

ПРОЧНОСТНОЙ ПРЕДЕЛ ПОЛЗУЧЕСТИ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

Одинокова О.А.

УО «Тихоокеанский государственный институт», Хабаровск

Для большинства вязкоупругих материалов, работающих в жестких силовых конструкциях, деформируемость становится наиболее важным фактором, определяющим эксплуатационные показатели. В таких случаях величина расчетных напряжений лимитируется деформационными свойствами.

Так известный по ГОСТ 3248-81 [1] способ определяет предел ползучести материала σ_0 в зависимости от эксплуатационных характеристик конструкции: необходимого времени действия нагрузки t_0 и величины предельно допустимой деформации ε_0 или скорости ползучести $\dot{\varepsilon}_0$. ГОСТ 18197-84 содержит аналогичное определение условной (деформационной) долговременной прочности [2]. Определенный таким образом предел ползучести носит конструктивный характер и не отражает состояния самого материала на момент достижения σ_0 , так как в установленных указанным ГОСТом ограничениях он может претерпевать опасные с точки зрения прочности изменения.

Предел ползучести по ГОСТ 3248-81 получают на основе испытаний материала на ползучесть при растяжении. Но в практике эксплуатации конструкций обращает на себя внимание тот факт, что деформируемость одного и того же материала под воздействием растягивающих и равных им сжимающих усилий не одинакова. Вероятно, во всех телах процесс сжатия происходит не идентично процессу растяжения, хотя проявляется это для отдельных материалов в разной степени.

Для большинства традиционных материалов при сравнительно небольших деформациях можно приближенно считать диаграммы растяжения и сжатия совпадающими. Однако в полимерных материалах сжимающие или растягивающие напряжения по-разному отражаются на межмолекулярных взаимодействиях, определяющих деформационные свойства полимера, поэтому механические характеристики при растяжении и сжатии для них различны как по численным значениям, так и физическому смыслу. Это различие усиливается с ростом напряжения.

В настоящей работе – исследуется деформируемость полимерных материалов при растяжении-сжатии под воздействием именно малых напряжений, имеющих место в реальных условиях эксплуатации.

Экспериментальное исследование такого рода сопряжено с большими трудностями, так как, рассматривая малые деформации, необходимо обеспечить высокую чистоту опыта, чтобы в погрешности сравнительных испытаний не потерять различие свойств материала при воздействии на него растягивающих или сжимающих напряжений. Это потребовало создания нового технического оснащения эксперимента. Использование реверсора специальной конструкции [3,4] обеспечивает выполнение указанных выше требований.

В рамках теории старения, на основе изохронных кривых, введенных Ю. Н. Работновым [5], получен критерий оценки несущей способности вязкоупругого материала. Согласно ГОСТ 3248-81 и 18197-84 такие изохронные кривые строят в координатах $\sigma - \varepsilon$, в предлагаемом методе [6] – в полу-

относительных координатах $\sigma - \left(\frac{\varepsilon^+}{\varepsilon^-}\right)$, где отношение

$$\frac{\varepsilon^+}{\varepsilon^-} = \frac{E^-}{E^+} = R, \quad (1)$$

при этом $\sigma^+ = -\sigma^-$. В выражении (1) R является функцией разномодульности, с введением которой стало возможно на ранней стадии выявить потерю несущей способности материала. E^- и E^+ – длительные модули сжатия и растяжения.

Для проверки состояния материала в исследуемом диапазоне времени, температур и напряжений необходимо провести испытания на ползучесть, как при растяжении, так и при сжатии, по результатам которых определяется зависимость

$$R = f(\sigma, T, t). \quad (2)$$

Аппроксимация функции разномодульности произведена на основе метода наименьших квадратов.

