

УДК 687.03

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ СЖАТИЯ ОБЪЕМНОГО НЕСВЯЗНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ

И.Ю. БРИНК, С.Н. СЕРГЕЕНКО, А.С. РУКАВИШНИКОВА

**(Ростовский институт сервиса (филиал)
Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса)**

В последнее десятилетие большое распространение в качестве утеплителя при изготовлении теплозащитной одежды получили натуральные (перо-пуховая смесь водоплавающей птицы) и синтетические (hollowfiber, fibertech и др.) несвязные объемные утеплители. Использование перо-пуховой смеси обусловлено ее высокими теплоизоляционными и гигиеническими

свойствами, экологичностью, длительным сроком эксплуатации, малой массой. Степень теплоизоляции несвязных объемных утеплителей зависит, при прочих равных условиях, от объемной плотности материалов [1...3].

В процессе эксплуатации отдельные участки одежды подвергаются внешним силовым воздействиям, в том числе воз-

действию ветровой нагрузки, приводящим к сжатию материалов и уменьшению толщины утепляющего материала, его перераспределению, снижению теплоизолирующей способности одежды.

Изменение объемной плотности утеплителя зависит от его реологических свойств, напряженно-деформированного состояния и времени действия нагрузки. В общем случае величина напряжения σ определяет значение не только деформации ϵ , но и скорости деформации $\dot{\epsilon}_v$ [1...3].

Увеличение σ приводит к повышению объемной массы. При давлениях менее 200 Па и времени 5..180 с несвязный объемный утеплитель можно рассматривать как упругое тело [4]. Закономерности сжатия несвязного утеплителя существенно зависят от вида материала. При этом наблюдаются не только упругая деформация, но и пластичная [3].

Цель настоящей работы заключается в установлении зависимости влияния времени нагружения и давления на изменение объема и определение реологических свойств объемных несвязных утепляющих материалов.

В процессе эксперимента в качестве исследуемого объемного утеплителя использовали гусиный пух (96% – пух, 4% –

мелкое перо, показатель F.P.=800), обеспечивающий высокое качество изделия [1...3].

Выбор массы образца проводили на основании предварительных экспериментальных исследований плотности перо-пуховой смеси при различных $\sigma_{сж}$.

Давление одностороннего сжатия $\sigma_{сж}$ может быть определено с учетом потерь, связанных с неоднородностью распределения плотности σ_i , потерь на трение σ_f и давления уплотнения σ_v :

$$\sigma_{сж} = \sigma_i + \sigma_f + \sigma_v = \sigma_{пот} + \sigma_v, \quad (1)$$

где $\sigma_{пот} = \sigma_i + \sigma_f$.

При оптимальных значениях массы $m=1,5$ г (объем – 1,43 л) исследуемого образца, представленных в табл. 1, наблюдаются максимальные значения плотности ρ_{max} , а потери, связанные с неоднородностью распределения плотности и трения, принимают минимальное значение. Увеличение абсолютных значений напряжения увеличивают абсолютные значения деформации восстановления $\epsilon_{вос}$. Для оптимального значения массы исследуемого образца, можно принять $\sigma_{сж} \approx \sigma_v$.

Таблица 1

Масса образца, г	Показатель	Плотность ρ_{max} , потери $\sigma_{пот}$ и деформация восстановления $\epsilon_{вос}$ при различных давлениях сжатия $\sigma_{сж}$, Па						
		-41	-83	-124	-165	-248	-330	-413
0,5	ρ_{max}	4,68	7,01	10,52	11,08	12,03	14,03	16,84
	$\sigma_{пот}$	0,07	0,10	0,20	0,35	0,56	0,52	0,39
	$\epsilon_{вос}$	-0,06	-0,22	-0,20	-0,20	-0,29	-0,42	-0,53
1,0	ρ_{max}	3,24	4,68	7,01	8,42	12,03	16,84	21,04
	$\sigma_{пот}$	0,13	0,20	0,30	0,35	0,60	0,53	0,49
	$\epsilon_{вос}$	-0,04	-0,12	-0,20	-0,24	-0,26	-0,30	-0,31
1,5	ρ_{max}	3,37	4,95	8,15	11,48	14,85	18,04	22,15
	$\sigma_{пот}$	0,08	0,09	0,18	0,28	0,53	0,47	0,38
	$\epsilon_{вос}$	-0,05	-0,19	-0,25	-0,29	-0,37	-0,41	-0,45
2,0	ρ_{max}	2,51	6,01	8,02	10,86	12,95	16,84	21,31
	$\sigma_{пот}$	0,16	0,36	0,40	0,48	0,70	0,66	0,61
	$\epsilon_{вос}$	-0,02	-0,38	-0,38	-0,45	-0,51	-0,51	-0,51
2,5	ρ_{max}	2,60	5,13	6,58	8,77	13,15	17,54	19,31
	$\sigma_{пот}$	0,17	0,32	0,41	0,60	1,00	0,93	0,84
	$\epsilon_{вос}$	-0,02	-0,34	-0,41	-0,43	-0,48	-0,51	-0,53

