УДК 621.763:630*83

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Стородубцева Т.Н.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, e-mail: tamara-tns@yandex.ru

Изучен процесс ползучести древесного композиционного материала, в частности, при изгибе, наличие которой всегда сдерживала возможность применения композиционных материалов в несущих конструкциях. Рассмотрен этот процесс на примере образцов из древесного композиционного материала, погруженных в воду. Исследование процесса ползучести образцов при изгибе из композиционного материала, помещенных в воду. Экспериментальные и теоретические исследования разработки методики получения значений коэффициентов длительности и длительных деформационных коэффициентов на любой срок эксплуатации композиционного материала. Подтверждение гипотезы о практическом равенстве значения предела длительного сопротивления условному пределу пропорциональности.

Ключевые слова: древесина, деформации, прочность, композиционный материал, коэффициенты длительности

METHOD OF PRODUCING DEFORMATION COEFFICIENTS FOR SAMPLES FROM WOOD COMPOSITE MATERIAL

Storodubtseva T.N.

FGBOU VPO «Voronezh State Forestry Academy», Voronezh, e-mail: tamara-tns@yandex.ru

Process of creep of wood composite material is studied, in particular, at a bend which existence was always constrained by possibility of use of composite materials in the bearing designs. This process on the example of the samples of wood composite material shipped in water is considered. Research of process of creep of the samples at a bend from composite material placed in water. Pilot and theoretical studies of development of a technique of obtaining values of coefficients of duration and long deformation coefficients for any term of operation of composite material. Confirmation of a hypothesis of practical equality of value of a limit of long resistance to a conditional limit of proportionality.

Keywords: wood, deformations, durability, composite material, duration coefficients

Длительная прочность древесного стекловолокнистого композиционного материала базового состава, т.е. с заполнителем в виде щепы с длиной элементов 150…200 мм, изучалась на образцах-балках размерами 80´80´700 мм, подвергавшихся изгибающему действию двух сосредоточенных сил, симметрично приложенных в средней трети пролета и погруженных в воду.

Выбор этого варианта древесного композита обусловлен тем, что полученные данные можно было сравнить с результатами исследований на ползучесть аналогичных образцов, но при постоянных температуре и влажности [1].

Испытания проводили на созданном в ВГЛТА рычажном устройстве, которое позволяло создать зону чистого изгиба в средней части образца, где и проводились замеры прогибов индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм. Рычаги устройства позволяли увеличивать прикладываемую нагрузку в 40 раз. Методика установки индикатора и струбцины с площадкой, в которую упирался его шток, размеры пролета П-образной скобы и размеры, определяющие точки приложения нагрузки, были те же, что и при кратковременных испытаниях при проведении эксперимента по определению коэффициента стойкости древесного композита в воде [3], но без длительного приложения постоянной нагрузки.

За счет различных величин грузов устройство позволяло создавать в зоне чистого изгиба образца условные постоянные напряжения, составляющие определенные доли от среднего предела прочности при изгибе, равного 22,0 МПа, а именно нормальные напряжения составили (МПа): 16, 15, 14, 12, 11, 10, 9 и 8. Число образцов в серии для каждой ступени нагружения равнялось трем.

Немедленно после приложения нагрузки в середине зоны чистого изгиба образцов на базе 100 мм (пролет П-образной скобы) измеряли мгновенный, упругий прогиб и подсчитывали мгновенный модуль упругости – $E_{oi}^{мгн}$ (табл. 1).

Далее для построения кривых ползучести (рис. 1) через определенные промежутки времени снимали отсчеты с индикаторов и по величине прогиба подсчитывали секущие модули упругости (деформации) $E^{сек.чи.в}(t)$. В случае разрушения образца фиксировали величину его предела прочности на время t – $s^{сек.чи.в}(t)$. равного $s^{чи}$.