Рассмотрим краевую задачу, описываемую внутри области V уравнением $2m$ -го порядка

$$L^{(2m)}[F(\sigma, T, t)] = R_1(\sigma, T, t) \in V \quad (3)$$

при краевых условиях

$$Q_j[F(\sigma, T, t)] = R_j(\sigma, T, t) \in S, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Выражение для искомой функции $F(\sigma, T, t)$ задаем в виде:

$$F(\sigma, T, t) = \sum_{k=1}^N A_k \cdot \varphi_k(\sigma, T, t), \quad (5)$$

где A_k – неизвестные параметры, подлежащие определению; $\varphi_k(\sigma, T, t)$ – система линейно независимых функций, удовлетворяющая условию полноты.

Выбираем определенное число точек коллокации (узлов интерполяции) N_1 внутри области V и N_2 – на ее поверхности S . Важно при этом подчеркнуть, что число этих точек должно удовлетворять неравенству:

$$N_1 + mN_2 > N. \quad (6)$$

Задача состоит в том, чтобы найти такие значения A_k , которые будут удовлетворять уравнениям (3) – (5) наилучшим образом, то есть найти наиболее вероятные значения неизвестных параметров, которые будут тем более близки к истинным, чем большее число наблюдений.

Поэтому точность решения повышается как с увеличением числа N неизвестных параметров A_k в выражении (5), так и с относительным ростом левой части неравенства (6).

Подставляя выражение (5) в дифференциальное уравнение (3) и краевые условия (4), получаем определенную невязку в каждой точке коллокации ($i = 1, 2, \dots, N_1 + N_2$).

$$\begin{aligned} \Delta_i &= L^{(2m)} \left[\sum_{k=1}^N A_k \cdot \varphi_k(\sigma_i, T_i, t_i) - R_i(\sigma_i, T_i, t_i) \right], \\ & \quad i = 1, 2, \dots, N_1 \\ \delta_{ij} &= Q_j \left[\sum_{k=1}^N A_k \cdot \varphi_k(\sigma_i, T_i, t_i) - R_j(\sigma_i, T_i, t_i) \right], \\ & \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad i = N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N_1 + N_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Суммарная квадратичная погрешность при удовлетворении уравнений (3) и (4) по всем точкам коллокации определится по формуле:

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^{N_1} (\Delta_i)^2 + \sum_{i=N_1+1}^{N_1+N_2} \sum_{j=1}^m (\delta_{ij})^2 \quad (8)$$

Полученное выражение (8) является сложной функцией неизвестных параметров A_k ($k = 1, 2, \dots, N$).

Из условия минимума суммарной квадратичной погрешности получаем систему алгебраических уравнений относительно параметров A_1, A_2, \dots, A_k :

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial A_k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (9)$$

При постоянных значениях температуры и времени функцию разномодульности согласно (5) можно представить в виде:

$$F(\sigma) = \sum_{k=0}^m A_k \cdot \sigma^k, \quad (10)$$

где параметры $A_k = f(T, t)$ отражают термовязкоупругие свойства материала. Они могут быть определены из данных эксперимента на ползучесть при одноосном растяжении – сжатии нагрузкой, постоянной во времени. Для изотермического процесса изохронные зависимости $R = f(\sigma)$ имеют тенденцию к росту с увеличением напряжения, при этом

$$R(0) = 1$$

Условие (9) может быть представлено следующим выражением

$$\sum_{j=1}^n (R_j - F(\sigma_j)) \frac{\partial F(\sigma_j)}{\partial A_k} = 0, \quad (11)$$

где n - число точек коллокации (число измерений).

С учетом (10) после несложных преобразований получим:

$$\sum_{k=0}^m A_k \sum_{j=1}^n \sigma_j^{k+i} = \sum_{j=1}^n R_j \cdot \sigma_j^i, \quad (12)$$

$$i = 0, 1, \dots, m; m + 1 < n.$$

Выражение (12) представляет собой систему алгебраических линейных уравнений. Матрица этой системы симметрична относительно главной диагонали, а система линейно независимых функций в выражении (5) принимает вид:

$$\varphi_0(\sigma) = 1; \varphi_1(\sigma) = \sigma; \varphi_2(\sigma) = \sigma^2; \dots, \varphi_m(\sigma) = \sigma^m, \quad (13)$$

