

М. М. МАРТИРОСЯН

К ОПИСАНИЮ ПОЛЗУЧЕСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКА СВАМ 1:1 С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ УПРУГО-ПОЛЗУЧЕГО ТЕЛА

В работе [1] нами была сделана попытка описать ползучесть стеклопластика СВАМ 1:1 при одноосном растяжении с помощью теории линейной наследственности [2, 3]. Однако, в этой работе не учитывалось влияние старения на механические свойства стеклопластика, которое, как показали эксперименты [4], имеет весьма существенное значение.

В настоящей работе рассматривается возможность описания ползучести стареющего стеклопластика СВАМ с помощью теории упруго-ползучего тела [2].

Исследования проводились на стеклопластике СВАМ 1:1 на связующем БФ-4 толщиной пластины 5 мм. Образцы были вырезаны через 30 дней после прессовки пластин и соответствовали ГОСТ-у 4649-55. Для учета влияния ориентации волокон, образцы вырезались в трех направлениях и составляли с направлением волокон углы $\varphi = 0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ$.

Общее количество изготовленных образцов было разбито на 4 партии, из которых одна партия была предназначена для кратковременных машинных испытаний, а остальные — для испытания на ползучесть с учетом старения.

Образцы до испытания хранились в комнатных условиях, где поддерживалась постоянная температура и влажность [4]. Через 45 дней со дня прессовки материала* первая партия образцов была подвергнута кратковременному машинному испытанию, по данным которого определялись пределы прочности (σ_0) образцов на 45-й день с учетом ориентации волокон.

Вторая партия образцов в тот же день, в возрасте 45 дней, была установлена на ползучесть, а остальные две партии были оставлены на старение до возраста 365 и 730 дней.

Количество нагруженных образцов, направление и величины относительных напряжений приведены в табл. 1. Загружение образцов на ползучесть во всех трех возрастах производилось относительными напряжениями, соответствующими 0.3, 0.4, 0.5 и 0.6 σ_0 , где σ_0 — предел прочности образцов в возрасте 45 дней с учетом ориентации волокон.

* В дальнейшем возраст образцов будет даваться только со дня прессовки материала.

Под нагрузкой образцы находились в течение 20 суток. За это время ежедневно измерялись деформации ползучести. Удлинения измерялись механическими тензометрами с точностью 0.01 мм. Температура за время всех экспериментов поддерживалась постоянной $15 \pm 1^\circ\text{C}$.

Таблица 1

Количество нагруженных образцов, направление и величина относительных напряжений

Ориентация образцов φ	$\bar{\sigma}_{\text{ср}}$ в кгс/мм ²	σ_i в кгс/мм ²	$\frac{\sigma_i}{\bar{\sigma}_{\text{ср}}}$	Количество нагруженных образцов в шт.
0	32.0	9.6	0.3	2
		12.8	0.4	3
		16.0	0.5	3
		19.2	0.6	3
22.5	14.1	4.23	0.3	2
		5.64	0.4	3
		7.05	0.5	3
		8.46	0.6	3
45	10.61	3.2	0.3	2
		4.26	0.4	3
		5.32	0.5	3
		6.38	0.6	3

