

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ,  
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ  
ГОТОВОЙ ОБУВИ**

*Шерemet E.A., Науменко A.A.  
(ВГТУ)*

Качество обуви определяется широким комплексом свойств. Одним из самых важных среди них является формоустойчивость, то есть способность изделия сохранять в процессе эксплуатации форму, приданную ему в процессе производства.

В работе [1] было предложено оценивать формоустойчивость по изменению внутреннего объема носочно-пучковой части обуви. Однако, оценка формоустойчивости по изменению показателей абсолютного объема не дает возможность сравнения соответствующих показателей обуви различных размеров. Чтобы исключить влияние этих факторов целесообразно использовать относительный показатель. Следует ввести показатель  $K$ , представляющий собой отношение объема носочно-пучковой части обуви, подвергшейся нагружению и деформации в течении определенного времени ( $V$ ), к первоначальному объему обуви ( $V_0$ ).

$$K = V/V_0 \quad (1)$$

Вполне логичным представляется рассмотрение текущего объема обуви именно на фоне первоначального значения этого объема, так как лишь в случае отклонения  $V$  от  $V_0$  можно говорить о каких-то трансформациях формы изделия. Вместе с тем, зависимость  $K$  от  $V$  при  $V_0 = \text{const}$  остается линейной.

Представляет интерес вопрос о том, с какими факторами можно связать данный показатель. Известно, что формоустойчивость зависит от физико-механических свойств комплектующих материалов, геометрических параметров обуви, условий и времени эксплуатации и других. Используемая в данной работе группа факторов имеет следующий вид:

$S$ - величина смещения верха как мера изменения геометрических параметров верха обуви в процессе эксплуатации;

$t$ - время нагружения обуви;

$\tau$ - время релаксации материала верха, учитывающее полимерную структуру материала и характеризующее способность материала восстанавливать свои свойства после прекращения действия нагрузок;

$P$ - давление, оказываемое стопой на внутреннюю поверхность обуви, как параметр, характеризующий условия эксплуатации;

$R$ - работа разрыва материала верха, являющиеся мерой прочности этого материала, характеризующая способность материала противостоять действию нагрузок и возникающих деформаций верха обуви в процессе эксплуатации;

$\Sigma H$ - суммарная высота складок на поверхности носочно-пучковой части как мера деформации в процессе складкообразования;

$H_{cp}$ - усредненная характеристика интенсивности складкообразования;

$P_{np}$ - периметр в сечении 0,68/0,72 Дст как геометрический параметр обуви в поперечном направлении;

$N$ - размер обуви как стандартный геометрический параметр стопы в продольном направлении.

$\text{tg } \varphi$ - тангенс угла подъема носочной части как мера деформации верха в продольном сечении.

Таким образом функцию, связывающую названный выше относительный показатель формоустойчивости с перечисленными факторами, в общем виде можно записать так:

$$K = f(S, t, \tau, P, R, \Sigma H, H_{\text{ср}}, P_{\text{пр}}, N, \text{tg } \varphi) \quad (2)$$

Важным представляется вопрос о том, может ли такая функция существовать. Ответ на этот вопрос нетрудно получить, используя так называемый анализ размерностей. Основная идея этого метода состоит в том, что если заданную группу переменных удастся преобразовать к набору безразмерных комбинаций, то эту группу можно считать полной, а соответствующую ей функцию существующей.

Для проведения анализа размерностей выразим сначала размерности исходных величин, входящих в (2). Используем систему единиц, в которой основными единицами являются единицы массы (М), длины (L и L'), объема (L<sup>3</sup>), времени (θ), применяя рекомендации по построению систем единиц, известные из [2].

Очевидно, что выражение (2) является лишь общей формой записи зависимости между введенными величинами. В действительности характер влияния аргументов на функцию не одинаков. Поэтому естественно с точки зрения приближения к истинной зависимости использовать такую формулу:

$$K = f\{[S^a, t^b, \tau^c, P^d, R^e, \Sigma H^g, H_{\text{ср}}^h, P_{\text{пр}}^m, N^n, (\text{tg } \varphi)^s]\} \quad (3)$$

Используя метод Релея [2], получаем следующие выражения для показателей степеней: a=d; e=-d; b=-c; q=-h; n=-m.

Подставим полученные значения степеней в формулу (3).

$$K = f\{[S^a, t^b, \tau^{-b}, P^a, R^{-a}, \Sigma H^a, H_{\text{ср}}^{-a}, P_{\text{пр}}^m, N^{-m}, (\text{tg } \varphi)^s]\} \quad (4)$$

Объединим величины, имеющие одинаковые показатели степеней и перепишем (4) в виде:

$$K = f\{[(PS^3/R)^a, (t/\tau)^b, (\Sigma H/H_{\text{ср}})^a, (P_{\text{пр}}/N)^m, (\text{tg } \varphi)^s]\} \quad (5)$$

Построенные комбинации оказываются безразмерными. Следовательно, функция (2) существует.