Тогда система уравнений (12) запишется следующим образом:

$$nA_0 + A_1 \sum_{j=1}^n \sigma_j + A_2 \sum_{j=1}^n \sigma_j^2 + \dots + A_m \sum_{j=1}^n \sigma_j^m = \sum_{j=1}^n R_j,$$

$$A_0 \sum_{j=1}^n \sigma_j + A_1 \sum_{j=1}^n \sigma_j^2 + A_2 \sum_{j=1}^n \sigma_j^3 + \dots + A_m \sum_{j=1}^n \sigma_j^{m+1} = \sum_{j=1}^n R_j \sigma_j,$$

.....

$$A_0 \sum_{j=1}^n \sigma_j^m + A_1 \sum_{j=1}^n \sigma_j^{m+1} + A_2 \sum_{j=1}^n \sigma_j^{m+2} + \dots + A_m \sum_{j=1}^n \sigma_j^{2m} = \sum_{j=1}^n R_j \sigma_j^m.$$

В ограничениях, заложенных в ГОСТ 3248-81, то есть при $T = T_0$ и $t = t_0$ $F(\sigma)$ может иметь максимумы, точки перегиба или вовсе не иметь таковых. Максимум R означает начало потери несущей способности при сжатии, вторая точка перегиба – при растяжении, и соответствующие напряжения должны быть приняты за опасные ($\sigma_{пр}$).

Следовательно, предельное напряжение при сжатии определяется как наименьший положительный корень уравнения (рис. 1)

$$\sum_{k=1}^m k A_k \sigma_{пр}^{k-1} = 0, \quad (15)$$

а при растяжении – как второй положительный корень уравнения (рис. 2)

$$\sum_{k=2}^m k(k-1) A_k \sigma_{пр}^{k-2} = 0. \quad (16)$$

Соотношения (15) и (16) являются математическим выражением предложенного нами определения прочностного предела ползучести. Приведенный выше метод его определения основан на результатах испытания материала в условиях ползучести при растяжении и сжатии, поэтому рассмотренный метод не требует экспериментальной проверки, как многие критерии пластичности или хрупкого разрушения, основанные на принятых гипотезах об условиях перехода к опасному состоянию [7]. В этом смысле предлагаемый способ определения предела ползучести, как и известный критерий Мора, является феноменологическим и естественным образом отражает реальные свойства исследуемого материала.

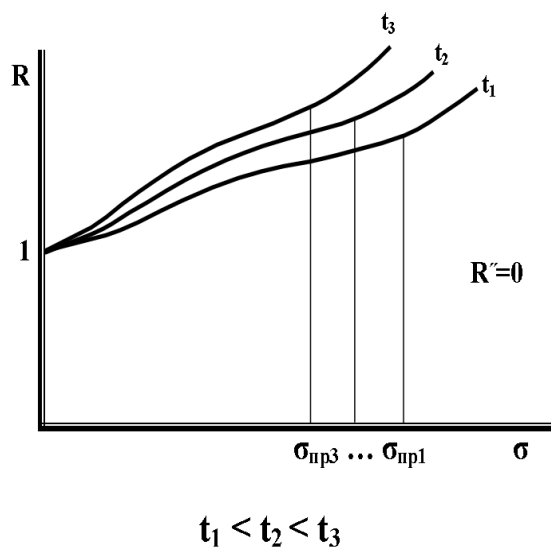


Рисунок 1 – Предельные напряжения при растяжении

Следует заметить, что при наличии указанных выше характерных точек на кривой разномодульности R , кривые ползучести, как при растяжении, так и при сжатии носят монотонно возрастающий характер и сами по себе не несут видимых признаков ухудшения механических свойств материала.

Из анализа кривых $R(\sigma)$ установлено, что с увеличением длительности действия нагрузки максимум или вторая точка перегиба смещается в сторону малых значений напряжений, то есть величина предельного напряжения уменьшается.

