

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ У НАТУРАЛЬНЫХ КОЖ

*К.т.н., доц. Петрова Л.Н.,  
к.т.н., доц. Цобкалло Е.С.,  
асп. Туркина Н.Р.,  
д.т.н., проф. Карагезян Ю.А.*

(СПб ГИТД)

При производстве обуви в процессе формирования кожа подвергается различным воздействиям, таким как температура, влажность, механическое растяжение и другим, среди которых растяжение является определяющим. Во время затяжки заготовка на колодке деформируется, затем в течение определенного времени выдерживается в таком состоянии. При этом режиме деформация кожи остается постоянной, но внутренние напряжения меняются, то есть идет процесс релаксации напряжений.

Процесс релаксации напряжений и процесс усадки кожи, протекающий после снятия обуви с колодки, несомненно, связаны друг с другом. Если величина неотрелаксировавшихся напряжений в заготовке на момент снятия ее с колодки достаточно велика, то кожа будет более активно восстанавливать свои прежние размеры. Усадка кожи при производстве обуви - явление крайне нежелательное, приводящее к потере формоустойчивости, изменению заданных размеров. В связи с выше сказанным исследование процессов релаксации напряжений у натуральных кож имеет большое практическое значение. Поведению кожи в процессе механического воздействия посвящен целый ряд работ [1], [2], [3], однако, до настоящего времени вопросом количественного описания релаксации напряжений натуральной кожи занимались мало [4], [5].

Цель данной работы состоит в исследовании процессов релаксации напряжений у натуральных кож в широком диапазоне нагрузок, а также в количественном описании и прогнозировании этого процесса, позволяющем по результатам кратковременных испытаний прогнозировать значения внутренних напряжений на длительные времена.

Исследовали натуральную кожу - бычью хромового дубления Осташковского кожзавода. Образцы вырезались из стандартных участков для физико-механических испытаний и представляли собой полосы шириной 10 мм, базовой длиной 50 мм и средней толщиной 1,5 мм. Диаграмма растяжения исследуемой кожи была получена на приборе английской фирмы "Instron - 1122", семейство кривых релаксации напряжений - на приборе "Релаксатор деформаций ИД - 15" [5]. Имитируя процесс затяжки обуви, растягивали образцы, задавая разные уровни деформации и сохраняя ее в течение 30 минут. При этом заданные удлинения были постоянными, а напряжения в самом образце релаксировали.

На рис. 1 представлено семейство кривых релаксации напряжений, построенное в полулогарифмической системе координат " $\sigma - \lg t/t_1$ ", где  $\sigma$  - величина механического напряжения,  $t_1 = 1$  мин. - является базовым временем. Величина заданной деформации была выбрана в интервале от 2 до 46 %, т.е. составляла примерно 50 % от разрывного удлинения. Из рисунка 1 была полу-

чена зависимость изохронных значений напряжения  $\sigma_1$  для времени  $t=1$  мин. от значений задаваемой деформации  $\varepsilon_{\text{зад}}$  (см. рис.2). Как видно из рисунка 2, при  $\varepsilon > 6\%$  изохрона носит линейный характер, т.е. в этом интервале отчетливо проявляется линейная зависимость между  $\sigma$  и  $\varepsilon_{\text{зад}}$ . Этот участок мы и будем в дальнейшем рассматривать.

Для описания семейства кривых релаксации напряжения, представленных на рисунке 1, данные зависимости были перестроены в координатах " $E - \lg t/t_1$ " (рис. 3). С этой целью значения ординат  $\sigma$  каждого уровня задаваемой деформации  $\varepsilon$  были поделены на разность  $\varepsilon - \varepsilon^*$ , где  $\varepsilon^* = 6\%$ :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon - \varepsilon^*} \quad (1)$$

Все построенные зависимости " $E - \lg t/t_1$ " сливаются в S-образную кривую. Это подтверждает линейность свойств исследуемой кожи.

Для количественного описания и прогноза процесса релаксации напряжений было использовано определяющее уравнение (2), предложенное в работе [7]:

$$\sigma(t) = E_0 \varepsilon(t) - (E_0 - E_\infty) \int_0^t r(t-\Theta) \varepsilon(\Theta) d(\Theta), \quad (2)$$

где  $r(t-\Theta) = \frac{d\varphi(t-\Theta)}{a(t-\Theta)}$  - нормированное ядро релаксации (3)

$E_0$  - начальный модуль,  
 $E_\infty$  - релаксационный модуль.

