

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Веретенник Д. Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 120 с. [2]. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость.— М.: Мир, 1971.— 386 с. [3]. Казанский М. Ф. Исследования кинетики тепло- и массообмена капиллярно-пористых материалов в процессе сушки: Дис. ... д-ра техн. наук.— Минск, 1960.— 349 с. [4]. Лыков А. В. Теория сушки.— М.: Энергия, 1968.— 470 с. [5]. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии/ Под ред. А. В. Киселева, В. П. Древинга.— М.: Изд. МГУ, 1973.— 446 с.

Поступила 30 сентября 1986 г.

УДК 630*812.7

К МЕТОДИКЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ДРЕВЕСИНЫ НА ФЕНОЛЬНЫХ КЛЕЯХ

Ю. М. ИВАНОВ, Ю. Ю. СЛАВИК
ЦНИИ строительных конструкций

В отличие от соединений на клею плотных материалов разрушение клеевых соединений древесины не носит чисто адгезионного характера, что объясняется чрезвычайно развитой поверхностью контакта клея с древесной тканью. В связи с этим следует выяснить, не являются ли отмечаемые иногда случаи сниженной длительной прочности клеевых соединений результатом когезионного разрушения клеевой прослойки в результате меньшей ее прочности сравнительно с древесиной.

Длительную прочность древесины выражаем уравнением [2]

$$\lg t = \lg A - \alpha \sigma \quad (1)$$

(где t — время до разрушения, с; σ — напряжение, МПа; A и α — постоянные (см. ниже)) и изображаем прямой $\lg t(\sigma)$ на графике $\lg t$, σ (рис. 1, а), которая аппроксимирует экспериментальные данные со следующими найденными по размахам доверительными интервалами: 1 — на растяжение вдоль волокон возрастающей нагрузкой древесины лиственницы (влажность $\omega = 14,7$ %, размах доверительного интервала — $\pm 3,4$ %) [9]; 2 — на изгиб длительной нагрузкой в течение до 5 лет лжетсуги ($\omega = 12$ %, размах доверительного интервала — $\pm 3,6$ %) [15]; 3 и б — на сжатие вдоль волокон возрастающей нагрузкой сосны (соответственно $\omega = 15$ %, размах доверительного интервала — $\pm 2,10$ % и $\omega = 30$ %, размах доверительного интервала — $\pm 2,04$ %) [7]; 4 — на изгиб медленно возрастающей нагрузкой сосны (высота сечения $h = 2$ см, $\omega = 30$ %, размах доверительного интервала — ± 2 %) [6, 7]; 5 — на изгиб медленно прилагаемой ступенчатой нагрузкой тсуги ($h = 15,2$ см, $\omega = 10$ %, размах доверительного интервала — ± 5 %) [6, 13] (доверительная вероятность 0,95); 7 — на сдвиг при кручении трубчатых образцов ступенчатой нагрузкой лжетсуги ($\omega = 10 \dots 12$ %, размах доверительного интервала — $\pm 5,59$ %) [14] (доверительная вероятность 0,90).

Время t для возрастающей нагрузки до разрушения определяем по продолжительности испытания t'_1 из выражения

$$t = \frac{t'_1}{2,3(\lg A - \lg t)}, \quad (2)$$

решаемого последовательными приближениями; нагружение ступенями при достаточном их числе приближенно приравняем испытанию со средней постоянной скоростью [6].

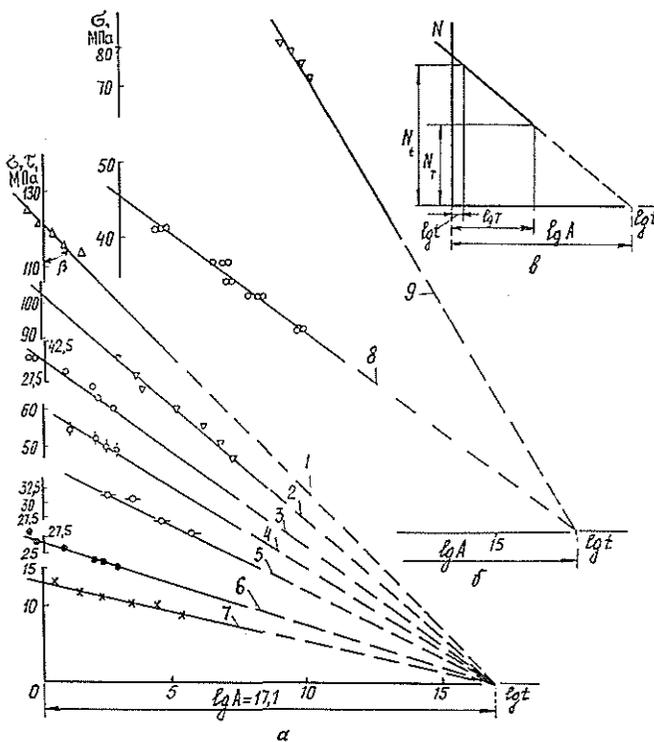


Рис. 1. Экспериментальные данные испытаний: а — древесины; б — пленок затвердевшего клея; в — схема к рис. 1, а