В общем случае $\sigma_{пр}$ зависит от температуры и времени действия напряжения и, следовательно, образует поверхность предельных напряжений. Таким образом, предлагаемый метод позволяет диагностировать потерю несущей способности вязкоупругого материала в ранней стадии, когда другие методы не в состоянии это сделать. Опасное напряжение $\sigma_{оп}$ можно определить, задавшись расчетным временем нагрузки t_0 . Меньшее из значений σ_0 (по ГОСТ 3248-81) или $\sigma_{пр}$ следует принять за опасное напряжение.

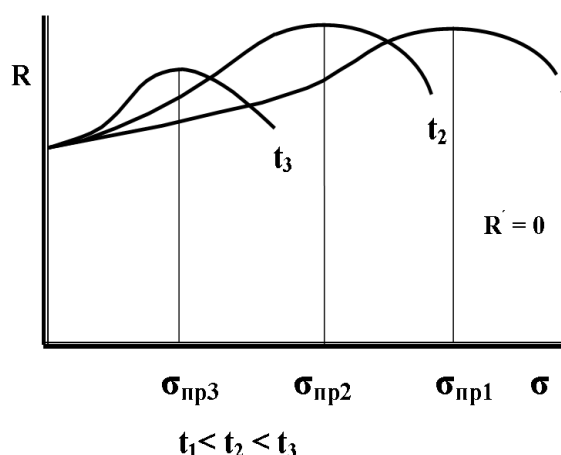


Рисунок 2 – Предельные напряжения при сжатии

Пример конкретного выполнения способа определения предела ползучести. Проводились испытания цилиндрических образцов капролона ($\varnothing 12 \times 120$ мм.), армированного стеклотканью, вырезанных по направлению основы (КСТ). Наибольшее напряжение опыта $\sigma_{max} = \sigma_0 = 51.3$ МПа, которое принято за σ_0 . Испытание образцов производилось в растяжной машине рычажного типа, позволяющей производить мгновенное нагружение постоянной силой. Смена режимов нагружения с растяжения на сжатие осуществлялось при помощи реверсора [3]. Результаты испытаний для $t = 0.25$ мин сведены в таблицу 1.

Каждый образец испытывался в условиях постоянной температуры (293К) на растяжение, значение минимальной нагрузки 1кН, что соответствовало напряжению $\sigma = 8.85$ МПа, длительность испытания – 64 мин.

В качестве аппроксимирующего уравнения принят пяти параметрический многочлен четвертого порядка:

$$F(\sigma) = A_0 + A_1 \sigma + A_2 \sigma^2 + A_3 \sigma^3 + A_4 \sigma^4$$

При этом $k = 5$, $m = 4$, а число точек коллокации $n = 7$.

Таблица 1 – Результаты механических испытаний армированного капролона ($t=0.25$ мин. $T=293$ К)

Напряжения, МПа	8.85	17.7	26.55	35.4	44.25	53.1
$\varepsilon^-, \%$	0.079	0.167	0.260	0.374	0.467	0.561
$\varepsilon^+, \%$	0.087	0.188	0.313	0.430	0.493	0.552
R	1.0986	1.1216	1.2057	1.1506	1.0560	0.9840

Результаты расчета согласно (16), представленные в таблице 2, позволили составить систему уравнений:

$$M \times A = V,$$

то есть:

$$\begin{bmatrix} 7 & 1.859 \times 10^2 & 7.127 \times 10^3 & 3.057 \times 10^5 & 1.396 \times 10^7 \\ 1.859 \times 10^2 & 7.127 \times 10^3 & 3.057 \times 10^5 & 1.396 \times 10^7 & 6.624 \times 10^8 \\ 7.127 \times 10^3 & 3.057 \times 10^5 & 1.396 \times 10^7 & 6.624 \times 10^8 & 3.228 \times 10^{10} \\ 3.057 \times 10^5 & 1.396 \times 10^7 & 6.624 \times 10^8 & 3.228 \times 10^{10} & 1.602 \times 10^{12} \\ 1.396 \times 10^7 & 6.624 \times 10^8 & 3.228 \times 10^{10} & 1.602 \times 10^{12} & 8.063 \times 10^{13} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.617 \\ 2.01 \times 10^2 \\ 7.571 \times 10^3 \\ 3.194 \times 10^5 \\ 1.439 \times 10^7 \end{bmatrix}$$

