

## Влияние тропического климата на вязкоупругие свойства конструкционных полимеров

Э. С. УМАНСКИЙ, Н. С. ШИДЛОВСКИЙ, Л. Л. СТЕЖКО,  
Р. М. КАСЬЯН, В. С. СЫЧЕВ, Б. Н. РЫБАКОВ,  
Б. П. ВОРОБЬЕВ

Многие конструктивные детали из полимерных материалов эксплуатируются при воздействии различных климатических факторов (влажности, агрессивности среды, солнечной радиации и т. д.). Как показывает практика, активация процессов старения этих материалов в определенной степени влияет на механические свойства [1—3], в том числе упругие и вязкие. Поэтому для оценки несущей способности конструкций необходимо учитывать возможное изменение вязкоупругих свойств полимерных материалов, обусловленное воздействием климата зоны эксплуатации.

Представляло интерес изучить влияние тропического климата на динамический модуль упругости и динамическую вязкость образцов полимерных материалов [1, 4, 5, ГОСТ 9.039—74].

В качестве объектов исследования использовали полипропилен (ПП) марки малпрон-К, поликарбонат (ПК) марки дифлон и силкон, полиэтилен низкого давления (ПЭНД) марки 20908-040 (ГОСТ 16-338—77), полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 10803-020 (ГОСТ 16-337—77), полиамиды марок 12Б (ПА-12Б) и 68 (ПА-68), блочный полистирол марки Д (ПС), а также сополимер стирола с  $\alpha$ -метилстиролом (САМ).

Образцы в виде стержней прямоугольного поперечного сечения экспонировали при воздействии прямой солнечной радиации. Часть образцов хранили в закрытом помещении.

Вязкоупругие свойства исходных и подвергнутых климатическим воздействиям полимерных материалов определяли методом возбуждения поперечных колебаний консольно зажатого образца [6—8] при комнатной температуре. Для возбуждения колебаний использовали электродинамическую систему вибрационного стенда ВЭДС-100Б, прогиб образцов измеряли катетометром с ценой деления 5 мкм. При плавном изменении частоты генератора вибрационного стенда максимальное значение амплитуды колебаний образца соответствовало резонансному значению частоты  $f_{рез}$  (см. таблицу). После установки частоты  $f_{0,7}$  амплитуда уменьшалась до  $2^{1/2}/2$  резонансного значения. Динамический модуль упругости ( $E_{дин}$ ) и коэффициент динамической вязкости ( $\eta$ ) рассчитывали по формулам (1) и (2) [6], где  $l$ ,  $h$ ,  $\rho$  — длина, толщина и плотность материала исследуемых образцов соответственно. Величину  $E_{дин}$  и  $\eta$  определяли как среднееарифметическое значение по результатам испытаний 8—10 образцов.

$$E_{дин} = 38,3\rho l^4 [f_{рез} + 0,125(f_{рез} - f_{0,7})^2]/h^2 \quad (1)$$

$$\eta = 12,2\rho l^4 (f_{рез} - f_{0,7})/h^2 \quad (2)$$

Изучали свойства исходных образцов и после климатической обработки (таблица). В процессе экспозиции вязкоупругие свойства полимерных материалов изменялись (рис. 1, 2).

Установлено, что в наибольшей степени возрастает  $E_{дин}$  ПП и наиболее интенсивно (на 18 %) в первый месяц хранения. Затем  $E_{дин}$  стабилизируется и через 12 мес экспозиции достигает  $(1,9—2,2) \cdot 10^3$  МПа (см. рис. 1, а, кривая 1). При этом наблюдается некоторое повышение (на 9—10 %)  $E_{дин}$  ПП, измеренного при статическом испытании. В течение 12 мес экспозиции под воздействием солнечной радиации  $\eta$  ПП незначительно увеличивается (см. рис. 2, а, кривая 1), затем резко уменьшается и через 17 мес составляет ~70 % от исходного значения. В условиях закрытого помещения ПП несколько повышается, остальные характеристики, в том числе и прочностные, практически не из-