Рис. 1, а иллюстрирует независимость величины $\lg A$ от вида и абсолютных значений напряжения, породы, плотности и влажности древесины, режима нагружения. Постоянству $\lg A$ соответствует постоянство относительного снижения прочности во времени σ_t/σ_0 или N_t/N_0 при заданных t и t_0 (рис. 1, в): для каждого луча в пучке (рис. 1, а) отношение $N_t/N_0 = (\lg A - \lg t_0)/(\lg A - \lg t)$ постоянны и не зависит от угла наклона β прямой $\lg t$ (σ) к оси $\lg t$ (рис. 1, в). Отношение $N_t/N_0 < 1$ и есть так называемый коэффициент снижения прочности для заданного периода времени t . Пересечение прямых на рис. 1, а в одной точке оси абсцисс для образцов разных размеров, например, для изгиба (см. прямые 4 и 5 при медленном нагружении [6]), различающихся по величине момента сопротивления почти в 150 раз (для прямой 4 — 1,33 см³, для прямой 5 — 192,5 см³), указывает на постоянство относительного снижения прочности во времени независимо также от размера образцов.

Постоянство отсекаемого прямой $\lg t(\sigma)$ по уравнению (1) на оси $\lg t$ (рис. 1, а) отрезка $\lg A$ определяется только кинетическими параметрами данного твердого тела U_0 и τ_0 и температурой [2, 10]

$$\lg A = \frac{U_0}{2,3RT} + \lg \tau_0; \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{2,3RT}, \quad (4)$$

где U_0 — энергия активации процесса разрушения, кДж/моль;
 τ_0 — период тепловых колебаний атомов, 10^{-13} с;
 R — газовая постоянная, кДж/(моль · град);

T — температура К, град;

γ — структурно-чувствительный коэффициент, кДж/(моль · МПа);

α , МПа⁻¹.

У древесины при обычной температуре (~ 20 °С) $\lg A = 17,1$ [3].

Для применяемых в конструкциях фенольных клеев определим указанную характеристику, т. е. $\lg A$, из испытаний вещества клеевой прослойки. У полимеров (в частности непластифицированных, каким является резит-отвердевшая фенольная смола) при переходе от растяжения к другим видам напряжений изменяется лишь коэффициент γ [10, с. 437], а величина $\lg A$ остается постоянной; это положение действительно и для древесины.

На этом основании величину $\lg A$ в применении к интересующим нас напряженным состояниям клеевой прослойки можно найти из длительных испытаний, например, на растяжение пленки отвердевшего клея. Такие испытания для клея КБ-3 провел в ЦНИИСКе К. Т. Вуба при обычной температуре на машине с программированием постоянного усилия.

На рис. 1, б нанесены опытные точки для отдельных образцов. Проведенная по ним средняя прямая δ для клея КБ-3 имеет доверительный интервал $\pm 2,5$ % при доверительной вероятности 0,95 (табл. 1) и отсекает на оси абсцисс отрезок $\lg A = 17,42 \pm 0,74$, который практически совпадает с $\lg A = 17,1$ для древесины (разница незначительна). Имеющиеся в литературе данные о длительной прочности пленок отвердевшей фенолформальдегидной смолы с наполнителем тканью (образцы получены под давлением путем полимеризации при повышенной температуре [12]), находившихся под действием растягивающего напряжения в течение 300...2800 ч (рис. 1, б, средняя прямая 9), согласуются с приведенными результатами Вуба по величине отрезка $\lg A$.

Таблица 1

Время t до разрушения пленок клея КБ-3 под длительным растягивающим напряжением $\sigma = \text{const}$

σ , МПа	t , с	$\lg t$	$\bar{\sigma}$	$\sigma - \bar{\sigma} = \Delta_t$	$\sum \Delta_t^2$	Уравнение прямой длительной прочности и доверительный интервал
40,5	20	1,302	41,166	-0,666	6,688	
40,5	30	1,477	40,719	-0,219		
40,5	50	1,699	40,152	+0,348		
36,0	$2,5 \cdot 10^3$	3,398	35,813	+0,187		
36,0	$6,0 \cdot 10^3$	3,779	34,840	+1,160		
36,0	$9,5 \cdot 10^3$	3,978	34,332	+1,668		
33,7	$7,5 \cdot 10^3$	3,975	34,340	-0,640		
33,7	$8,0 \cdot 10^3$	3,903	34,524	-0,824		
33,7	$1,2 \cdot 10^4$	4,079	34,074	-0,374		
31,5	$7,56 \cdot 10^4$	4,878	32,034	-0,534		
31,5	$1,209 \cdot 10^5$	5,083	31,510	-0,010		
31,5	$1,692 \cdot 10^5$	5,229	31,137	+0,363		
27,0	$4,493 \cdot 10^6$	6,652	27,503	-0,503		
27,0	$6,739 \cdot 10^6$	6,828	27,054	-0,054		
27,0	$7,776 \cdot 10^6$	6,890	26,895	+0,105		