Таблица 2 – Определение коэффициентов для системы алгебраических уравнений.
Армированный капролон

Коэф- фициенты	Точки коллокации (число измерений). $T = 0.25 \text{ мин. } T = 293 \text{ К}$ $1 \leq j \leq n$							$\sum_{j=1}^7$
	1	2	3	4	5	6	7	
σ_j (МПа)	0	8.85	17.7	26.55	35.4	44.25	53.1	$1.859 \cdot 10^2$
σ_j^2	0	$7.832 \cdot 10^1$	$3.133 \cdot 10^2$	$7.049 \cdot 10^2$	$1.253 \cdot 10^3$	$1.958 \cdot 10^3$	$2.820 \cdot 10^3$	$7.127 \cdot 10^3$
σ_j^3	0	$6.932 \cdot 10^2$	$5.545 \cdot 10^3$	$1.872 \cdot 10^4$	$4.436 \cdot 10^4$	$8.664 \cdot 10^4$	$1.497 \cdot 10^5$	$3.057 \cdot 10^5$
σ_j^4	0	$6.134 \cdot 10^3$	$9.815 \cdot 10^4$	$4.969 \cdot 10^5$	$1.570 \cdot 10^6$	$3.834 \cdot 10^6$	$7.950 \cdot 10^6$	$1.396 \cdot 10^7$
σ_j^5	0	$5.429 \cdot 10^4$	$1.737 \cdot 10^6$	$1.319 \cdot 10^7$	$5.559 \cdot 10^7$	$1.696 \cdot 10^8$	$4.222 \cdot 10^8$	$6.624 \cdot 10^8$
σ_j^6	0	$4.805 \cdot 10^5$	$3.075 \cdot 10^7$	$3.503 \cdot 10^8$	$1.968 \cdot 10^9$	$7.507 \cdot 10^9$	$2.242 \cdot 10^{10}$	$3.228 \cdot 10^{10}$
σ_j^7	0	$4.252 \cdot 10^6$	$5.433 \cdot 10^8$	$9.299 \cdot 10^9$	$6.967 \cdot 10^{10}$	$3.322 \cdot 10^{11}$	$1.190 \cdot 10^{12}$	$1.602 \cdot 10^{12}$
σ_j^8	0	$3.763 \cdot 10^7$	$9.634 \cdot 10^9$	$2.469 \cdot 10^{11}$	$2.466 \cdot 10^{12}$	$1.470 \cdot 10^{13}$	$6.321 \cdot 10^{13}$	$8.063 \cdot 10^{13}$
R_j	1	1.0986	1.1216	1.2057	1.1506	1.0560	0.9840	7.617
$R_j \sigma_j$	0	9.7226	19.852	32.011	40.731	46.728	52.250	201.295
$R_j \sigma_j^2$	0	$8.605 \cdot 10^1$	$3.514 \cdot 10^2$	$8.499 \cdot 10^2$	$1.442 \cdot 10^3$	$2.068 \cdot 10^3$	$2.774 \cdot 10^3$	$7.571 \cdot 10^3$
$R_j \sigma_j^3$	0	$7.615 \cdot 10^2$	$6.220 \cdot 10^3$	$2.257 \cdot 10^4$	$5.104 \cdot 10^4$	$9.150 \cdot 10^4$	$1.473 \cdot 10^5$	$3.194 \cdot 10^5$
$R_j \sigma_j^4$	0	$6.739 \cdot 10^3$	$1.101 \cdot 10^5$	$5.991 \cdot 10^5$	$1.807 \cdot 10^6$	$4.049 \cdot 10^6$	$7.823 \cdot 10^6$	$1.439 \cdot 10^7$
$F(\sigma_j)$	1.031	1.0774	1.1243	1.1572	1.1475	1.0839	0.9566	

