

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 132.135

Е. В. Коробко, д-р техн. наук, профессор (ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси);
Н. А. Журавский, канд. физ.-мат. наук (ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси);
Н. А. Бедик (ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси);
А. А. Барташевич, академик РАЕН, профессор (БГТУ);
С. В. Шетько, канд. техн. наук, доцент (БГТУ)

ОЦЕНКА ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВЕСНЫХ МАСС

Определены временные характеристики реологических показателей древесных масс методами ступенчатого импульсного возмущения (долговременные характеристики) и гармонического возмущения (кратковременные характеристики). Рассчитаны основные коэффициенты, характеризующие податливость образца на нагружение и восстановлению, определена доля упругой податливости образца. Установлен статический предел текучести, полученный методами линейно возрастающих напряжений сдвига и деформаций.

Time characteristics of rheological parameters of wood pulps by methods of step pulse perturbation (long-term characteristics) and harmonious perturbation (short-term characteristics) are defined. The basic coefficients characterizing compliance of the sample to loading and to restoration are calculated, the part of an elastic compliance of the sample is defined. The static yield stress received by methods linearly increasing shear stress and strain is defined.

Введение. Временные характеристики реологических показателей древесных масс определялись такими нестационарными методами, как метод ступенчатого импульсного возмущения, позволяющий найти показатель ползучести (долговременные характеристики), и метод гармонического возмущения, позволяющий установить вязкоупругие свойства (кратковременные характеристики).

Функции ползучести, или, иначе, определение развития во времени деформации при постоянной нагрузке, удобны для описания поведения материала, обладающего как вязкими, так и упругими свойствами. Функция ползучести определяется соотношением:

$$\varphi(t) = \frac{\gamma(t)}{\tau}, \tau \rightarrow \tau_0, \quad (1)$$

где $\varphi(t)$ – измеряется в опытах непосредственно после приложения начального напряжения τ при $t = 0$. Основное ограничение экспериментов при импульсной форме возмущения заключается в том, что кратковременное поведение системы не проявляется отчетливо. Более точно динамические характеристики древесных масс определялись методом синусоидального возмущающего сигнала. Такой прием, известный под названием метода частотных характеристик, пригоден для изучения кратковременного поведения материалов, обладающих вязкоупругими свойствами.

Основная часть. Экспериментальное определение временных характеристик реологических показателей древесных масс проводилось с помощью реометра Anton Paar Physica MCR 301 (Австрия) с рабочим узлом соосно-цилиндрического типа. Исследуемая древесная масса помещалась в зазор между цилиндрами и подвергалась сдвигу при различных напряжениях.

На рис. 1, 2 представлены графики ползучести образца древесной массы. Измерения проводились в интервале приложенного напряжения 50–200 Па. Время проведения эксперимента составляло 180 с.

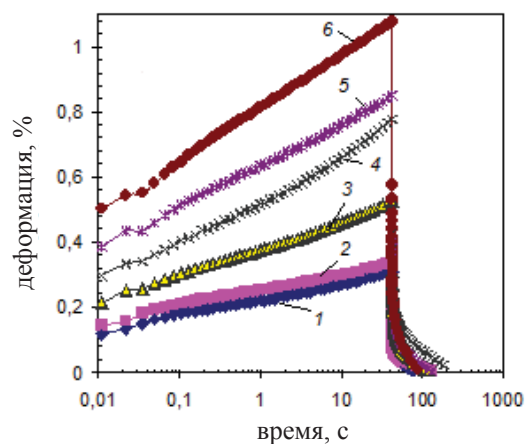


Рис. 1. График ползучести образца древесной массы: 1 – 50; 2 – 60; 3 – 80; 4 – 100; 5 – 120; 6 – 140 Па