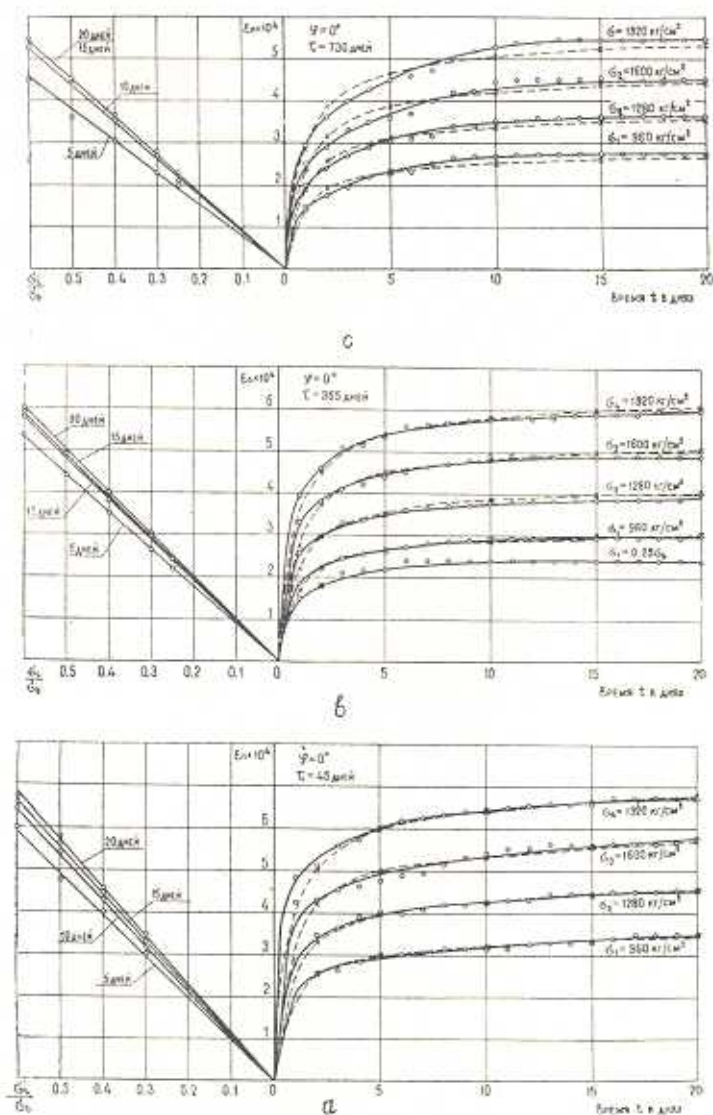
Ранее нашими исследованиями [1] было установлено, что зависимость между относительными напряжениями и деформациями ползучести для образцов стеклопластика СВАН 1:1 с ориентациями $\varphi = 0^\circ$ и 90° — линейная вплоть до относительного напряжения $0.6\sigma_{\text{в}}$. При других ориентациях ($\varphi = 22.5$ и 45°) эта зависимость выражалась ломаной, состоящей из двух прямых, при этом первая линейная область ограничивалась относительным напряжением $0.25\sigma_{\text{в}}$, а вторая — от $0.25\sigma_{\text{в}}$ и выше.

В настоящей работе диапазон относительных напряжений охватывает только вторую область (при $\varphi = 22.5$ и 45°) и ограничивается напряжениями $0.3\sigma_{\text{в}}$, $0.4\sigma_{\text{в}}$, $0.5\sigma_{\text{в}}$ и $0.6\sigma_{\text{в}}$. В некоторых случаях для контрольных наблюдений образцы на ползучесть устанавливались также и под $\sigma_i = 0.25\sigma_{\text{в}}$, $0.75\sigma_{\text{в}}$, однако их данные нами рассматривались как ориентировочные.

На фиг. 1, 2, 3 приведены кривые ползучести образцов при разных ориентациях и с разными временами старения. На левой стороне этих фигур показаны зависимости деформаций ползучести от относительных напряжений при разных продолжительностях воздействия нагрузки.

Как видно из графиков, старение на характер этой зависимости при ориентации образца $\varphi = 0^\circ$ совершенно не влияет (фиг. 1). Зави-

симось деформаций ползучести от относительного напряжения при $\varphi = 0^\circ$ и 90° — линейная независимо от возраста материала.