Таблица 1

Подсчет величин мгновенных модулей упругости древесного композита по величинам прогибов, замерявшихся при установке образцов-балок на исследование процесса ползучести при изгибе

Постоянное напряжение – $\sigma_{oi}^{чи}$, кгс/см^2 (МПа)	Мгновенный упругий прогиб – $f_{oi}^{чи}$, см	Значение мгновенного модуля упругости $E_{oi}^{чи.мгн.в}$, кг/см^2 (МПа)
σ_{01} = 160 (16)	0,00510	$E_{01}^{чи} = 0{,}98\cdot10^5(0.98\cdot10^4)$
σ_{02} = 150 (15)	0,00480	$E_{02}^{чи} = 0{,}98\cdot10^5(0{,}98\cdot10^4)$
σ_{03} = 140 (14)	0,00450	$E_{03}^{чи} = 0{,}97\cdot10^5(0{,}97\cdot10^4)$
σ_{04} = 120 (12)	0,00385	$E_{04}^{чи} = 0{,}98\cdot10^5(0{,}98\cdot10^4)$
σ_{05} = 110 (11)	0,00350	$E_{05}^{чи} = 0{,}98\cdot10^5(0{,}98\cdot10^4)$
σ_{06} = 100 (10)	0,00320	$E_{06}^{чи} = 0{,}98\cdot10^5(0{,}98\cdot10^4)$
σ_{07} = 90 (9)	0,00290	$E_{07}^{чи} = 0{,}97\cdot10^5(0{,}97\cdot10^4)$
σ_{08} =80(8) (теор.)	0,00265	$E_{08}^{чи} = 0{,}98\cdot10^5(0{,}98\cdot10^4)$
$\sigma_{кму}^{чи}$ =173(17,3)[1]	$f_y^п = 0{,}00550$	$E_{км}^{чи.мгн} = 0{,}98\cdot10^4$ МПа

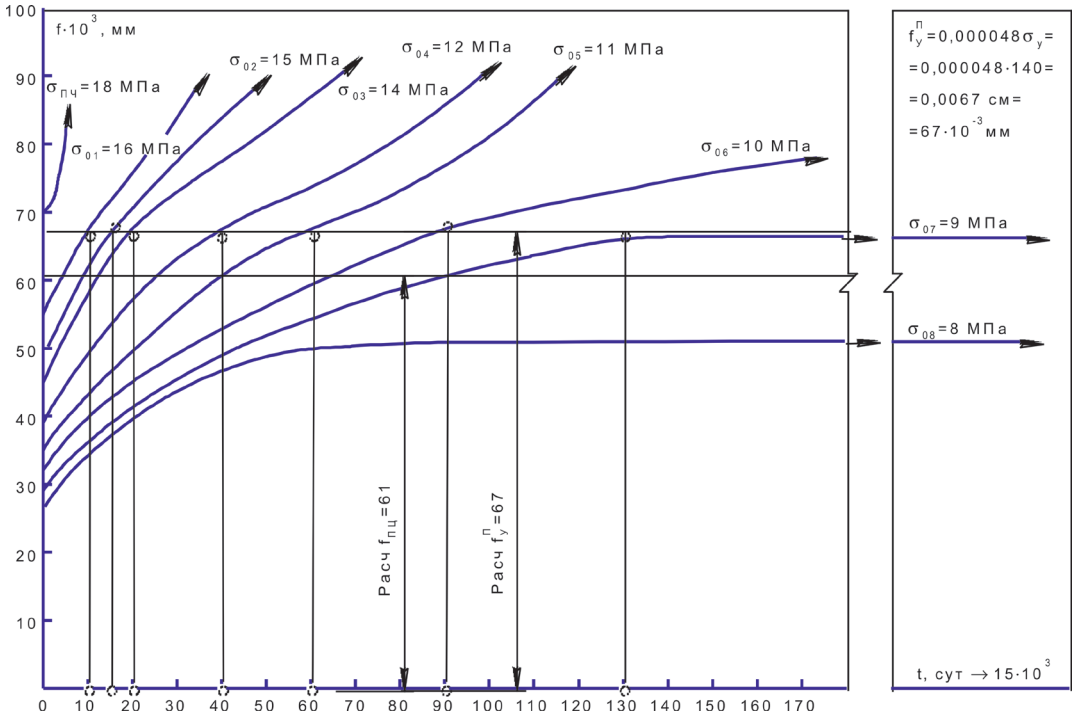

Рис. 1. Кривые ползучести образцов-балок из древесного композиционного материала, помещенных в воду

