

УДК 620.171.2:519.2

к.т.н. Долголаптев В. М.,  
Козачишена Е. С.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛА

Приведены результаты обработки механических испытаний на изгиб образцов витринного неполированного стекла при помощи методов математической статистики.

**Ключевые слова:** нормальное распределение, среднее квадратичное отклонение, дисперсный анализ, критерий Кочрена, витринное неполированное стекло.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одной из важнейших задач при проведении экспериментальных исследований является правильная оценка результатов испытаний. Например, проведя прочностные испытания серий образцов одного и того же материала в различных условиях (отличающиеся внешней средой, влажностью, температурой и т. д.) и их первичную статистическую обработку, исследователь неизбежно получит для каждой серии свое среднее значение прочности, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации. Чем вызваны эти отличия: действительно различными условиями испытания или же это просто случайность? Ответ на данный вопрос дают методы математической статистики, описанные в классических работах, таких как [1, 2].

Одним из широко используемых в современном строительстве материалов является витринное стекло. Помимо эстетических качеств, оно должно обладать достаточной прочностью как в воздушно-сухих условиях, так и при воздействии агрессивных сред (например, влаги во время дождя либо загрязнений от промышленных отходов).

Известно, что прочность стекла сравнительно мало меняется от его химического состава. Она преимущественно зависит от способа и условий формования стекла, характера его термической и механической обработки, от массивности (объема, толщи-

ны), размеров, геометрической формы и состояния поверхности испытываемых образцов (стеклоизделий), от условий окружающей среды (температура, влажность и т. п.) [3, 4, 5].

Представленные в данной работе результаты позволяют определить прочность образцов неполированного витринного стекла Константиновского стекольного завода по ГОСТ 7380-77 "Стекло витринное неполированное. Технические условия" (далее – стекло), а также правильно оценить их реальные прочностные характеристики.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является оценка при помощи методов математической статистики влияния внешних условий на прочностные характеристики стекла.

### Изложение материала и его результаты.

Для исследования были изготовлены образцы из стекла в форме балочек размерами 10×10×120 мм. Испытания проводились по схеме трехточечного изгиба при расстоянии между опорами 100 мм в закрытом помещении при температуре 20°C. Все образцы были разделены на 3 группы по 10 образцов в каждой. Первая группа образцов испытывалась в воздушно-сухих условиях, образцы второй группы перед испытанием выдерживались 24 часа в пресной воде температурой 20°C, образцы третьей группы перед испытанием выдерживались 24 часа в машинном масле температурой 20°C.

Результаты испытаний, а также средние значения прочности сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты испытания образцов на изгиб в различных средах

Номер образца $i$	Воздух	Вода	Масло
	$x_{1i}$ , МПа	$x_{2i}$ , МПа	$x_{3i}$ , МПа
1	42,0	44,8	43,5
2	42,1	46,5	45,0
3	46,5	47,8	48,6
4	48,9	48,5	56,5
5	53,0	50,2	60,5
6	57,8	53,4	65,4
7	58,7	62,3	65,3
8	60,5	64,8	70,7
9	62,0	65,5	75,5
10	62,5	67,2	76,0
Среднее значение $\bar{x}_j$	53,4	55,1	60,7
Среднеквадратичное отклонение $s_j$	8,03	8,85	12,03

Необходимо проверить, действительно ли различие результатов испытаний вызвано внешними факторами (воздух, вода, масло). Равенство (однородность) средних значений, т. е. незначимость влияния условий испытания на среднее значение характеристик механических свойств, оценивают с помощью дисперсионного анализа результатов испытаний. В его основе лежит предположение о нормальности закона распределения механических свойств и однородности дисперсий. Предположение о возможности использования нормального закона распределения для стекла проверено в работе [6].

Однородность ряда дисперсий в случае равенства числа образцов во всех партиях оценивают с помощью критерия Кочрена (Кохрана), для чего вычисляют соотношение

$$G_{\max} = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^m s_i^2},$$

где  $s_{\max}^2$  – наибольшая выборочная дисперсия;  $m$  – число партий (в нашем случае – 3: воздух, вода, масло).