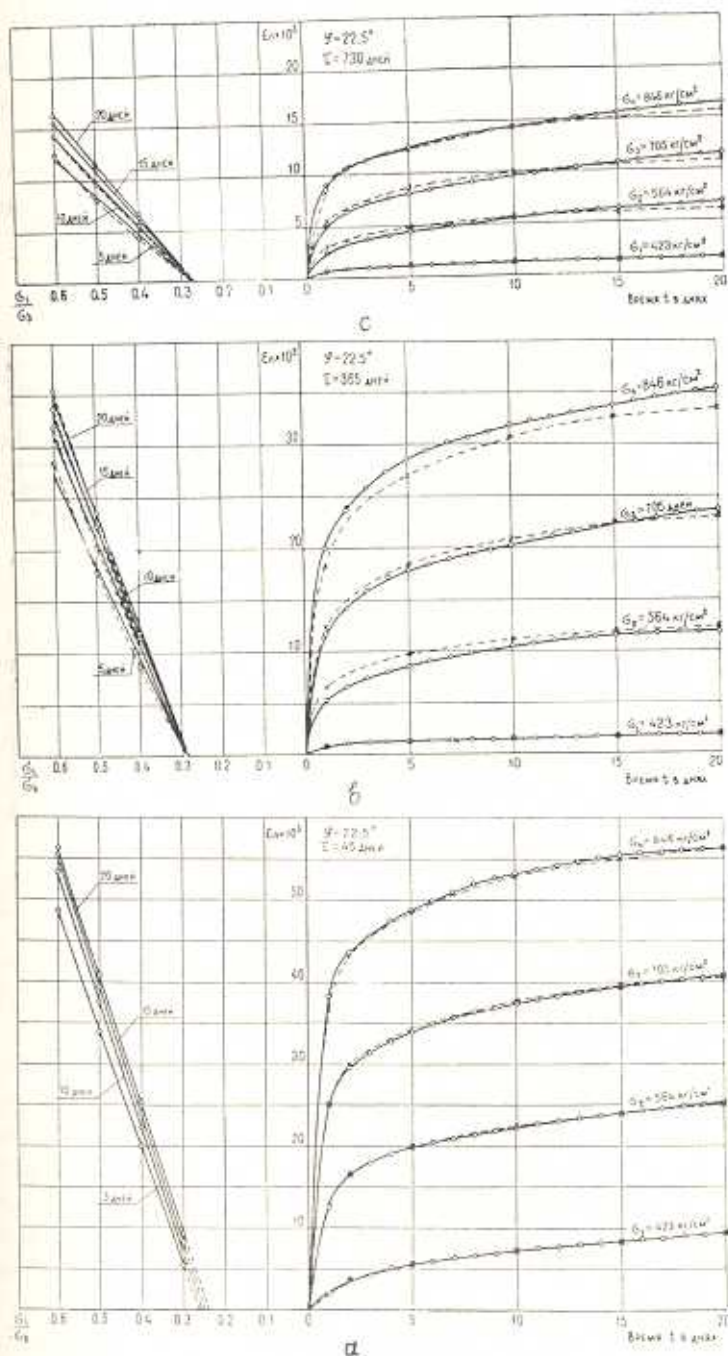
Фиг. 1

Из теории упруго-ползучего тела известно, что при действии постоянного напряжения σ деформация ползучести $\varepsilon_n(t)$ определяется формулой

$$\varepsilon_n(t) = C(t, \sigma) F(\sigma), \quad (1)$$

где $C(t, \sigma)$ — мера ползучести, то есть деформация ползучести в момент времени t от воздействия единичного напряжения, приложенного в возрасте τ ,

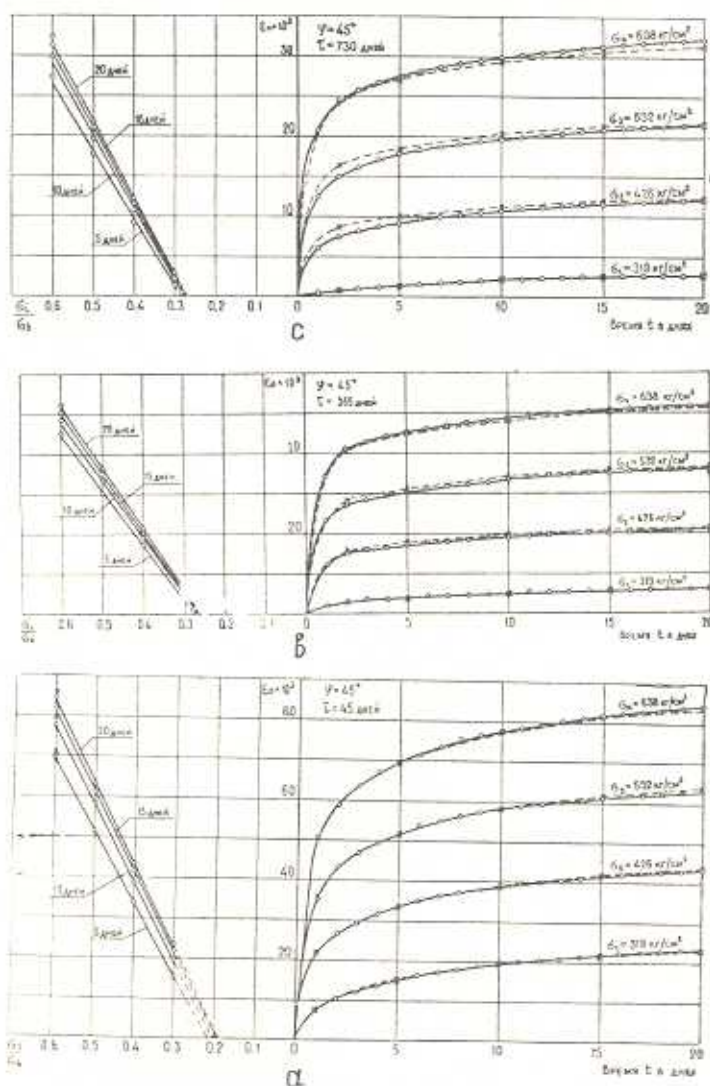
$F(\sigma)$ — функция напряжения, $[F(1) = 1]$.