Конечной целью опытов было определение времени от момента загружения образца до его разрушения или до полного прекращения ползучести; построение кривых зависимости прочности и упругости древесного композита от времени (рис. 2, 3); фиксирование появления на них точек перегиба; получение величины предела длительного сопротивления $s^{чи.в}$ и величины длительного модуля деформации $E^{сек.чи.в}$ (табл. 2), являющихся фиксированными значениями этих величин на 260 сут. экспозиции в воде, а также теоретических значений тех же величин на конец данного срока эксплуатации шпал – 40·365 сут.; получение соответствующих минимальных коэффициентов длительности – $K^{чи.в}$ и длительного деформационного коэффициента – $n^{чи.в}$ [3, 4].

Ранее $K^{чи.в}$ и по кривым ползучести определяется лишь приближенно.

Действительно, если имеем кривые затухающей и нарастающей ползучести, то величина длительной прочности будет заключена между величинами постоянных напряжений двух образцов, один из которых разрушается, а другой дает кривую затухающей ползучести [2, 5, 7].

Более точно этот коэффициент может быть получен при построении графика зависимости постоянно действующих напряжений по времени появления на кривых ползучести точек перегиба (по методу, разработанному под руководством В.И. Харчевникова) [6].

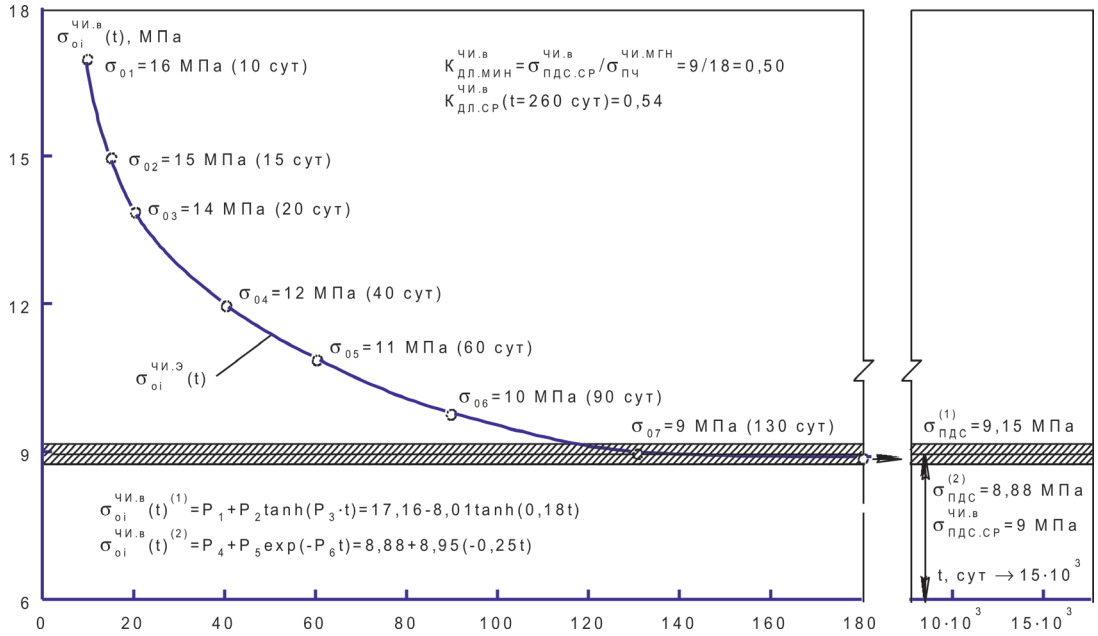

Рис. 2. График зависимости постоянно действующих напряжений при испытаниях образцов-балок из древесного композита, погруженных в воду, на ползучесть при чистом изгибе от времени появления на кривых точек перегиба (к методике определения предела длительного сопротивления)