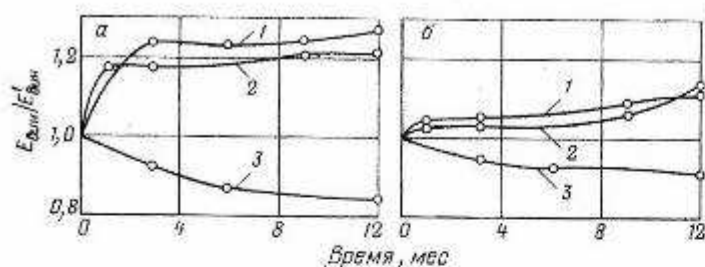


Рис. 1. Зависимость динамического модуля упругости полимеров в условиях морского тропического климата от времени выдержки на открытой площадке (а) и в закрытом (б) помещении ( $E_{дин}$  — динамический модуль упругости исходного материала). 1 — ПЭНД; 2 — ПП; 3 — САМ.

меняются. Это свидетельствует о существенном влиянии солнечной радиации на механические свойства ПП.

Влияние тропического климата при экспозиции образцов ПК до 12 мес слабо сказывается на динамическом и статическом модулях упругости (их изменение в течение указанного времени составило не более  $\pm 7\%$ ). В большей степени изменяется  $\eta$  обоих типов ПК. Так, за 12 мес хранения на открытом воздухе  $\eta$  ПК дифлон и силкон снизилась на 35 и 40 % соответственно от исходного значения (см. рис. 2, а, кривые 1, 2). За это же время экспозиции в закрытом помещении  $\eta$  ПК дифлон осталась на прежнем уровне, а  $\eta$  ПК силкон снизилась на 25 % (см. рис. 2, б, кривая 3).

При экспозиции в течение 12 мес в условиях тропического климата вязкоупругие характеристики ПЭВД изменились незначительно. В этих же условиях вязкоупругие свойства ПЭНД значительно изменились. В течение первых 3 мес хранения на открытой площадке  $E_{дин}$  ПЭНД возросло на 23—28 % от исходного значения (см. рис. 1, а, кривая 2). В дальнейшем  $E_{дин}$  стабилизируется и не превышает  $(1,5-1,6) \cdot 10^3$  МПа. Аналогично изменяется статический модуль упругости, величина которого почти в 3 раза меньше  $E_{дин}$ . Существенно уменьшается  $\eta$  ПЭНД (см. рис. 2, а, кривая 4).

В условиях солнечной радиации тропиков в течение 12 мес хранения ПЭНД полностью теряет эластич-

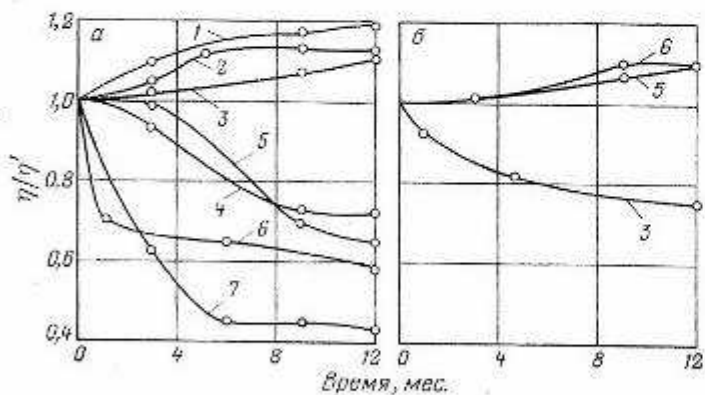


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости полимеров в условиях морского тропического климата от времени выдержки на открытой площадке (а) и в закрытом (б) помещении ( $\eta'$  — динамическая вязкость исходного материала). 1 — ПА-68; 2 — ПП; 3 — ПА-12Б; 4 — ПС; 5 — ПК дифлон; 6 — ПК силкон; 7 — ПЭНД.