Фиг. 2.

При линейной ползучести, т. е. когда связь между относительными напряжениями и деформациями ползучести линейная, в выражении (1) $F(\varepsilon)$ заменяется значением ε . Тогда величину $C(t, \tau)$ легко можно определить из экспериментальных кривых по формуле

$$C(t, \tau) = \frac{\varepsilon_n(t)}{\sigma} \quad (2)$$



Фиг. 3.

Если предположение о наличии в данном случае линейной ползучести верно, то для всего семейства кривых, соответствующего одному возрасту, выражение (2) обеспечит единый график функции $C(t, \tau)$.

Следуя Н. Х. Арутюняну [2], для меры ползучести стеклопластика СВМ 1:1 с учетом фактора старения положим

$$C(t, \tau) = \theta(\tau) [1 - [a_1 e^{-\tau(t-\tau)} + a_2 e^{-\tau_2(t-\tau)}]], \quad (3)$$

где $\theta(\tau)$ — монотонно убывающая функция, характеризующая старение материала,

a_1, a_2, τ_1 и τ_2 — постоянные, определяемые из опытов.

Для определения вида функции $\theta(\tau)$ мы обратились к экспериментальным данным. Исследования показали, что в пределах $\tau = 45$ дней до $\tau = 730$ дней эта зависимость выражается прямой

$$\theta(\tau) = A - B\tau, \quad (4)$$

строго проходящей через точки $\tau = 45$ дней, $\tau = 365$ дней и $\tau = 730$ дней (A и B — опытные постоянные).

С учетом (3) и (4) для деформации ползучести СВМ 1:1 при ориентации $\varphi = 0^\circ$ и 90° получим

$$\varepsilon_n(t) = (A - B\tau) [1 - [a_1 e^{-\tau(t-\tau)} + a_2 e^{-\tau_2(t-\tau)}]] \tau. \quad (5)$$

Как показывают вычисления, при подходящем выборе постоянных A, B, a_1, a_2, τ_1 и τ_2 выражение (6) обеспечивает достаточно хорошее совпадение теоретических кривых с экспериментальными как в молодом, так и в старом возрасте ($\tau = 730$ дней) стеклопластика СВМ 1:1.

На фиг. 1 приведены кривые ползучести образцов СВМ 1:1 при $\varphi = 0^\circ$ и 90° для трех возрастов. Сплошные линии — экспериментальные кривые, пунктирные — теоретические, определенные по формуле

$$\varepsilon_n(t) = (36,9 \cdot 10^{-6} - 11,64 \cdot 10^{-6} \tau) [1 - [0,25 e^{-0,119\tau(t-\tau)} + 0,75 e^{-1,07\tau(t-\tau)}]] \tau. \quad (6)$$

Приведенные кривые дают основание считать, что предложенная формула (6), полученная на основании теории упруго-ползучего тела, для определения деформации ползучести стеклопластика СВМ 1:1 при ориентации материала $\varphi = 0^\circ$ и 90° дает удовлетворительные результаты.

Эксперименты показывают, что при ориентациях образцов $\varphi = 22,5^\circ$ и 45° возраст материала несколько влияет на вид зависимости „относительное напряжение — деформация ползучести“.

В возрасте 45 дней эта зависимость в пределах относительных напряжений 0,3—0,6 ε_n выражается прямой, т. е. имеем случай линейной ползучести. Для образцов в возрасте 365 и 730 дней наблюдается некоторое отклонение от линейности. Таким образом, с изменением возраста материала в пределах двух лет несколько меняется также характер деформации ползучести.

Для описания ползучести СВМ 1:1 при ориентации образцов, отличных от нуля, также обратимся к теории упруго-ползучего тела.