Далее значение  $G_{\max}$  сравнивают с критическим значением  $G_{\alpha}$ , которое определяют согласно таблице X приложение [2] либо таблице VIII [1]. Если выполняется неравенство  $G_{\max} \leq G_{\alpha}$ , то гипотеза об однородности не отвергается. Для нашего случая  $G_{0,05} = 0,6167$ .

Вычисляем

$$G_{\max} = \frac{12,03^2}{8,03^2 + 8,85^2 + 12,03^2} = 0,503,$$

т. е. меньше чем  $G_{0,05} = 0,6167$ . Таким образом, условия испытания не оказывают существенного влияния на дисперсию прочности при изгибе данного вида стекла.

Так как гипотеза об однородности ряда дисперсий подтвердилась, то переходим к однофакторному дисперсионному анализу, поскольку у нас изменяется только один фактор – условия испытаний (воздух, вода, масло). Схему однофакторного дисперсионного анализа согласно [2] приведем в таблице 2.

Исходя из гипотезы о незначимости влияния условий испытания на среднее значение прочности, определяем генеральное среднее  $\bar{x}$  по формуле согласно [2]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i n_i}{\sum_{i=1}^m n_i},$$

где  $m$  – общее число партий;  $\bar{x}_i$  – оценка среднего значения характеристик механических свойств для  $i$ -той партии;  $n_i$  – число образцов в  $i$ -той партии.

Вычисляем  $\bar{x}_i$  для нашего случая:

$$\bar{x}_i = \frac{(53,4 + 55,1 + 60,7) \times 10}{(10 + 10 + 10)} = 56,4 \text{ МПа.}$$

Тогда сумма квадратов между партиями  $Q_1$  составит:

$$Q_1 = 10 \times (53,4 - 56,4)^2 + 10 \times (55,1 - 56,4)^2 + 10 \times (60,7 - 56,4)^2 = 291,8.$$

Расчет суммы квадратов внутри партии сведем в таблицу 3. Окончательные результаты расчета сведены в таблицу 4.

Проверку гипотезы о равенстве (однородности) средних значений прочности проверяют с помощью критерия  $F$ . Если дисперсионное отношение  $F = s_1^2 / s_2^2$  окажется меньше табличного значения  $F_{1-\alpha}$

(табл. VIII, [2]), то исследуемые факторы не оказывают значимого влияния на механические свойства материала. В этом случае все рассматриваемые результаты испытаний принадлежат одной генеральной совокупности, распределенной нормально.

В нашем случае дисперсионное отношение  $F = 145,9 / 95,83 = 1,52$ , что существенно меньше табличных значений  $F_{0,95} = 3,36$  и  $F_{0,99} = 5,49$ , определенных при  $k_1 = 2$  и  $k_2 = 27$  согласно таблице VIII [2].

Таблица 2

Схема однофакторного дисперсионного анализа согласно [2]

Компонента дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат (дисперсия)
Между партиями	$Q_1 = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$k_1 = m - 1$	$s_1^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$
Внутри партии (остаточная)	$Q_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$k_2 = \sum_{i=1}^m n_i - m$	$s_2^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^m n_i - m} \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$
Полная (общая)	$Q = Q_1 + Q_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$	$k = \sum_{i=1}^m n_i - 1$	$s^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^m n_i - 1} \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$

Таблица 3

Расчет суммы квадратов внутри испытанных партий образцов

Номер образца $i$	Воздух			Вода			Масло		
	$x_i$ , МПа	$(x_i - \bar{x}_1)$	$(x_i - \bar{x}_1)^2$	$x_{2i}$ , МПа	$(x_{2i} - \bar{x}_2)$	$(x_{2i} - \bar{x}_2)^2$	$x_{3i}$ , МПа	$(x_{3i} - \bar{x}_3)$	$(x_{3i} - \bar{x}_3)^2$
1	42,0	-11,4	129,96	44,8	-10,3	106,09	43,5	-17,2	295,84
2	42,1	-11,3	127,69	46,5	-8,6	73,96	45,0	-15,7	246,49
3	46,5	-6,9	47,61	47,8	-7,3	53,29	48,6	-12,1	146,41
4	48,9	-4,5	20,25	48,5	-6,6	43,56	56,5	-4,2	17,64
5	53,0	-0,4	0,16	50,2	-4,9	24,01	60,5	-0,2	0,04
6	57,8	4,4	19,36	53,4	-1,7	2,89	65,4	4,7	22,09
7	58,7	5,3	28,09	62,3	7,2	51,84	65,3	4,6	21,16
8	60,5	7,1	50,41	64,8	9,7	94,09	70,7	10,0	100,00
9	62,0	8,6	73,96	65,5	10,4	108,16	75,5	14,8	219,04
10	62,5	9,1	82,81	67,2	12,1	146,41	76,0	15,3	234,09
Ср. зн. $\bar{x}_j$	53,4			55,1			60,7		
Сумма квадратов			580,30			704,30			1302,80