Рассмотрим физическое содержание каждой безразмерной комбинации:

1)  $PS^3/R$  - представляет отношение двух энергий: энергии, прикладываемой к верху обуви в случае его смещения  $PS^3$ , и энергии разрушения (разрыва) материала верха R. Для этого отношения существует предельное значение, определяемое неравенством  $PS^3/R \leq 1$ . Случай, когда отношение  $PS^3/R = 1$ , характеризует состояние разрыва материала. Указанная безразмерная комбинация  $PS^3/R$  выступает в роли критерия энергетического состояния верха обуви в процессе эксплуатации.

2)  $t/\tau$  - является ни чем иным, как критерием Деборы и характеризует физическое состояние любого полимерного материала, включая и кожу. Теоретически,  $D \in [0; \infty]$ . Возрастание критерия Деборы указывает на приближение к упругому состоянию, приближение к нулю - к размягченному состоянию полимерного материала.

3)  $\Sigma H/H_{\text{ср}}$  - этот критерий может интерпретироваться, как количество складок. Обратим внимание на то, что появление складок вызывается действием сил, направленных по касательной к поверхности верха обуви вдоль продольной оси. Это дает основание рассматривать поверхность верха со складками, как поверхность оболочки, претерпевающей так называемый продольный изгиб. Из теории сопротивления материалов известно, что потеря устойчивости упругих стержней и оболочки при продольном изгибе связана с появлением на них волнообразных деформаций с различной длиной волны. Следовательно, величина  $\Sigma H/H_{\text{ср}}$  оказывается критерием, отражающим геометрию поверхности верха, в которую исходная поверхность трансформируется в процессе эксплуатации.

Следует отметить, что целым числом данная безразмерная комбинация выражается только тогда, когда высота и ширина складок одинаковы. Образование каждой оче-

редной складки идет в основном за счет перераспределения деформаций поверхности, то есть увеличение высоты каждой последующей складки происходит за счет уменьшения высот предыдущих.

4)  $Pnp/N$  - характеризует геометрические пропорции обуви.

5)  $\text{tg } \varphi$  - мера угла подъема в носочной части изделия обуви.

Модель, описывающая зависимость величины  $V/V_0$  от перечисленных выше факторов, может быть представлена в соответствии с рекомендациями, известными из [2], в виде функции:

$$V/V_0 = (PS^3/R)^a \cdot (t/\tau)^b \cdot (\Sigma H/Hcp)^q \cdot Pnp/N^n \cdot (\text{tg } \varphi)^s \quad (6)$$

Однако целесообразней представить данную модель в несколько ином виде, обеспечивающем значение  $V/V_0 = 1$  при отсутствии действия рассматриваемых факторов:

$$V/V_0 = (1+PS^3/R)^a \cdot (1+t/\tau)^b \cdot (1+\Sigma H/Hcp)^q \cdot (1+Pnp/N)^n \cdot (1+\text{tg } \varphi)^s \quad (7)$$

Логарифмируя левую и правую части (7), получим линейную модель относительно логарифмов вышеуказанных величин:

$$\ln V/V_0 = a \ln PS^3/R + b \ln t/\tau + q \ln \Sigma H/Hcp + n \ln Pnp/N + s \ln \text{tg } \varphi \quad (8)$$

Используя методы множественного регрессионного анализа, позволяющего строить линейную модель при наличии корреляций между факторами, легко определить коэффициенты  $a, b, q, n, s$ . Адекватность модели можно оценивать либо по критерию Фишера, либо по коэффициенту множественной детерминации.

Для расчета конкретных значений коэффициентов модели (8) были использованы данные эксплуатационных испытаний обуви с верхом из натуральной кожи, с подкладкой из тик-саржи и межподкладкой из нетканого клеевого полотна.

Получены следующие значения коэффициентов:  $a=0,126$ ;  $b=0,296$ ;  $q=0,236$ ;  $n=0,093$ ;  $s=0,250$ ; которые можно рассматривать как коэффициенты влияния факторов на формоустойчивость готовой обуви. Их можно непосредственно использовать для построения ранжированного ряда, составленного из этих факторов. В данном случае изменения используемого показателя формоустойчивости на 29,6 % определяют временем эксплуатации, на 25 % — углом подъема носочной части, на 23,6 % — числом складок на поверхности обуви и на 9,3 % — геометрическими пропорциями изделия.

#### Литература:

1. Щербаков В.В., Калита А.Н., Сипаров Г.В. Комплексная оценка формоустойчивости обуви. Сообщение 1. — Известия вузов. Технология легкой промышленности, 1980, №4, с.54-56
2. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. — М.: Наука, 1988. — 432 с.