Методика проведения исследования включала построение экспериментальных зависимостей $\varepsilon_v(t, \sigma_{сж})$ и $\rho(t, \sigma_{сж})$; определение предельных значений времени $t_{пред}$, объемной деформации $\varepsilon_v_{пред}$, плотности $\rho_{пред}$, сигмоидальной зависимости и ее параметров для предельных значений; логистического уравнения $\varepsilon_v = f(t)$; зависимости параметров логистического уравнения $\varepsilon_v = f(t)$ от сжимающего напряжения $\sigma_{сж}$; параметров зависимости $\varepsilon_v = f(\sigma, t)$; скорости деформации $\dot{\varepsilon}_v$ путем дифференцирования зависимости $\varepsilon_v = f(\sigma, t)$; построение 3D моделей $\dot{\varepsilon}_v(\sigma_{сж}, t)$ и $\sigma_{сж}(\dot{\varepsilon}_v, \varepsilon_v)$; определение коэффициента кажущейся объемной вязкости η_v^* ; вывод уравнения описания ползучести объемного утеплителя и установление его коэффициентов.

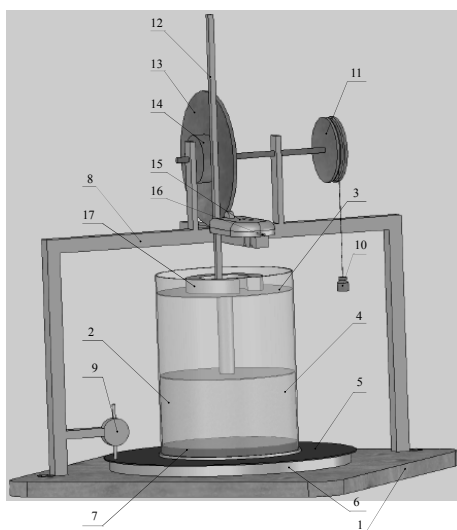


Рис. 1

Для проведения испытаний была разработана и изготовлена экспериментальная установка, реализующая метод одноосного сжатия. Разработанное устройство (рис. 1) состоит из основания 1; подвижного цилиндра 2 с рабочим объемом $0,0014\text{м}^3$ (1,43л); подвижного нагружающего поршня 3; основания цилиндра 5; измерительной шайбы 6 из связного утеплителя типа "синтепон"; опорной площадки 7, жестко закрепленной на основании рамы 8; измерительного прибора в виде микрометра; противовеса 10 и его ролика 11; измерительного устройства, включающего в себя измерительную планку 12, жестко закреп-

ленную на поршне 3; роликов 13 и 14; датчика перемещения 15, соединенного с компьютером 16.

Технология проведения исследований включала: тарировку синтепоновой шайбы для определения потерь в процессе испытаний; загрузку пуха в цилиндр, нагруженные заданными усилиями (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 10; 20; 25 Н) путем установки груза 17, определение времени при фиксированных перемещениях (2 мм).

Результаты экспериментальных исследований сводили в таблицу, содержащую значения времени Δt через фиксированную высоту Δh .

Расчет текущей высоты образца, высотной логарифмической (истинной) деформации ε_h и значений плотности материала ρ_i осуществляли с помощью разработанной компьютерной программы с учетом насыпной высоты h_0 , массы образца $m_{обр}$ и груза $M_{гр}$:

$$h_i = h_0 - \Delta h, \quad (2)$$

$$\varepsilon_h = \ln\left(\frac{h_i}{h_0}\right), \quad (3)$$

при этом $\varepsilon_h = \varepsilon_v$,

$$\rho_i = \frac{4m_{обр}}{\pi D^2 h_i}. \quad (4)$$

На основании проведенных экспериментов были установлены основные закономерности деформации при сжатии объемного утеплителя.

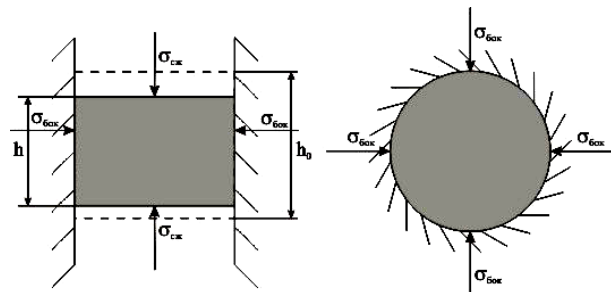


Рис. 2

Напряженно-деформационное состояние объемного утеплителя (рис. 2 – схема

сжатия несвязного объемного утеплителя) в процессе сжатия в жестком цилиндре при отсутствии радиальной деформации и без учета сил трения описывается тензорами

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} -\sigma_{\text{бок}} & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_{\text{бок}} & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_{\text{сж}} \end{vmatrix} = -\sigma_{\text{сж}} \begin{vmatrix} k_{\text{бок}} & 0 & 0 \\ 0 & k_{\text{бок}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где $k_{\text{бок}} = \frac{\sigma_{\text{бок}}}{\sigma_{\text{сж}}}$ – коэффициент бокового давления; $\sigma_{\text{бок}} = k_{\text{бок}} \sigma_{\text{сж}}$ – боковое давление.

$$T_{\varepsilon} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_h \end{vmatrix}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_h = \ln\left(\frac{h_i}{h_0}\right) \leq 0$ – высотная деформация; h_0, h_i – исходная и текущая высота образца соответственно.