В качестве ядра релаксации был использован интеграл вероятности. При определенных условиях деформирования и некоторых преобразованиях уравнение (2) упрощается [8]:

$$\sigma(t) = E_0 \varepsilon(t) - (E_0 - E_\infty) \varphi(t) \varepsilon(t), \quad (4)$$

где  $\varphi(t)$  - нормированная релаксационная функция, меняющаяся от 0 до 1:

$$\varphi(t) = (2\pi)^{-0,5} \int_{-\infty}^{\sqrt{z}} \exp(-0,5z^2) dz \quad (5)$$

Так как кожа на рассматриваемом участке обладает линейной вязкой упругостью, то  $\varphi(t) = \text{const}$  [9]. С учетом (5) уравнение (4) примет вид:

$$\sigma(t) = E_0 \varepsilon(t) - (E_0 - E_\infty) \varepsilon(t) (2\pi)^{-0,5} \int_{-\infty}^{\sqrt{z}} \exp(-0,5z^2) dz, \quad (6)$$

где  $z = a^{-1} \ln \frac{t}{\tau}$ ;  $V_t = a^{-1} (\lg t/t_1 + \lg f_\varepsilon)$  - структурно-временной аргумент - функционал;

$a$  - константа распределения;

$\tau$  - время релаксации;

$f_\varepsilon$  - характеристическая деформационная функция.

Входящие в уравнение (6) параметры определяются экспериментально (рис.3).

Так,

$$a^{-1} = \frac{2,5E'}{E_0 - E_\infty} \quad (7)$$

$$E'_\varepsilon = \left. \frac{\partial E_\infty}{\partial \lg t/t_1} \right|_{t=t_1} \quad (8)$$

$t_1$  - выбранное базовое время, в нашем случае  $t_1=10$  мин.

Величина  $f_0$  в условиях линейности является константой 9 и определяется из рис.3 как абсцисса точки  $K - \lg t$  на релаксационной кривой модуля  $E$ . Точка  $K$ , в свою очередь, определяет середину отрезка  $(E_\infty - E_0)/$ .

По изложенной методике было проведено количественное описание процесса релаксации напряжений натуральной кожи при заданной деформации, равной 10, 20, 30 %. Для данных уровней деформации был поставлен длительный эксперимент по определению величины напряжения. Как видно из рис.1, экспериментальные и расчётные значения близки.

Итак, используемый в работе метод описания процесса релаксации напряжений с помощью определяющего уравнения позволяет достаточно точно рассчитывать и прогнозировать значения напряжений у натуральных кож.

### Литература:

1. Зурабян К.М., Краснов Б.Я., Бернштейн М.М. "Материаловедение изделий из кожи" - М: Легпромбытиздат, 1988 - с. 72.
2. Зыбин Ю.П., Авилов А.А., Гвоздев Ю.Н., Чернов Н.В. "Материаловедение изделий из кожи" - М: Легкая индустрия, 1968 - с. 56.
3. Лубянская А.А. "Исследование релаксации кожи для верха обуви в процессе обувного производства и при хранении" Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. - С.-Петербург, 1968, с. 20.
4. Тиранов В.Г., Карагезян Ю.А., Попов В.Б., Петрова Л.В., Цобкалло Е.С. "Усадка и релаксационные процессы в коже для обуви" - М: Кожевенно-обувная промышленность, 1996, 2, с. 32-33.
5. Шестакова В.А. "Исследование реологических свойств кожи на основе сетчатой модели" Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. - М. 1970. с. 18.
6. Сталевич А.М., Тиранов В.Г., Романов В.А. "Аппаратура для исследования деформационных и прочностных свойств синтетических нитей" Текстильная промышленность в СССР. Экспресс-информация. 1979, вып. 20, с. 7 - 11.
7. Сталевич А.М. "Расчетное прогнозирование нагруженных состояний синтетических нитей" - М: Известия высших учебных заведений, технология легкой промышленности, 1989, 3.
8. Сталевич А.М. "Деформирование высокоориентированных полимеров" ч. 1. "Теория линейной вязкоупругости" Конспект лекций. С-Петербург, СПГУТД, 1995.
9. Сталевич А.М., Маланов А.Г., Слуцкер Г.Я., Попов Л.В. "Деформационные свойства нити корда и тканых лент из полиамида". Тезисы доклада на Всероссийской конференции "Прочность и живучесть конструкций", Вологда, - 17 декабря 1993 года.