Отсюда следует, что относительное снижение во времени прочности клеевых соединений не будет большим, чем у древесины. Приведем результаты [8] длительных испытаний соединений на вклеенных под углом 30° в древесину стальных стержнях периодического профиля с длиной

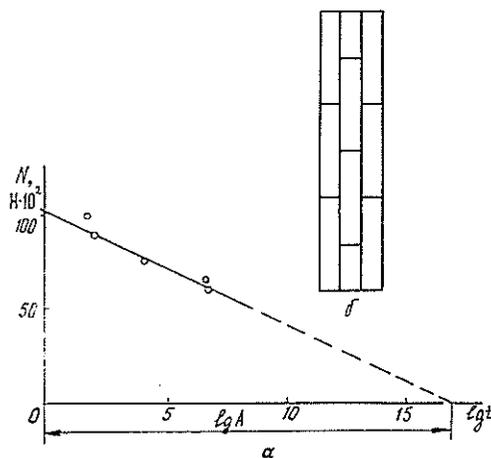


Рис. 2. Экспериментальные данные длительных испытаний образцов соединений с клееными в древесину сосны стальными стержнями на выдергивание [8] (а). Схема отбора образцов из торцевого среза клееного пакета (б)

заделки $20d$, при диаметре стержня $d = 14$ мм (рис. 2, а, клей ФРФ-50 [11]), показавших первичную деформацию разрушения по клеевой прослойке (когда «максимальные касательные напряжения в начале заделки достигают величины, превышающей прочность клея на сдвиг» [8, с. 100]: отсекаемый на оси $\lg t$ отрезок $\lg A = 17,05 \pm 0,86$ (табл. 2), т. е. не отличается от приведенного выше. Такая же величина отрезка $\lg A$ характерна и для соединений с клееными вдоль волокон в древесину стальными стержнями на более прочном эпоксидном клее [1, 5], и, следовательно, верхнее значение их длительной прочности лимитируется древесиной.

Следовательно, на поставленный вначале вопрос получен отрицательный ответ для фенольных клеев, и, следовательно, если соединение

Таблица 2

Время t до разрушения образцов соединений на клеенных в древесину стальных стержнях (клей ФРФ-50) на выдергивание при растяжении

$N \cdot 10^{-2}$, Н	t , с	$\lg t$	\bar{N}	$N - \bar{N} = \Delta_t$	$\sum \Delta_t^2$	Уравнение прямой длительной прочности и доверительный интервал
99	51,9	1,717	92,496	+6,504	593,52	
99	51,9	1,717	92,496	+6,504		
99	55,0	1,740	92,358	+6,642		
91	64,5	1,810	91,938	-0,938		
91	64,5	1,810	91,398	-0,938		
91	66,0	1,820	91,975	-0,875		
91	70,8	1,840	91,755	-0,755		
91	$1,02 \cdot 10^2$	2,008	90,742	+0,258		
75,5	$2,88 \cdot 10^2$	2,46	88,016	+12,516		
75,5	$6,60 \cdot 10^3$	3,82	79,815	-4,315		
75,5	$4,20 \cdot 10^5$	5,62	68,961			
66,4	$7,78 \cdot 10^5$	5,89	67,333	-0,933		
66,4	$1,12 \cdot 10^6$	6,05	66,368	-1,968		
66,4	$3,20 \cdot 10^6$	6,50	63,654	+0,746		
66,4	$3,67 \cdot 10^7$	7,56	57,262	+9,138		
58,8	$2,33 \cdot 10^5$	5,37	70,468	-11,668		
58,8	$5,80 \cdot 10^6$	6,76	62,087	-3,287		
58,8	$7,12 \cdot 10^6$	6,85	61,544	-2,744		
58,8	$2,50 \cdot 10^7$	7,40	58,222	+0,573		

при скоростных испытаниях имеет прочность не меньшую прочности древесины, то и его длительная прочность будет не ниже, чем у древесины. Отсюда создается возможность практического прогнозирования длительной прочности клеевых соединений древесины на основе испытаний их кратковременной нагрузкой, которое можно осуществить, пользуясь прямой $\lg t(\sigma)$ длительной прочности и отрезком $\lg A$ на оси $\lg t$, как было отмечено выше (рис. 1, в):

$$\frac{N_t}{\lg A - \lg t} = \frac{N_\tau}{\lg A - \lg \tau}, \quad (5)$$

где N_t — среднее усилие, соответствующее кратковременной прочности клеевого соединения;

N_τ — среднее усилие, соответствующее длительной прочности клеевого соединения;

t — время до разрушения при кратковременном испытании [6];

τ — заданный срок службы.