Решение этой системы дает следующие результаты:

параметры функции разномодульности равны: $A_k = \begin{bmatrix} 1.031 \\ 0.004 \\ 2.035 \cdot 10^{-4} \\ -7.448 \cdot 10^{-6} \\ 3.201 \cdot 10^{-8} \end{bmatrix}$ – функция разномодуль-

сти принимает вид:

$$F(\sigma) = 1.031 + 0.004 \sigma + 2.035 \cdot 10^{-4} \sigma^2 - 7.448 \cdot 10^{-6} \sigma^3 + 3.201 \cdot 10^{-8} \sigma^4.$$

Исследуем R на экстремум и точку перегиба. Равенство нулю первой производной:

$$F'(\sigma) = 0.004 + 4.07 \cdot 10^{-4} \sigma - 2.234 \cdot 10^{-5} \sigma^2 + 1.280 \cdot 10^{-7} \sigma^3 = 0$$

определяет предел ползучести при сжатии. Корни этого уравнения равны:

$$\sigma_1 = -7.017 \text{ МПа}, \quad \sigma_2 = 29.237 \text{ МПа} \quad \text{и} \quad \sigma_3 = 152.288 \text{ МПа}.$$

Первый отрицательный корень не может определять предельное напряжение как не имеющий смысла. Третий корень должен быть отброшен, так как $\sigma_3 > \sigma_0$. Вторым корнем уравнения $R'(\sigma) = 0$ положителен и меньше, чем σ_0 . С переходом напряжения через значение 29.237 МПа R' меняет знак с положительного на отрицательный. При $\sigma = 26$ МПа $R' = +1.73 \cdot 10^{-3}$, а при $\sigma = 32$ МПа $R' = -1.658 \cdot 10^{-3}$.

Вторая производная дает уравнение:

$$R'' = 4.07 \cdot 10^{-4} - 44.688 \cdot 10^{-6} \sigma + 38.412 \cdot 10^{-8} \sigma^2 = 0,$$

корни которого равны: $\sigma_1 = 9.96$ МПа, $\sigma_2 = 106.378$ МПа.

Первый положительный корень отражает естественный ход функции разномодульности, а второй – превышает σ_0 , поэтому ни один из них не может быть принят за опасное.

Следовательно, опасным должно быть принято напряжение, равное 29.237 МПа, как наименьшее из значений σ_0 и $\sigma_{пр}$.

При увеличении времени действия напряжения до 8 минут величина опасного напряжения уменьшается до 18.982 МПа, при этом матрица M останется без изменения, а составляющие вектора V подсчитаны в таблице 3

Таблица 3 – Определение коэффициентов вектора V_1 ($T = 293\text{K}$, $t = 8$ мин.)
Армированный капролон

Коэффициенты	Точки коллокации $1 \leq j \leq n$							$\sum_{n=1}^7$
	1	2	3	4	5	6	7	
σ_j (МПа)	0	8.85	17.7	26.55	35.4	44.25	53.1	$1.859 \cdot 10^2$
R_j	1	1.122	1.210	1.206	1.020	0.800	0.625	6.983
$R_j \sigma_j$	0	9.9297	21.417	32.019	36.108	35.400	33.188	168.06
$R_j \sigma_j^2$	0	87.878	379.081	850.11	$1.278 \cdot 10^3$	$1.566 \cdot 10^3$	$1.762 \cdot 10^3$	$5.923 \cdot 10^3$
$R_j \sigma_j^3$	0	777.72	$6.71 \cdot 10^3$	$2.257 \cdot 10^4$	$4.525 \cdot 10^4$	$6.932 \cdot 10^4$	$9.358 \cdot 10^4$	$2.382 \cdot 10^5$
$R_j \sigma_j^4$	0	6882.81	$1.188 \cdot 10^5$	$5.992 \cdot 10^5$	$1.602 \cdot 10^6$	$3.067 \cdot 10^6$	$4.969 \cdot 10^6$	$1.036 \cdot 10^7$
$F(\sigma_j)$	0.972	1.1472	1.231	1.1823	1.0139	0.7897	0.6261	