### Динамические характеристики полимерных материалов

Материал	Модуль упругости $\cdot 10^{-3}$ , МПа			Коэффициент динамической вязкости $\cdot 10^{-5}$ , Н·с/м <sup>2</sup>		
	I	II	III	I	II	III
ПП	1,65	1,85	2,02	8,8	8,8	10,0
ПК дифлон	2,01	2,04	2,10	2,0	2,0	1,3
ПК силкон	2,20	2,06	2,11	2,0	1,5	1,2
ПЭНД	1,25	1,39	1,55	4,4	2,6	1,9
ПЭВД	0,32	0,34	0,33	4,9	5,0	4,6
ПА-12Б	0,75	0,75	0,71	4,1	4,5	4,6
ПА-68	1,72	1,80	1,64	4,7	5,2	5,6
ПС	3,40	3,39	3,38	1,1	1,0	0,8
САМ	3,43	3,15	2,95	0,7	0,7	0,6

Примечание. I — исходные образцы; II, III — после 12 мес экспозиции в закрытом помещении и при воздействии прямой солнечной радиации соответственно.

ность. Максимальное относительное удлинение при разрыве, измеренное по диаграмме деформирования, уменьшилось с 220 до 3,3 %. В случае отсутствия прямых солнечных лучей скорость изменения динамических характеристик ПЭНД значительно снизилась. За 12 мес хранения в трюме  $E_{дин}$  увеличилась приблизительно на 10 %, а  $\eta$  уменьшилась в 1,7 раза по сравнению с исходным значением.

Следует отметить, что  $E_{дин}$  обоих типов ПА достаточно стабилен. Его изменение за 12 мес экспозиции на открытой площадке и в закрытом помещении не превысило  $\pm 5\%$ . Более заметно изменилась  $\eta$  в условиях прямого воздействия солнечного света. За 12 мес  $\eta$  ПА-12Б и ПА-68 по сравнению с исходным значением возросла на 12 и 19 % соответственно (см. рис. 2, а, кривые 5, 6); без воздействия солнечной радиации — примерно на 10 % (см. рис. 2, б, кривые 5, 6).

Динамический и статический модуль ПС за 12 мес экспозиции на открытой площадке и в закрытом помещении практически не изменились. За этот же период при воздействии прямой солнечной радиации  $\eta$  уменьшилась приблизительно на 30 % по сравнению с исходной (см. рис. 2, а, кривая 7).

Статический и динамический модули упругости образцов САМ при экспозиции в условиях морского тропического климата монотонно снижались и после 12 мес хранения составили 85—90 % от исходного значения (см. рис. 1, а, кривая 3). Причем поверхность образцов растрескивалась, в результате чего уменьшилась действительная площадь поперечного сечения и эффективный модуль упругости при изгибе и растяжении. Модули упругости САМ, полученные при динамических и статических испытаниях, практически полностью совпадают. Динамическая вязкость сополимера САМ при выдержке на открытом воздухе за 12 мес снизилась на 10—12 %.

При отсутствии прямого солнечного света значительно замедляется процесс изменения динамических и статических характеристик исследованных материалов.

Таким образом, наиболее чувствительными к старению в условиях морского тропического климата являются ПК силкон и ПЭНД. В меньшей степени подвержены старению ПП, САМ, ПК дифлон и ПА-68. Практически не изменились вязкоупругие свойства ПЭВД и ПА-12Б.

*Литература*

1. Филатов И. С. Климатическая устойчивость полимерных материалов. М., «Наука», 1983.
2. Павлов Н. Н. Старение пластмасс в естественных условиях. М., «Химия», 1982.
3. Гойхман Б. Д., Смехунова Т. П. Успехи химии, 1980, т. 19, вып. 8, с. 1554.
4. Татевосян Б. Л. и др. Пласт. массы, 1973, № 9, с. 70.
5. Уманский Э. С. и др. Проблемы прочности, 1984, № 5, с. 82.
6. Norio M., Onogi S. Journal of the Applied Physics, 1951, No 7, p. 977.
7. Зеленец Ю. В. и др. Зав. лаб., 1963, № 7, с. 868.
8. Уманский Э. С. и др. Вопросы радиоэлектроники, 1972, № 9, с. 60.
9. Уманский Э. С. и др. Проблемы прочности, 1972, № 5, с. 104.