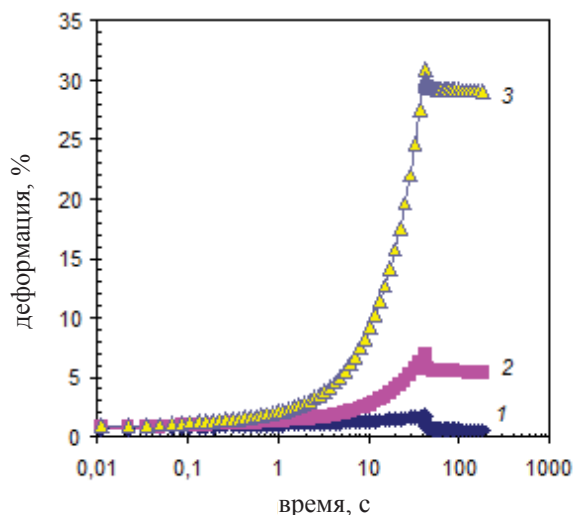


Рис. 2. График ползучести образца древесной массы:
1 – 160; 2 – 180; 3 – 200 Па

Полученные результаты временной зависимости деформации при различных значениях приложенного напряжения можно описать системой уравнений:

для податливости в фазе нагружения:

$$J = J_0 + \sum_{i=1}^3 J_i \cdot e^{-t/\lambda_i} + \frac{t}{\mu_0}; \quad (2)$$

для податливости в фазе восстановления:

$$J = J_{\max} - J_0 - \sum_{i=1}^3 J_i \cdot e^{-t/\lambda_i}; \quad (3)$$

**Параметры, входящие в состав уравнений (1)–(4) (податливость и времена запаздывания)
для образца древесной массы**

	Приложенное напряжение, Па								
	50	60	80	100	120	140	160	180	200
$J_{\max}, \text{Па}^{-1}$	$6,64 \cdot 10^{-5}$	$5,94 \cdot 10^{-5}$	$7,04 \cdot 10^{-5}$	$8,33 \cdot 10^{-5}$	$7,09 \cdot 10^{-5}$	$7,69 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$3,82 \cdot 10^{-4}$	$1,54 \cdot 10^{-3}$
$J_e/J_{\max}, \%$	97,22	95,28	93,19	95,07	97,55	97,87	68,01	20,4	5,34
В фазе нагружения									
$J_0, \text{Па}^{-1}$	$1,89 \cdot 10^{-5}$	$1,51 \cdot 10^{-5}$	$2,95 \cdot 10^{-5}$	$3,14 \cdot 10^{-5}$	$3,05 \cdot 10^{-5}$	$3,44 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-5}$	$3,76 \cdot 10^{-5}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$
$J_{m1}, \text{Па}^{-1}$	$9,78 \cdot 10^{-6}$	$80,1 \cdot 10^{-6}$	$9,49 \cdot 10^{-6}$	$1,32 \cdot 10^{-5}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$1,63 \cdot 10^{-5}$	$1,50 \cdot 10^{-5}$
$J_{m2}, \text{Па}^{-1}$	$6,99 \cdot 10^{-6}$	$7,30 \cdot 10^{-6}$	$5,68 \cdot 10^{-6}$	$7,39 \cdot 10^{-6}$	$9,42 \cdot 10^{-6}$	$9,92 \cdot 10^{-6}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$	$8,36 \cdot 10^{-6}$
$J_{m3}, \text{Па}^{-1}$	$1,52 \cdot 10^{-5}$	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,07 \cdot 10^{-5}$	$1,21 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$1,41 \cdot 10^{-5}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$
$\lambda_1, \text{с}$	2,83	2,65	3,73	3,80	5,47	5,34	5,45	7,89	18,7
$\lambda_2, \text{с}$	0,28	0,19	0,57	0,62	0,47	0,60	0,59	0,49	0,35
$\lambda_3, \text{с}$	0,03	0,02	0,09	0,09	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08
$\mu_0, \text{Па} \cdot \text{с}$	$3,07 \cdot 10^6$	$3,90 \cdot 10^6$	$3,11 \cdot 10^6$	$2,33 \cdot 10^6$	$5,62 \cdot 10^6$	$5,61 \cdot 10^6$	$1,08 \cdot 10^6$	$1,38 \cdot 10^5$	$3,11 \cdot 10^4$
В фазе восстановления									
$J_0, \text{Па}^{-1}$	$3,34 \cdot 10^{-5}$	$3,12 \cdot 10^{-5}$	$3,55 \cdot 10^{-5}$	$7,92 \cdot 10^{-5}$	$3,43 \cdot 10^{-5}$	$3,62 \cdot 10^{-5}$	$3,63 \cdot 10^{-5}$	$3,87 \cdot 10^{-5}$	$4,07 \cdot 10^{-5}$
$J_{m1}, \text{Па}^{-1}$	$8,31 \cdot 10^{-6}$	$6,15 \cdot 10^{-6}$	$9,12 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$7,94 \cdot 10^{-6}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$	$1,11 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-5}$
$J_{m2}, \text{Па}^{-1}$	$9,72 \cdot 10^{-6}$	$7,73 \cdot 10^{-6}$	$9,15 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$	$1,28 \cdot 10^{-5}$
$J_{m3}, \text{Па}^{-1}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$1,21 \cdot 10^{-5}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-5}$	$1,70 \cdot 10^{-5}$	$1,64 \cdot 10^{-5}$	$1,61 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-5}$
$\lambda_1, \text{с}$	28,0	20,3	13,4	45,3	28,2	20,4	13,1	11,8	12,0
$\lambda_2, \text{с}$	3,34	2,17	1,47	3,51	2,69	2,15	1,32	1,14	1,20
$\lambda_3, \text{с}$	0,16	0,10	0,11	0,19	0,14	0,14	0,11	0,10	0,11

