

УДК 539.4

**В. Е. Хроматов**, канд. техн. наук, проф., **В. Э. Цой**, ст. преподаватель,  
**В. Н. Щугорев**, канд. техн. наук, доцент  
Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт,  
Россия  
Тел.: +7 (916) 1877891, +7 (926) 7840423;  
E-mail: KhromatovVY@mpei.ru, TsoyVE@mpei.ru.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА

*Проведение экспериментальных и теоретических исследований физических свойств твердых тел, при внешнем многофакторном воздействии (изменении масштаба образца, величины приложенной нагрузки, температуры, времени воздействия и др.), позволяет систематизировать полученные результаты и сформировать методологические основы прогнозирования и получения материалов с определенными свойствами.*

**Ключевые слова:** волокна, пленки, прочность, долговечность, сопротивление, уровни свойств

V. E. Khromatov, V. E. Tsoy, V. N. Schugorev

## FORECASTING THE PROPERTIES OF MATERIALS ACCOUNTABILITY OF THE IMPACT OF THE SCALE FACTOR

*Experimental and theoretical studies of the physical properties of solids, with external multifactorial action (changing the scale of the sample, the magnitude of the applied load, temperature, time of exposure, etc.), allow us to systematize the results obtained and form the methodological basis for predicting and obtaining materials with certain properties.*

**Keywords:** fibers, films, strength, durability, resistance, property levels.

### Введение.

Прогнозирование физических свойств материалов, а так же получение материалов с заданными свойствами обусловлено постоянно растущей потребностью в их использовании, например, для эксплуатации при больших механических нагрузках, высоких и низких температурах, в агрессивных средах, в полях различной физической природы. При этом материалы и устройства из них должны обладать определенными физическими свойствами и характеристиками, надежностью и безопасностью, низкой энерго и материалоемкостью. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования физических свойств твердых тел, при внешнем многофакторном воздействии (изменении масштаба образца, величины приложенной нагрузки, температуры, времени воздействия и др.), позволяют систематизировать полученные результаты и сформировать методологические основы прогнозирования и получения материалов с определенными свойствами.

**Основное содержание и результаты работы.** Рассмотрим влияние масштаба образца на поведение полученных экспериментальных данных и динамику дискретного спектра уровней физических свойств твердых тел. При исследовании влияния масштаба образца были получены необычные результаты - массивные и тонкие пленки, длинные и короткие волокна, существенно различаются между собой.

В первом случае (массивные и длинные образцы) имеют унимодальные кривые распределения и незначительный разброс данных эксперимента, а во втором - тонкие и ко-

роткие образцы – имеют полимодальные распределения и значительный разброс данных эксперимента.

На рис. 1 - 2 приведены кривые распределения долговечности пленок полиметилметакрилата (ПММА) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ) при одном и том же растягивающем напряжении и разных толщинах. Видно, что с увеличением толщины происходит переход от полимодальности к унимодальности. При этом положение мод на кривых распределениях не зависит от толщины образца, т.е. уровни долговечности и прочности стабильны и не зависят от масштаба. Зависит от масштаба лишь среднее значение долговечности или прочности.