Объемная деформация определяется как сумма диагональных членов тензора деформаций T_{ε} :

$$\varepsilon_v = 0 + 0 + \varepsilon_h = \varepsilon_h, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{1}{3} \varepsilon_v. \quad (8)$$

Изотропные части тензоров напряжения T_{σ} и деформации T_{ε} записываем в виде:

$$T_{\sigma}^v = \begin{vmatrix} \sigma_{\text{ср}} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\text{ср}} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\text{ср}} \end{vmatrix}, \quad (9)$$

$$T_{\varepsilon}^v = \begin{vmatrix} \varepsilon_{\text{ср}} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{\text{ср}} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{\text{ср}} \end{vmatrix}, \quad (10)$$

где $\sigma_{\text{ср}} = -\frac{1}{3} \sigma_{\text{сж}} (2k_{\text{бок}} + 1)$ – среднее напряжение $\sigma_{\text{ср}}$ (при $k_{\text{бок}} \cong 1, \sigma_{\text{ср}} \cong \sigma_{\text{сж}}$).

напряжений T_{σ} и деформаций T_{ε} , средней деформации $\varepsilon_{\text{ср}}$, девиаторами тензоров напряжения D_{σ} и деформации D_{ε} :

$$D_{\sigma} = (T_{\sigma} - T_{\sigma}^v), \quad (11)$$

$$D_{\varepsilon} = (T_{\varepsilon} - T_{\varepsilon}^v). \quad (12)$$

Для линейно-упругого тела реологические уравнения записываются в виде [5]:

$$D_{\sigma} = 2GD_{\varepsilon}, \quad (13)$$

$$T_{\sigma}^v = 3kT_{\varepsilon}^v, \quad (14)$$

$$\sigma_{\text{ср}} = k\varepsilon_v, \quad (15)$$

где G – модуль сдвига; k – коэффициент сжимаемости.

Для линейного вязкого тела [5]:

$$D_{\sigma} = 3\eta D_{\dot{\varepsilon}}, \quad (16)$$

$$T_{\sigma}^v = 3kT_{\varepsilon}^v + 3\eta_v T_{\dot{\varepsilon}}^v, \quad (17)$$

$$\sigma_{\text{ср}} = k\varepsilon_v + \eta_v \dot{\varepsilon}_v, \quad (18)$$

где η – коэффициент сдвиговой вязкости; η_v – коэффициент объемной вязкости; $\dot{\varepsilon}_v = \frac{d(\varepsilon_v)}{dt}$ – скорость объемной деформации; $D_{\dot{\varepsilon}}, T_{\dot{\varepsilon}}$ – девиатор и изотропная часть тензора скорости деформации.

Сжатие объемного несвязного утеплителя характеризуется упругими и пластическими деформациями, зависящими от времени. В общем случае закономерности деформации могут носить нелинейный характер.

Описание результатов исследования влияния скорости объемной деформации $\dot{\varepsilon}_v$ на напряжение $\sigma_{\text{сж}}$ осуществляли с помощью коэффициента кажущейся объемной вязкости η_v^* :

$$\eta_v^* = \frac{\sigma_{\text{сж}}}{\dot{\varepsilon}_v}. \quad (19)$$

ВЫВОДЫ

Разработана методика и экспериментальная установка для исследования кинетики процессов сжатия несвязного объемного утеплителя, позволяющая определить время при фиксированных значениях объемной деформации и нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бринк И.Ю., Лебедева Е.О. Исследование воздействия ветра на пакеты теплозащитной одежды при ветровой нагрузке // Швейная промышленность. – 2005, №3. С.34...36.

2. Бекмурзаев Л.А. Проектирование изделий с объемными материалами: Монография. – Шахты: ЮРГУЭС, 2001.

3. Балясов П.Д. Сжатие текстильных волокон в массе и технология текстильного производства: Монография. – М.: Легкая индустрия, 1975.

4. Сергеенко С.Н. и др. Исследование одноосного сжатия // Материаловедение. – 2003, №1. С.16...21.

5. Рейнер М. Деформация и течения. Введение в реологию. – М.: Гос. науч.-техн. изд. нефтяной и горно-топливной литературы, 1963.

Рекомендована кафедрой моделирования, конструирования и технологии швейных изделий. Поступила 30.05.07.