максимальная податливость:

$$J_{\max} = J_e + J_v, \quad (4)$$

где J – податливость (в фазах нагружения или восстановления); J_0 – мгновенная податливость; J_i – коэффициент вязкоупругой податливости (податливость i -го элемента); t – время; λ_i – время запаздывания i -го элемента; μ_0 – вязкость; J_{\max} – максимальная податливость; J_e и J_v – упругая и вязкая податливость соответственно. Уравнения (2)–(4) являются более сложными по сравнению с уравнением [2], описывающим простую модель обобщенного фойгтговского тела. Они позволяют рассчитать податливость образца как в фазе нагружения, так и в фазе восстановления, а также определить долю упругой податливости по соотношению J_e/J_{\max} (в процентах). То есть определить, насколько образец восстановил свои свойства после приложенного нагружения. Анализ полученных экспериментальных зависимостей (рис. 1, 2) позволил определить основные коэффициенты, входящие в систему уравнений (1)–(4). Результаты представлены в таблице, из которой следует, что при достижении значений деформирующего напряжения свыше 140 Па начинает резко снижаться доля упругого восстановления системы и возрастает доля вязкой необратимой деформации. Эти процессы обуславливают снижение значений коэффициентов уравнений J_{\max} , J_{m2} , μ_0 и отношения J_e/J_{\max} при напряжении свыше 140 Па.

Результаты определения модулей накопления и модулей потерь образца древесной массы приведены на рис. 3, 4.

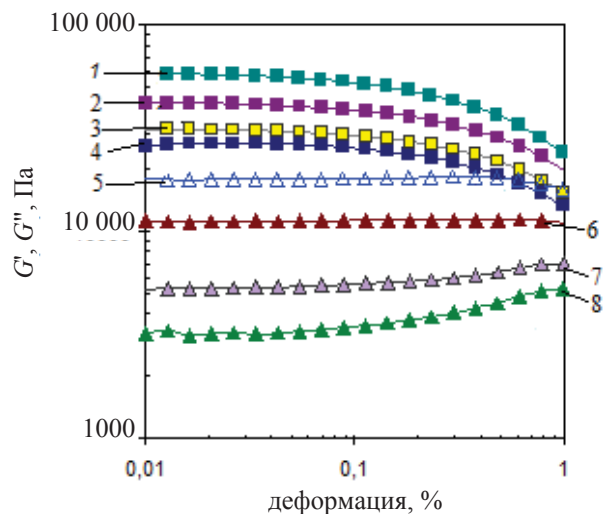


Рис. 3. Зависимость модулей накопления (кривые 1–4) и модулей потерь (кривые 5–8) от деформации при различных частотах деформации для образца древесной массы: 1 – 100; 2 – 10; 3 – 1; 4 – 0,1; 5 – 100; 6 – 10; 7 – 1; 8 – 0,1 Гц