Таблица 2

Подсчет величин секущих модулей деформаций древесного композита по данным испытаний образцов-балок на момент появления точки перегиба на кривых ползучести при изгибе (расчетная формула:

$$E^{сек.чи.в}_{oi.дл} = 3{,}125\sigma^{чи}_{oi} / f^{п}_{у} = 3{,}125\sigma^{чи}_{oi} / 0{,}0055 = 568{,}18 \cdot \sigma^{чи}_{oi})$$

Постоянное напряжение – $\sigma^{чи}_{oi}$, кгс/см² (МПа)	Время достижения полного упругого прогиба – $f^{п}_{у}$, сут	Значение мгновенного модуля упругости $E^{чи.мгн.в}_{oi}$, кгс/см² (МПа)
1	2	3
σ_{01} = 160 (16)	10	$E^{чи}_{01} = 0{,}91 \cdot 10^5 (0{,}91 \cdot 10^4)$
σ_{02} = 150 (15)	15	$E^{чи}_{02} = 0{,}85 \cdot 10^5 (0{,}85 \cdot 10^4)$
σ_{03} = 140 (14)	20	$E^{чи}_{03} = 0{,}80 \cdot 10^5 (0{,}80 \cdot 10^4)$
σ_{04} = 120 (12)	40	$E^{чи}_{04} = 0{,}68 \cdot 10^5 (0{,}68 \cdot 10^4)$
σ_{05} = 110 (11)	60	$E^{чи}_{05} = 0{,}63 \cdot 10^5 (0{,}63 \cdot 10^4)$
σ_{06} = 100 (10)	90	$E^{чи}_{06} = 0{,}57 \cdot 10^5 (0{,}57 \cdot 10^4)$
σ_{07} = 90 (9)	130	$E^{чи}_{07} = 0{,}51 \cdot 10^5 (0{,}51 \cdot 10^4)$
σ_{08} = 80 (8)	260	$E^{чи}_{08} = 0{,}46 \cdot 10^5 (0{,}46 \cdot 10^4)$

Данный подход использован и для определения величин длительных секущих модулей деформаций (табл. 2, рис. 3), когда, зная фиксированный полный упругий прогиб – $f^{п}$ = 0,0067 см (рис. 1) и величины постоянных напряжений в образцах-балках, можно подсчитать названные модули [3] с помощью коэффициента 3,125, который зависит от размеров поперечного сечения образца, расчетной схемы его нагружения и имеющий ту же размерность, что и прогиб.

С уменьшением величины постоянного напряжения увеличивается время до момента достижения изгибаемым образцом этого прогиба (рис. 1, 2 и 3), а зависимость носит криволинейный характер.

Уточним, что величина $f^{п}$ есть ордината прямой, параллельной оси абсцисс и являющейся геометрическим местом точек перегиба кривых ползучести (рис. 1) образцов из древесного композита при изгибе.

С применением ЭВМ нами были подобраны аппроксимирующие функции, с большой точностью представляющие экспериментальные данные и позволяющие получить значения напряжений, соответствующих пределу длительного сопротивления древесного композита (рис. 2) – $\sigma^{чи.в}_{пдс}$, а также коэффициента длительности – $К^{чи.в}_{км.дл}$:

$$\sigma^{чи.в}_{oi}(t) = P_1 + P_2 \tanh(P_3 t) = 17{,}16 - 8{,}01 \tanh(0{,}18t), \quad (1)$$

$$\sigma^{чи.в}_{oi}(t) = P_4 + P_5 \tanh(P_6 t) = 8{,}88 + 8{,}95 \tanh(-0{,}25t), \quad (2)$$

где $P_1 \cong 17{,}16$ МПа $\cong \sigma^{чи}_{км.у}$, $P_1 - P_2 = 17{,}16 - 8{,}01 = 9{,}15$ МПа $\cong \sigma^{чи}_{км.пдс}$, $P_4 = 8{,}88$ МПа $\cong \sigma^{чи}_{км.пдс}$, $P_4 + P_5 = 8{,}88 + 8{,}95 \cong 17{,}83$ МПа $= \sigma^{чи}_{км.у}$, т.е. эти коэффициенты имеют физический смысл. $P_3 = 0{,}18$ и $P_6 = -0{,}25$ – релаксационные коэффициенты.

