопроводности от количества циклов испытаний при циклических температурно-влажностных воздействиях экструзионного пенополистирола представлена на рис. 4.

Согласно [10, 12], долговечность ограждающей конструкции с применением эффективных полимерных теплоизоляционных материалов по теплопроводности определяется по формуле:

$$\tau = 0{,}3\frac{\lambda_0}{\Delta\lambda_1},$$

где $\Delta\lambda_1$ – приращение коэффициента теплопроводности первого слоя материала за год.

Используя результаты изотермических испытаний, по данной формуле получены значения времени естественного старения при нормальных условиях эксплуатации для исследованных видов пенополистирола. Полученные значения от 18 до 24 лет представляют собой продолжительность эксплуатации образцов материалов до снижения их термического сопротивления на 30 % при постоянной температуре (табл. 4).

Таблица 4. Время естественного старения конструкционного пенополистирола

Вид пенополистирола	Время естественного старения, лет
ПСБ-С «Изодом» (ООО «Изодом» (Уссурийск))	21
ПСБ-С «Изодом» (ООО «Строй ПрофиГрупп» (Москва))	24
ПСБ-С «Изодом» (ООО «Изодом-2000» (Москва))	18
ПСБ-С «Легодом» (Тихоокеанская Строит. компания (Владивосток))	20
ЭППС (ООО «Неомир» (Курск))	41

Таким образом, установлено, что расчетное время эксплуатации с учетом изменения коэффи-

циента теплопроводности конструкционного пенополистирола ПСБ-С различных производителей находится в пределах от 18 до 24 лет. В то же время расчетное время эксплуатации экструзионного пенополистирола выше в 2 раза – и составляет 41 год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедия полимеров. Т.1. А-К. М.: Советская энциклопедия, 1972.

2. *Баталин Б.С., Евсеев Л.Д.* Эксплуатационные свойства пенополистирола вызывают опасения // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений» [Электронный ресурс]. Адрес доступа: http://www.pamag.ru/pressa/exp-penopol

3. *Ананьев А.А.* Долговечность и теплоизоляционные качества ограждающих конструкций, утепленных пенополистиролом // Сборник докладов VII Научно-практической конференции НИИСФ. – М.: НИИСФ, 2002

4. *Брилинг Р.Е.* Исследование морозостойкости строительных материалов в наружных ограждениях // Сб. ЦНИПС. – М.-Л., 1951. Вып. 4. Исследования по строительной физике, С. 60-84

5. *Федин А.М., Чернышев Е.М., Леденев В.Г.* Исследование влияния условий замораживания на стойкость газосиликата // Труды ПЛСМК. – Воронеж, 1956. Вып. 2. Исследования по цементным и силикатным бетонам, С. 192-213

6. *Федин А.М., Чернышев Е.М.* Оценка стойкости материалов ограждающих конструкций к действию влаги и мороза // Методы исследования стойкости строительных материалов и конструкций. – Минск: Высшая школа, 1969, С. 92-98

7. *Баранов А.Т., Ухова Т.А., Иванова Л.А.* Исследования стойкости ячеистых бетонов при одностороннем воздействии попеременных температур // Сб. докладов НИИЖБ. Апрелевка, 1970. Технология строительных материалов и изделий, С. 13-19

8. *Иванова Л.А.* Сравнительная стойкость газобетона в условиях высокой влажности при одностороннем воздействии попеременных температур: автореф. дис. … канд. техн. наук. М. 1970

9. *Садунас А.С., Шяучюлис Р.А., Чернова О.А.* Об оценке морозостойкости глиняного кирпича // Строительные материалы, 1974, № 4, С. 31-32

10. *Ли А.В.* Долговечность энергоэффективных полимерсодержащих ограждающих конструкций: дис. … канд. техн. наук. Хабаровск, 2003.- 143 с.

11. ГОСТ 7076-87. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности. М., 1987

12. *Коканин С.В.* Исследование долговечности теплоизоляционных материалов на основе пенополистирола: дис. … канд. техн. наук. Иваново, 2011.- 170 с.

Автор статьи

Федюк
Роман Сергеевич,
аспирант Дальневосточного федерального университета
Тел. 89502817945
Email: roman44@yandex.ru