Таблица 4

Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Компонент дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат (дисперсия)
Между партиями	291,8	3–1=2	291,8/2=145,90
Внутри партии	580,3+704,3+1302,8=2587,4	(10–1)+(10–1)+(10–1) = 27	2587,4/27=95,83
Полная	291,8+2587,4=2879,34	2+27=29	

Таким образом, условия испытаний не оказали существенного влияния на среднее значение прочности исследуемых образцов. Параметры данной генеральной совокупности могут быть определены также методами математической статистики (см. формулы 3.56 и 3.57 источника [2]).

#### Выводы и направление дальнейших исследований

Статистическая обработка результатов испытаний неполированного витринного стекла Константиновского стекольного завода по ГОСТ 7380-77 "Стекло витринное неполированное. Технические условия" показала, что его прочность не зависит от внешней среды. В то же время известно, что в ряде случаев водная среда снижает прочность стекла за счет раскли-

нивающего эффекта. Отсутствие снижения прочности в данном случае, возможно, объясняется тем, что в эксперименте использовалось новое стекло, и воздействие водной среды было однократным. Поскольку прочность стекла в решающей мере зависит от состояния поверхности, то с течением времени вполне вероятно нарастание отрицательного воздействия влаги на прочность. Также представляет интерес влияние замерзшей влаги на поверхности витринного стекла (например, мороз после дождя или оттепели) на его прочность. Изучение долговременного влияния внешних факторов на прочность витринного стекла может быть направлением дальнейших исследований.

#### Библиографический список

1. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. — М. : Наука, 1965. — 511 с.
2. Степнов, М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний [Текст] : справочник / М. Н. Степнов. — М. : Машиностроение, 1985. — 232 с.
3. Бартнев, Г. М. Сверхпрочные и высокопрочные неорганические стекла [Текст] / Г. М. Бартнев. — М. : Стройиздат, 1974. — 240 с.
4. Бартнев, Г. М. Строение и механические свойства неорганических стекол [Текст] / Г. М. Бартнев. — М. : Изд-во лит-ры по стр-ву, 1966. — 216 с.
5. Пух, В. П. Прочность и разрушение стекла [Текст] / В. П. Пух. — Л. : Наука, 1973. — 155 с.
6. Долголаптев, В. М. Определение крайних значений прочности при обработке результатов механических испытаний стекла [Текст] / В. М. Долголаптев, Е. С. Козачишена // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2015. — № 45. — С. 121–123.

© Долголаптев В. М.

© Козачишена Е. С.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
д.т.н., проф. ГОУ ВПО им. Даля Гутько Ю. И.*

*Статья поступила в редакцию 07.11.16.*

**к.т.н. Долголаптев В. М., Козачишена О. С.,** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ОЦІНКА ВПЛИВУ УМОВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
МІЦНОСТІ СКЛА**

*Приведено результати обробки механічних випробувань на згинання зразків вітринного непо-  
лірованого скла за допомогою методів математичної статистики.*

**Ключові слова:** *нормальне розподілення, середньоквадратичне відхилення, дисперсійний ана-  
ліз, критерій Кочрена, вітринне неполіроване скло.*

**PhD Dolgolaptev V. M., Kozachishena E. S.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**ESTIMATION THE INFLUENCE OF AMBIENT CONDITIONS ON GLASS STRENGTH  
PROPERTIES**

*Mathematical statistics methods have been used for mechanical bending tests on plate cathedral  
glass samples.*

**Key words:** *normal distribution, root-mean-square deviation, dispersive analysis, Kochren criterion,  
plate cathedral glass.*