Сумма квадратов отклонений для функции (1) равна $3{,}725 \cdot 10^{-3}$, а для функции (2) – $1{,}905 \cdot 10^{-3}$, т.е. с точки зрения точности аппроксимации функция (2) предпочтительнее.

Для подсчета коэффициента длительности использовали среднее значение предела длительного сопротивления

$$\sigma^{чи.\,в}_{км.пдс.ср}\ (9{,}15 + 8{,}88) / 2 = 9 \text{ МПа (рис. 2):}$$

$$К^{чи.\,в}_{км.дл.ср}\ (t = 15 \cdot 10^3 \text{ сут.}) = \sigma^{чи.\,в}_{км.пдс.ср} / \sigma^{чи.мгн}_{км.пч} = 9{,}0/22{,}0 = 0{,}41; \quad (3)$$

$$К^{чи.\,в}_{км.дл.ср}\ (t = 260 \text{ сут.}) = \sigma^{чи.\,в}_{км.дл.ср} / \sigma^{чи.мгн}_{км.пч} = 9{,}78/22{,}0 = 0{,}45.$$

Аналогичные действия были выполнены и в отношении длительного модуля деформации, а именно: подобраны аппроксимирующие функции, позволяющие вычислить его значение на 260 сутки (время завершения экспозиции в воде) и ожидаемые (теоретические) значения на 40·365 сутки, т.е. через 40 лет (рис. 3):

$$E^{сек.чи.\,в}_{oi.дл}(t) = [P_1 + P_2 \exp(-P_3 \cdot t)] \cdot 10^4 = [0{,}503 + 0{,}508 \exp(-0{,}025t)] \cdot 10^4; \quad (4)$$

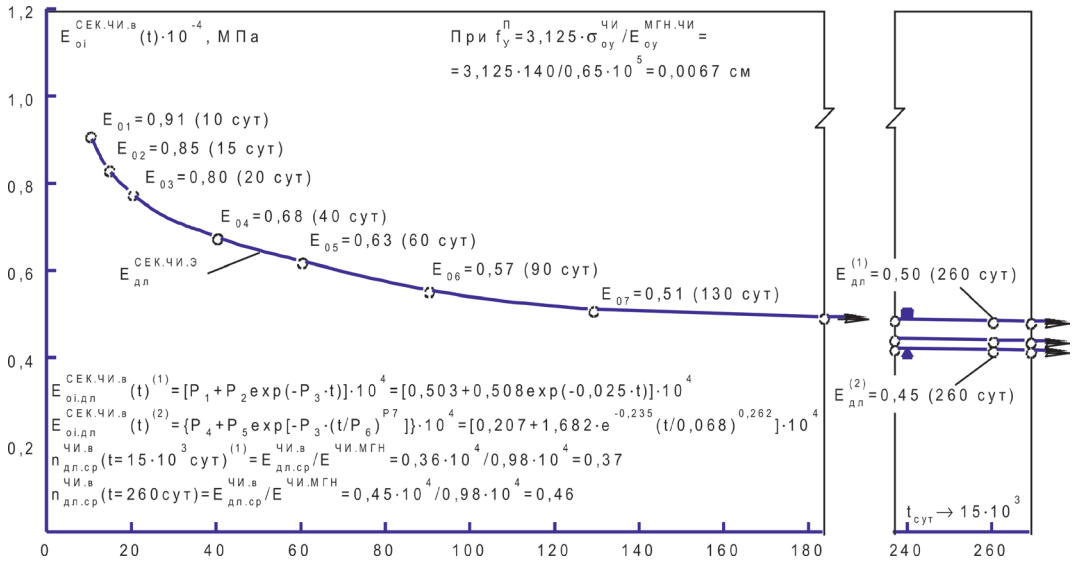

Рис. 3. График зависимости секущих модулей деформации, соответствующих точкам перегиба на кривых ползучести, от времени при испытаниях образцов-балок из древесного композита, погруженных в воду, на чистый изгиб

$$E_{oi.дл}^{сек.чив}(t) = [P_1 + P_2 e^{-P_3 (t/P)_4^{P_5}}] \cdot 10^4 = [0,207 + 1,682 e^{-0.235(t/0,068)^{0,262}}] \cdot 10^4, \quad (5)$$

где $P_1^{(1)} = 0,503 \cdot 10^4$ МПа $= E_{дл.мин}^{сек.чи.в(1)}$, $P_1^{(1)} = 0,207 \cdot 10^4$ МПа $= E_{дл.мин}^{сек.чив(2)}$, т.е. и эти коэффициенты имеют физический смысл.