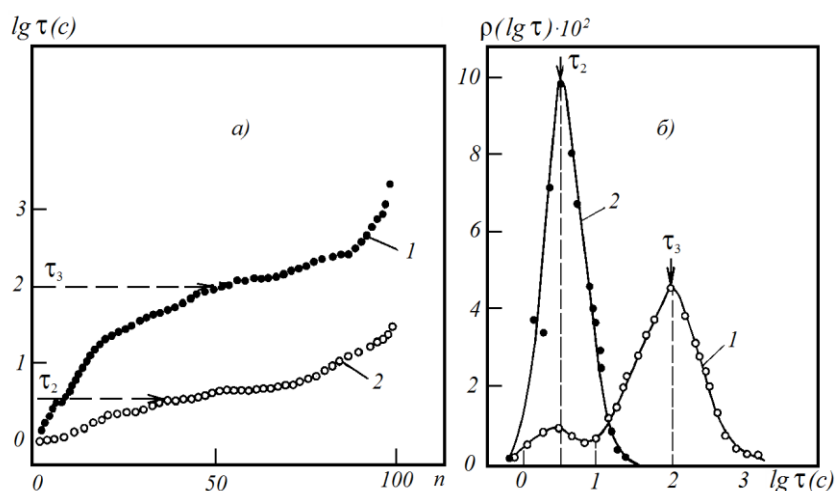


Рисунок 1. Вариационные диаграммы (а) и кривые распределения (б) логарифма долговечности пленок ПММА при растягивающем напряжении 40 МПа. Толщина пленок: 1 – 60 мкм; 2 – 200 мкм

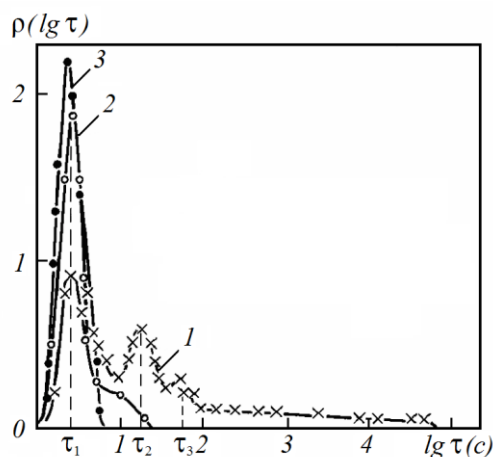


Рисунок 2. Кривые распределения долговечности ПЭТФ при растягивающем напряжении 415 МПа для пленок различной толщины. T = 293 К. 1 – 18 мкм; 2 – 50 мкм; 3 – 70 мкм

Стабильность уровней долговечности и прочности связана со следующим моментом. Массивные образцы пленок и волокон характеризуются низкопрочным состоянием (унимодальные распределения плотности вероятности, Гауссовы распределения, нормальные распределения и т.д.); тонкие пленки и короткие волокна – высокопрочным состоянием (полимодальные кривые распределения). В целом, чем меньше обра-

зец, тем меньше вероятность присутствия в нем грубого дефекта. Отсюда следует что, начиная, с некоторых размеров образцов грубые дефекты вообще не будут наблюдаться ни в одном образце, размер которого меньше в данной серии. Это, в свою очередь, ведет к существенному различию распределения образцов больших и малых размеров (в смысле наличия или отсутствия грубых дефектов) по значениям их долговечности и прочности в результате проведенных испытаний.

В общем случае, изменение масштаба приводит к перераспределению образцов с одного уровня прочности и долговечности на другой. В результате этого происходит изменение среднего значения прочности или долговечности или других свойств и физических характеристик твердых тел. При увеличении толщины, образцы переходят с высоких уровней на низкие (доля образцов на низких уровнях возрастает), в результате среднее значение прочности или долговечности снижается. Этот эффект перераспределения уровней – один из важных проявлений статистического масштабного фактора.

В целом, эксперименты показали, что пленки толщиной меньше 50–60 мкм – тонкие, свыше 50–60 мкм – толстые; волокна – длиной 70–80 мм – длинные; длиной < 70–80 мм – короткие [1, 6].

Таким образом, по масштабному фактору пленки и волокна находятся в двух прочностных физических состояниях – в низкопрочном (массивные образцы) и высокопрочном (тонкие пленки и волокна).

Наличие уровней физических свойств и характеристик установлено для всех исследованных твердых тел (рис. 3-6).