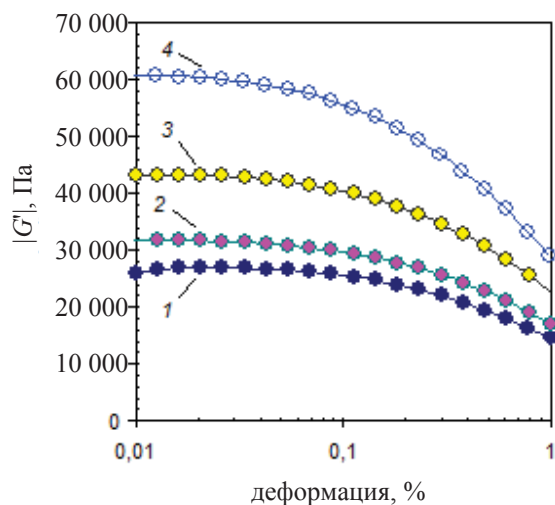


Рис. 4. Зависимость комплексного модуля упругости от деформации при различных частотах для образца древесной массы: 1 – 0,1; 2 – 1; 3 – 10; 4 – 100 Гц

На рис. 2 и 3 показано, что при достижении значений деформации свыше 0,11%, модули упругости снижаются на всех частотах, т. е. вязкие свойства начинают превалировать над упругими. Это примерно соответствует результатам по определению статического предела текучести (около 165 Па) данного образца (рис. 5), которые

были получены методами линейно возрастающего напряжения сдвига (кривая 1) и линейно возрастающей деформации (кривая 2).

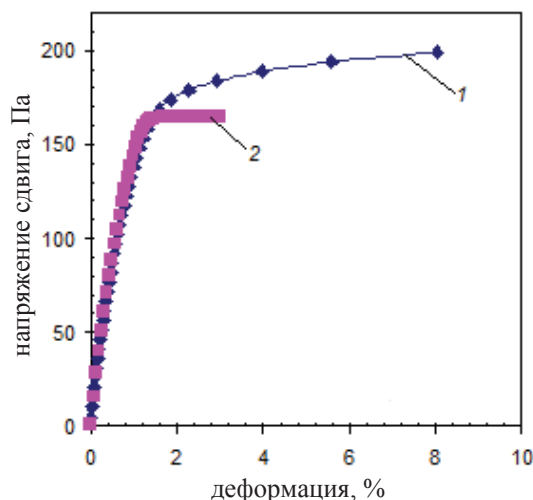


Рис. 5. Зависимость напряжения сдвига от деформации для образца древесной массы: 1 – данные получены методом роста напряжения; 2 – данные получены методом роста деформации

Заключение. Определены временные показатели древесной массы методом ступенчатого импульсного возмущения (долговременные характеристики) и методом гармонического возмущения (кратковременные характеристики), а также статический предел текучести, полученный методами линейно возрастающих напряжений сдвига и деформации.

Рассчитаны основные коэффициенты, характеризующие податливость образца на нагружение и восстановление и позволяющие определить долю упругой податливости, то есть насколько образец способен к восстановлению своих свойств после приложенного нагружения.

Установлено, что до 1% деформация является вязкоупругой (рис. 5). Свыше 1% развивается вязкопластичная деформация.

Полученные результаты могут быть использованы в целях оптимизации технологических процессов прессования и формования при изготовлении материалов на основе древесных масс.

Литература

1. Yemelyanov, D. N. The rheology of polymerization of vinyl monomers / D. N. Yemelyanov // Rheol. Acta. – 1982. – Vol. 21. – P. 280–287.
2. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости / У. Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

Поступила 01.04.2010