Сумма квадратов отклонений для функции (4) равна $7,213 \cdot 10^{-4}$, для функции (2) – $1,437 \cdot 10^{-4}$, т.е. с точки зрения точности аппроксимации функция (5) предпочтительнее, хотя трудно предположить, что шпала, например, будет 40 лет находиться в воде, так что полученные значения модулей очевидно занижены.

Как и для коэффициентов длительности подсчитывали среднее минимальное значение длительного секущего модуля деформаций древесного композита – $E_{км.дл.ср}^{чи.в} = (0,503 + 0,207) \cdot 10^4/2 = 0,36 \cdot 10^4$ МПа.

Длительный деформационный коэффициент – $n_{км.ср}^{чи.в}$ равен:

$$n_{км.дл.ср}^{чи.в}(t = 40 \cdot 365 \text{ сут.}) = E_{км.дл.ср}^{чи.в}/E_{км}^{чи.мгн} = 0,36 \cdot 10^4/0,98 \cdot 10^4 = 0,37; \quad (6)$$

$$n_{км.дл.ср}^{чи.в}(t = 260 \text{ сут.}) = E_{км.дл.ср}^{чи.в}/E_{км}^{чи.мгн} = 0,45 \cdot 10^4/0,98 \cdot 10^4 = 0,46.$$

Приведенные теоретические расчеты значений коэффициентов длительности и длительных деформационных коэффициентов через 40 лет эксплуатации шпал показывают, что в целом соотношения между ними реальные, т.к. значение первого несколько выше, чем второго, т.к. $K_{км.дл}^{чи.в} = 0,41 > n_{км.дл}^{чи.в} = 0,37$. Напомним также, что образцы, исследовавшиеся на ползучесть в воде, не подвергались обработке гидрофобизирующими составами, что, безусловно, создает дополнительные резервы по прочности и жесткости, например железнодорожных шпал различного назначения.

Список литературы

1. Бухонов Ю.Н. Сопротивляемость и деформативность композиционного материала на основе древесины при изгибе: автореф. дис… канд. техн. наук. – Воронеж, 1998. – 20 с.

2. Потапов Ю.Б. Ползучесть щебенчатого пластобетона на смоле ФАМ при растяжении и изгибе. // Теория сооружений и конструкций: Сб. тр. / ВИСИ. – Воронеж, 1967. – Вып. 2 – № 13. – С. 9–14.

3. Стородубцева Т.Н. Обеспечение трещиностойкости композиционного материала на основе древесины для железнодорожных шпал при отверждении и всестороннем увлажнении: автореф. дис… канд. техн. наук. – Воронеж, 1999. – 20 с.

4. Стородубцева Т.Н. Композиционный материал на основе древесины для железнодорожных шпал: Трещиностойкость под действием физических факторов [Текст]: Науч. изд. – моногр. / Т.Н. Стородубцева.– Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2002.– 216 с.

5. Харчевников В.И. Стекловолокнистый полимербетон. – Воронеж: Изд. ВГУ, 1976. – 116 с.

6. Харчевников В.И. Длительная прочность стекловолокнистого полимербетона на смоле ФАМ при изгибе и одновременном действии воды / В.И. Харчевников, Т.И. Елисеева // Изв. вузов. Стр-во и архитектура (Новосибирск). – 1977. – № 6. – С. 73–76.

7. Эффективные композиционные строительные материалы и конструкции / Соломатов В.И., Потапов Ю.Б., Чощиев К.Ч., Бабаев М.Г.; Под ред. И.Е. Путляева. – Ашхабад: ЫЛЫМ, 1991.– 266 с.