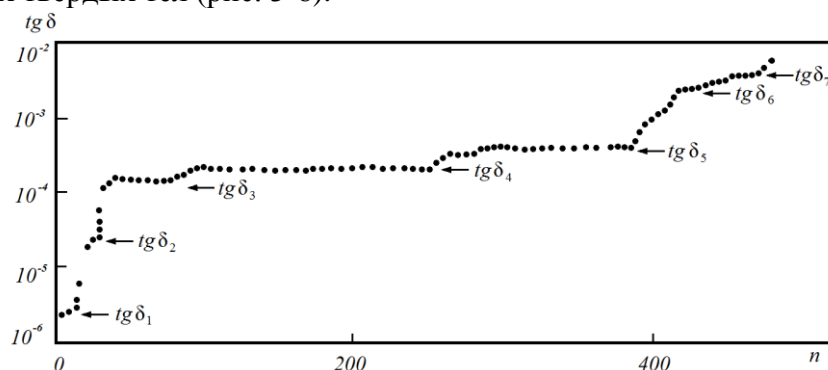


Рисунок 3. Вариационная диаграмма тангенса угла диэлектрических потерь пленок ПМ-4; T = 293 К, d<sub>0</sub> = 35 мкм

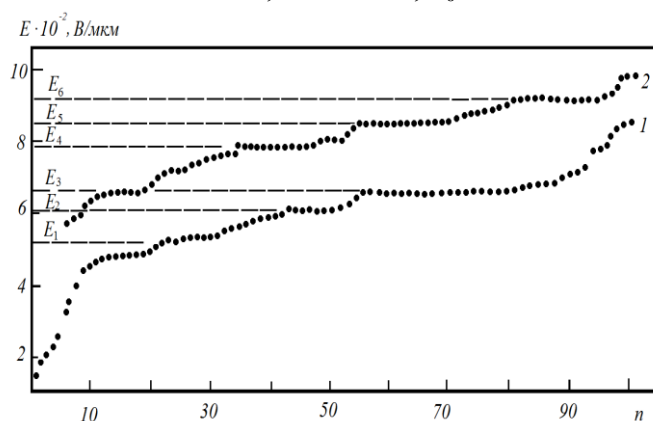


Рисунок 4. Вариационные диаграммы электрической прочности пленок ПМ-1 (T = 293 К, d<sub>0</sub> = 12 мкм): 1 – исходные образцы; 2 – γ-облученные образцы (D<sub>γ</sub> = 1 МГр)

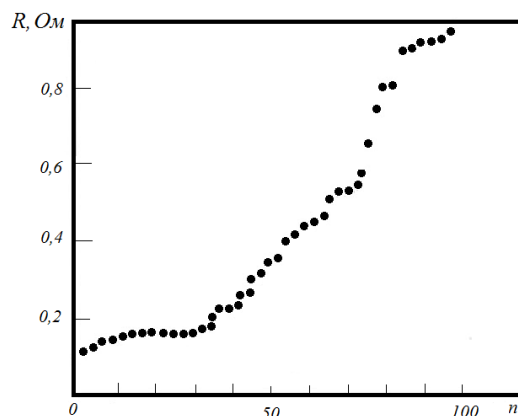


Рисунок 5. Вариационная диаграмма электрического сопротивления медной проволоки;  $d_0 = 50$  мкм,  $L = 10$  мм

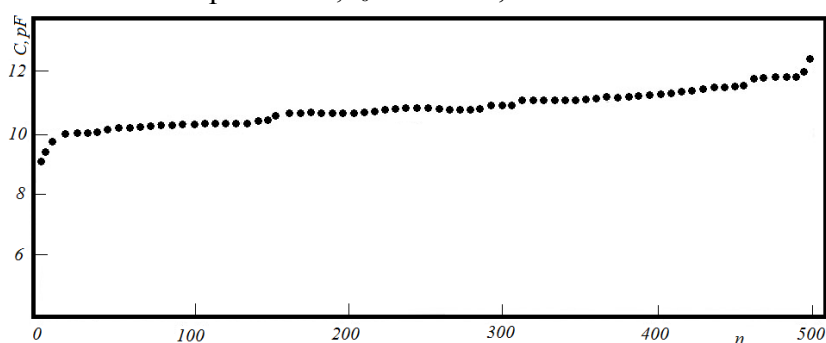


Рисунок 6. Вариационная диаграмма электрической емкости полиимидных пленок ПМ-1;  $T = 293$  К,  $d_0 = 35$  мкм