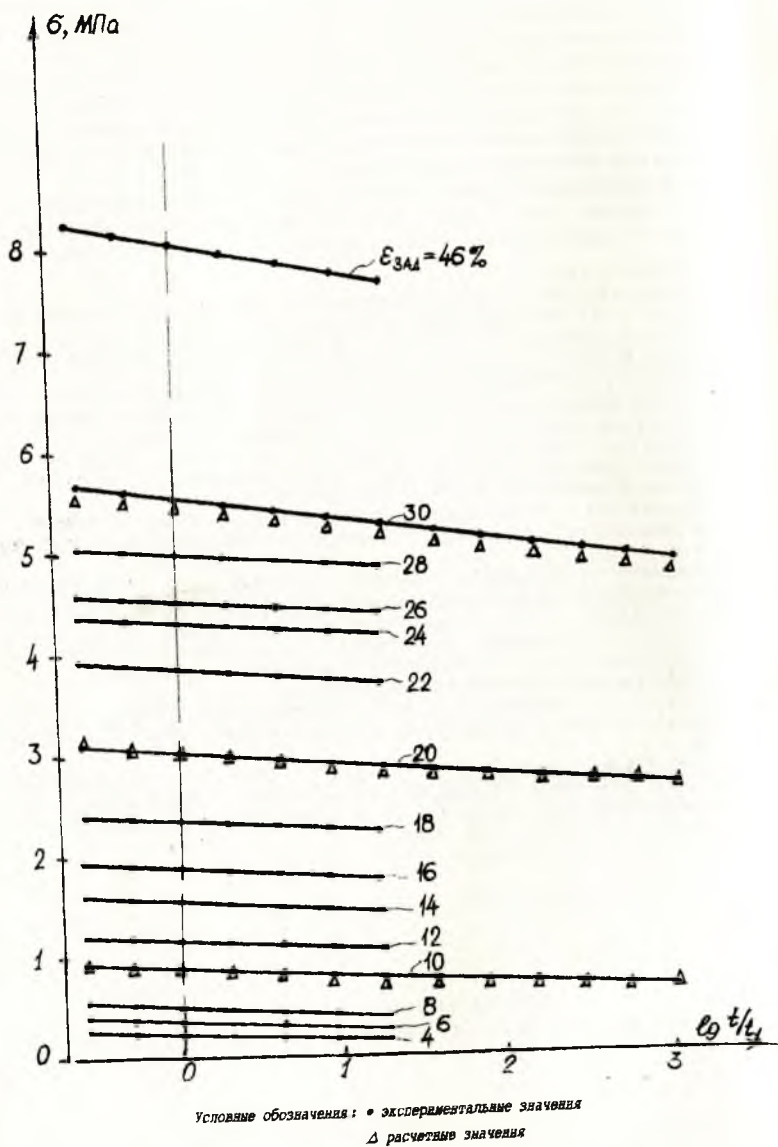


Рис. 1. Семейство кривых релаксации напряжения для разных уровней деформации.

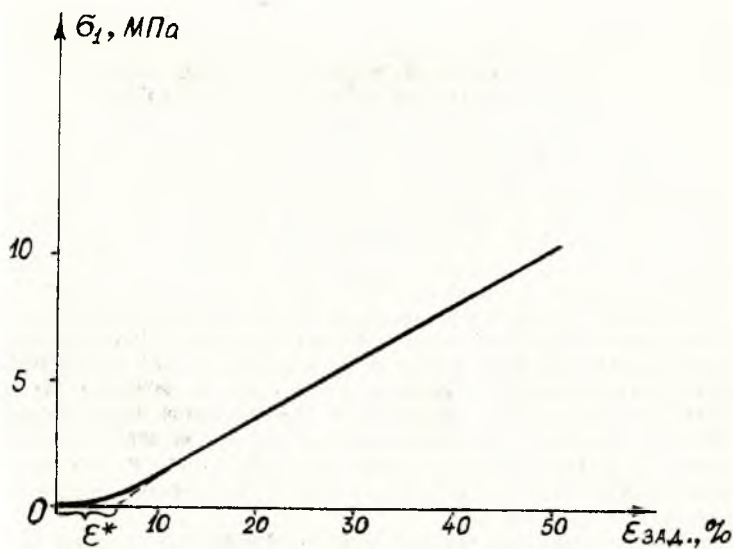


Рис. 2. Зависимость напряжения при  $t=1$  мин от заданной деформации.

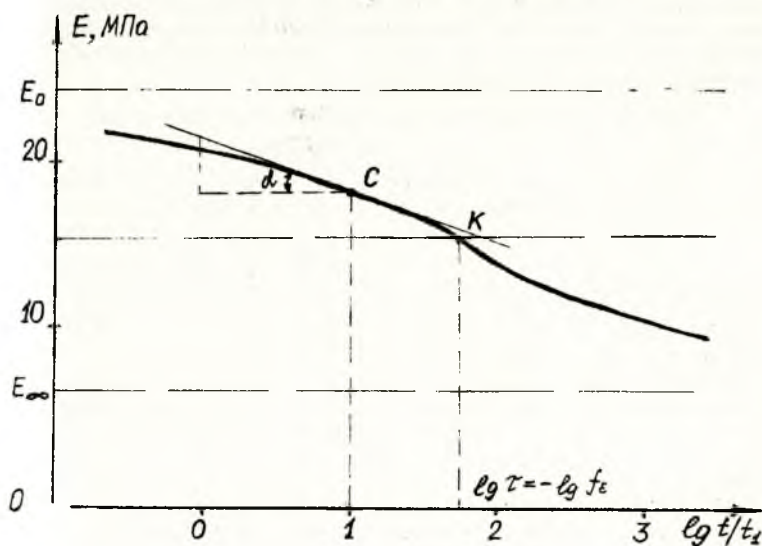


Рис. 3. Зависимость модуля упругости от времени.