Вектор свободных членов уравнений: $V_1 = \begin{bmatrix} 6.983 \\ 168.06 \\ 5.92310^3 \\ 2.38210^5 \\ 1.03610^7 \end{bmatrix}$

Решение системы алгебраических уравнений $M \times A_k = V_1$ дает вектор параметров функции раз-

номодульности A_k : $A_k = \begin{bmatrix} 0.972 \\ 0.022 \\ -2.421 \cdot 10^{-5} \\ -2.847 \cdot 10^{-5} \\ 3.543 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}$

Функция разномодульности и ее производные принимают вид:

$$R(\sigma) = 0.972 + 0.022\sigma - 2.421 \cdot 10^{-5} \sigma^2 - 2.847 \cdot 10^{-5} \sigma^3 + 3.543 \cdot 10^{-7} \sigma^4$$

$$R'(\sigma) = 0.022 - 4.842 \cdot 10^{-5} \sigma - 8.541 \cdot 10^{-5} \sigma^2 + 1.4172 \cdot 10^{-6} \sigma^3$$

$$R'' = -4.842 \cdot 10^{-5} - 1.7082 \cdot 10^{-4} \sigma + 4.2516 \cdot 10^{-6} \sigma^2$$

Корни уравнения $R'(\sigma) = 0$ равны:

$$\sigma_1 = -14.627 \text{ МПа}, \sigma_2 = 18.982 \text{ МПа} \text{ и } \sigma_3 = 55.912 \text{ МПа}.$$

Корни уравнения $R''(\sigma) = 0$ равны:

$$\sigma_1 = -0.281 \text{ МПа}, \sigma_2 = 40.159 \text{ МПа}.$$

Анализ полученных результатов показывает, что за опасные напряжения должна быть принята величина $\sigma_{пр} = 18.982$ МПа, как наименьшее значение из σ_0 и $\sigma_{пр}$.

Резюме

На уровне изобретения предлагается метод определения на ранней стадии момента потери несущей способности вязкоупругого материала, различного при растяжении и сжатии. Метод основан на комплексном исследовании процессов деформирования материала в условиях растяжения – сжатия и заключается в определении предельного напряжения $\sigma_{пр}$, величина которого зависит от времени его действия. С увеличением действия нагрузки величина $\sigma_{пр}$ смещается в сторону малых значений напряжений.

Литература

1. ГОСТ 3248-81. Металлы. Метод испытания на ползучесть. - М.: ГК СССР по стандартам. 1981. - 9 с.
2. ГОСТ 18197-72. Пластмассы. Метод испытания на ползучесть при растяжении при постоянной нагрузке. - М.: ГК СССР по стандартам. 1984. - 10 с.
3. Одиноква О.А., Мелентьев П.В. / Заводская лаборатория. 1972. Т.38. № 5. С. 109-110.
4. Одиноква А.В., Одиноква О.А. / Заводская лаборатория. 1986. Т. 52. № 6. С. 82-83.
5. Работнов Ю.Н. / Изв. АН СССР. Отд. техн. наук. 1948. № 6. С. 789-800.
6. А.с. 890132 СССР. Способ определения характеристик ползучести образцов материалов. / О.А.Одиноква, Ю.М.Даниловский // Открытия. Изобретения. 1981. № 46. С. 212.
7. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. - М.: Наука, 1974. - 560 с.

Summary

At the level of the invention, a method for determining the early time of the loss of bearing capacity of the viscoelastic material, different in tension and compression that occurred. The method is based on a comprehensive study of the processes of deformation of the material under tension - compression and is determining σ_{pr} stress limit, which depends on the time of action. With the increase of the load value σ_{pr} shifted toward smaller values σ_{pr} of voltage.

Поступила в редакцию 05.11.2012