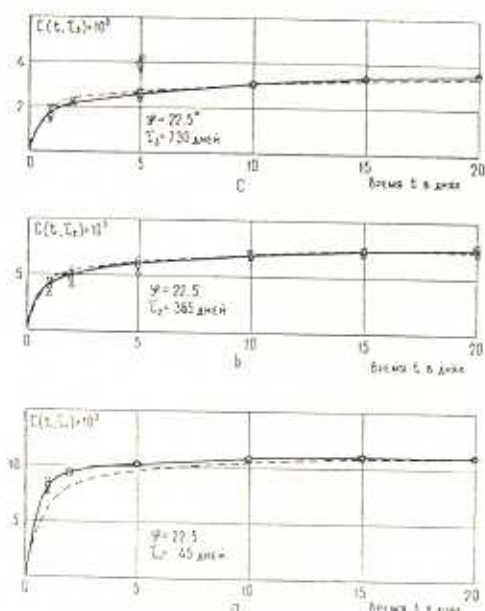
Принимая, что зависимость между относительными напряжениями и деформациями ползучести, независимо от возраста материала, ли-

нейная (для напряжений $0.3-0.6 \sigma_u$), согласно работе [1], для деформации ползучести будем иметь

$$\varepsilon_n(t) = C(t, \tau)(\sigma - b), \quad (7)$$

где b — расстояние от начала координат до точки пересечения прямой с осью относительных напряжений (заметим, что b меняется во времени).

Насколько допустимо применение формулы (7) для указанных случаев показывают фиг. 4 и табл. 2, где приведены значения $C(t, \tau)$, полученные на основе экспериментов и формулы (7). Как видно из приведенных данных, отклонения отдельных значений от среднего незначительны, следовательно, принятие нами линейной зависимости между относительными напряжениями и деформациями ползучести образцов в возрасте $\tau = 365$ и 730 дней вполне допустимо.



Фиг. 4.

Как и в случае ориентации образцов вдоль стекловолокон, для меры ползучести примем выражение (3).

Экспериментально установлено, что выражение (4) для функции, учитывающее старение, найденное для образцов нулевой ориентации, также хорошо описывает влияние старения на образцы с ориентацией $\varphi = 22.5^\circ$ и 45° , хотя экспериментальные значения функции имеют некоторое отклонение от прямолинейности.

Таким образом, для деформации ползучести получим

$$\varepsilon_n(t) = [A - B(\tau - \tau_0)] \{1 - [a_1 e^{-\gamma_1(t-\tau)} + a_2 e^{-\gamma_2(t-\tau)}]\} (\sigma - b). \quad (8)$$

На фиг. 2 и 3 приведены экспериментальные и теоретические кривые ползучести СВМ 1:1 при $\varphi = 22.5^\circ$ и 45° .

Таблица 2

Значения меры ползучести по функции $\theta(\tau)$ для образцов с ориентацией $\varphi=45^\circ$

τ в днях	t в днях	$C(t, \tau) \cdot 10^3$				$C(t, \tau)^2 \cdot 10^3$	$C(t, \tau)^3 \cdot 10^3$	$\theta(\tau) \cdot 10^3$
		σ_1 в кг/см ²						
		319	426	532	638			
45	1	13.4	13.2	13.1	13.5	13.3	13.4	19.2
	2	15.1	15.0	15.2	15.2			
	5	17.0	16.8	17.0	17.0			
	10	18.1	18.0	18.2	18.1			
	15	18.9	18.7	18.3	18.8			
	20	19.1	18.9	19.1	19.0			
365	1	10.1	10.0	10.0	10.1	10.1	10.1	14.45
	2	11.8	11.7	11.8	11.8			
	5	12.8	12.7	12.9	12.8			
	10	13.5	13.4	13.6	13.5			
	15	14.0	13.9	14.0	14.0			
	20	14.3	14.2	14.2	14.2			
730	1	6.3	6.37	6.4	6.37	6.36	6.32	9.03
	2	7.5	7.4	7.4	7.51			
	5	8.1	8.05	8.0	8.1			
	10	8.6	8.5	8.5	8.6			
	15	8.97	8.8	8.8	8.94			
	20	9.17	9.05	9.05	9.12			

 $C(t, \tau)^1$ — экспериментальные значения меры ползучести. $C(t, \tau)^2$ — среднее от экспериментальных значений. $C(t, \tau)^3$ — теоретическое значение по формуле (10).