**Заключение.** Результаты исследования статистических свойств прочности, долговечности и других физических характеристик свидетельствуют о том, что эти свойства существенно зависят от масштабного фактора, при этом наиболее важным для прогнозирования физических свойств материалов и конструкций из них является вид соответствующей функции распределения, т.е. плотности распределения вероятностей: уни- или полимодальности.

Если в случае унимодальности и малого разброса значений, например, прочностных свойств и характеристик относительно их среднего значения (математического ожидания) это среднее значение может служить в качестве основы для прогнозирования характеристик, то в случае полимодальности плотности распределения вероятностей значений прочностных характеристик или большего их разброса относительно среднего значения оно, очевидно, не может быть использовано даже в качестве ориентира при прогнозировании.

Наличие опасных краевых дефектов существенно изменяет ситуацию при различных прогнозах и расчетах свойств, например, прочности конструкции. Поэтому в экстремальных условиях прогноз должен либо вестись с учетом этих эффектов, либо они должны быть исключены. Следовательно, если устранить в конструкции краевой эффект, можно увеличить прочность, долговечность или любую другую структурно-чувствительную физическую характеристику изделия (образца). Практическая задача прогнозирования свойств и создания высокопрочных и сверхпрочных материалов и конструкций на их основе, таким образом, сводится к устранению в них низких уровней. Например, для пленок ПЭТФ исключение краевого эффекта при 293 К приводит к

увеличению прочности с 430 до 510 МПа (для образцов с длиной рабочей части 22 мм) и даже до 790 МПа (длина рабочей части 10 мм). В связи с этим можно прогнозировать достижение для образцов ПЭТФ предельной прочности 10,14 ГПа. Чтобы реализовать предельную прочность, необходимо не только исключить краевые и поверхностные дефекты, но и обеспечить уменьшение рабочей части образца до нуля. В этих опытах были достигнуты необычно высокие значения прочности – до 8 ГПа [3]. Еще более феноменальные результаты получаются при исключении низших уровней изменением числа и размеров отдельных тонких составляющих элементов структуры (образца), классическим примером которого является использование стопки тонких пленок (вместо одной толстой), или пучка тонких волокон (вместо одного толстого), известного с древних времен как «эффект троса» [4-5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цой, В. Э. Прогнозирование свойств и создание материалов со сверхвысокими физическими характеристиками / В. Э. Цой, Г. Х. Мурзаханов, Б. Цой // Технология машиностроения. – 2009. – №2. – С. 5-7.
2. Цой, Б. Явление дискретности строения и физических свойств твердых тел / В. Э. Цой, И. М. Идрисов // Вестник РАЕН – 2006. – № 1. – С. 22-31.
3. Карташов, Э. М. Разрушение пленок и волокон: Структурно-статистические аспекты / Карташов, Э. М., Цой Б., Шевелев В.В. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.:ЛЕНАНД, 2015. – 784 с.
4. Цой, Б. Карташов, Э. М., Шевелев В. В., Цой В. Э. Длинномерное витое изделие. Патент RU 2352699 С2. Приоритет от 22.08.2005 г.
5. Цой В.Э Пучковые диэлектрические материалы / В. Э. Цой, Б. Цой, Д. Шерматов, Х. М. Абдуллаев // Доклады АН Республики Таджикистан, 2016. – Т. 59. – № 3-4. – С. 133-137.
6. Мурзаханов, Г. Х. Экспериментальное исследование масштабного фактора в композитах / Мурзаханов, Г. Х., Цой В. Э., Щугорев В. Н. // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2017. – № 2. – С. 55-58.

Поступила в редколлегию 14.05.2018 г.