Внося значения постоянных A, B, a_1, a_2, γ_1 и γ_2 в (8), для описания деформации ползучести получим следующие выражения: при $\varphi = 22.5^\circ$

$$\varepsilon_n(t) = [11.4 \cdot 10^{-3} - 11.8 \cdot 10^{-6}(\tau - \tau_0)] \{1 - [0.3 e^{-0.125(t-\tau)} + 0.7 e^{-1.33(t-\tau)}]\} (\tau - b), \quad (9)$$

при $\varphi = 45^\circ$

$$\varepsilon_n(t) = [19.2 \cdot 10^{-3} - 14.85 \cdot 10^{-6}(\tau - \tau_0)] \{1 - [0.2 e^{-0.13(t-\tau)} + 0.8 e^{-1.86(t-\tau)}]\} (\tau - b). \quad (10)$$

В формулах (9) и (10) $\tau_0 = 45$ дней, а b определяется из уравнения прямых, приведенных на левой стороне фиг. 2 и 3. Значения b при $\varphi = 22.5^\circ$ и 45° даны в табл. 3.

Сравнение кривых ползучести на фиг. 1, 2, 3 показывает, что формулы (6), (9) и (10), основанные на началах теории вязко-упругого тела, позволяют вполне удовлетворительно описать ползучесть стареющего во времени стеклопластика СВМ 1:1 при разных ориентациях волокон, в диапазоне возрастов материала $\tau = 45-730$ дней.

Институт математики и механики

АН Армянской ССР

Поступила 3 VI 1966

4 Известия АН Арм. ССР, Механика, № 6

Таблица 3

Значения b при ориентации волокон $\varphi = 22.5^\circ$ и 45°

Возраст ма- териала τ в днях	Длительность загрузки t — в днях																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
45	22.5	3.99	3.85	3.79	3.73	3.68	3.65	3.63	3.61	3.58	3.56	3.53	3.52	3.51	3.49	3.48	3.46	3.45	3.43	3.40	3.39
	45	2.63	2.51	2.44	2.39	2.29	2.25	2.22	2.20	2.16	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.02	2.00	1.99	1.98	1.97
365	22.5	4.03	4.02	4.02	4.03	4.04	4.03	4.03	4.03	4.02	4.02	4.02	4.01	4.01	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99
	45	3.02	2.96	2.94	2.92	2.91	2.89	2.87	2.85	2.83	2.83	2.82	2.81	2.80	2.80	2.79	2.79	2.78	2.78	2.77	2.77
730	22.5	3.93	3.88	3.87	3.85	3.84	3.84	3.85	3.82	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.85	3.83	3.84	3.84	3.83	3.84
	45	3.13	3.09	3.07	3.04	3.03	3.01	2.99	2.98	2.96	2.94	2.93	2.92	2.91	2.91	2.9	2.89	2.9	2.89	2.89	2.89

Մ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍԻԱՆ

«СВАМ» 1:1 ԱՊԱԿԵՊԼԱՍՏԻ ՍՈՂՔԻ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒՄԸ
ԱՌԱՋԳԼ-ՍՈՂՔԱՅԻՆ ԲԱՐՄԵՆԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հորվածում բերված են «СВАМ» տիպի ապակեպլաստի սողքի փորձնափան հետազոտությունների արդյունքները՝ նյութի հրեք տարրեր հասակների համար (45, 365 և 730 օր): Սողքի փորձնական կորերի անալիտիկ ներկայացման համար բնարված է առաջա-սողքային մարմնի տեսությունը:

Տեսական և փորձնական կորերի համեմատությունը ցույց է տալիս, որ «СВАМ» ապակեպլաստի սողքը մեծ ճշտությամբ կարելի է նկարագրել առաջա-սողքային մարմնի տեսության միջոցով:

M. M. MARTIROSIAN

THE DESCRIPTION OF CREEP OF FIBRE GLASS CBAM 1:1
WITH THE HELP OF THE THEORY OF ELASTIC-CREEP
OF THE BODY

S u m m a r y

The results of experimental investigations of creep of fibre glass for three ages have been studied in this paper.

For the description of experimental curves having under consideration age the theory of the elastic-creep of the body is adapted.

It has been established that the given method describes the results of the experiment quite perfectly.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мартиросян М. М. Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 18, № 3, 1955, 74.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехиздат, М.—Л., 1952.
3. Работнов Ю. Н. Некоторые вопросы теории ползучести. Вестник МГУ, № 10, 1948.
4. Мартиросян М. М. Механика полимеров, № 6, 1965.