Из равенства (5) получим

$$N_\tau = N_t \frac{\lg A - \lg \tau}{\lg A - \lg t}. \quad (6)$$

При кратковременном испытании важно прилагать к клеевым соединениям такие усилия и напряжения, какие действуют на них в конструкции. Так, например, при достаточной для долговечной службы длительной прочности пластевых соединений в клееных пакетах, где действуют внутренние растягивающие напряжения поперек клеевого шва (особенно у боковых граней пакета), проверка должна производиться путем кратковременного испытания клеевых соединений на растяжение поперек волокон [4].

С этой целью от торцов пакета отпиливают срезы толщиной 25 мм и разделяют их на образцы согласно схеме на рис. 2, б (ширина образцов 30...35 мм, длина 280...300 мм). Образцы зажимают в шарнирных захватах вдоль волокон. Если образцы разрываются по древесине, то необходимая длительная прочность клеевых соединений обеспечена, разрыв же их по клеевому шву указывает на то, что их прочность недостаточна вследствие образовавшегося при изготовлении пакета некачественного шва.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вылегжанин Ю. Б. Исследование работы соединений на вклеенных в древесину стальных стержнях: Дис... канд. техн. наук.— Новосибирск, 1980.— 220 с.
 [2]. Журков С. Н. Проблема прочности твердых тел // Вестн. АН СССР.— 1957.— Вып. II.— С. 78—82. [3]. Иванов Ю. М. Влияние влажности на длительную прочность древесины // Лесн. журн.— 1975.— № 5.— С. 90—97. (Изв. высш. учеб. заведений).
 [4]. Иванов Ю. М. Стесненное набухание древесины при циклическом изменении влажности // Лесн. журн.— 1983.— № 5.— С. 78—81. (Изв. высш. учеб. заведений).
 [5]. Иванов Ю. М. О точности определения параметров длительной прочности древесины // Лесн. журн.— 1984.— № 4.— С. 62—66. (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Иванов Ю. М., Славик Ю. Ю. Оценка длительной прочности древесины при изгибе по результатам кратковременных испытаний // Лесн. журн.— 1981.— № 2.— С. 66—71. (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Любошиц М. И. Влияние скорости испытания на предел пластического течения древесины сосны: Дис... канд. техн. наук.— Минск, 1950.— 316 с. [8]. Оспанова Ж. Н. Несущая способность и деформативность соединений элементов деревянных конструкций на вклеенных стальных стержнях: Дис... канд. техн. наук.— М., 1985.— 260 с. [9]. Перельгин Л. М. Влияние скорости нагружения при механических испытаниях древесины // Завод. лаб.— 1938.— Т. 7.— № 1.— С. 78—82. [10]. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел.— М.: Наука, 1974.— 560 с. [11]. Фрейдин А. С., Оспанова Ж. Н., Клаузнер Г. М. Склеивание арматуры с древесиной модифицированным клеем ФРФ-50 // Строительство и архитектура.— 1984.— № 5.— С. 17—20. (Изв. высш. учеб. заведений), [12]. Chastan B.

Creep and time fracture strength of plastics under tensile stresses // *Modern Plastics*.— 1944.— V. 21.— N 6.— P. 145—148, 176. [13]. Madsen B. Duration of load tests for dry lumber in bending // *Forest Products Journal*.— 1973.— V. 23.— N 2.— P. 21—28 [14]. Madsen B. Duration of load tests for dry lumber subjected to shear // *Forest Products Journal*.— 1975.— V. 25.— N 10.— P. 49—52. [15]. Wood L. W. Relation of strength of wood to duration of load // *US Forest Products Laboratory, RN 1916*.— Dec. 1951.— 10 p.

Поступила 29 мая 1986 г.

УДК 630*36-83.001.5

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКЕ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Н. М. ПЕРЕЛЬМУТЕР, Ю. Н. ПЕРЕЛЬМУТЕР,
Л. И. ГУЛЬКО, Б. Н. КРАСИЛЬНИКОВ

ЦНИИМЭ, ВНИПИЭИлеспром

Расчет потребной мощности привода при групповой обработке лесоматериалов электрифицированными машинами, работающими в тех или иных природно-производственных условиях, целесообразно осуществлять методом математического моделирования с использованием ЭЦВМ. При моделировании возникает вопрос о целесообразности индивидуализации отдельных единиц предмета труда, входящих в состав обрабатываемой пачки, обычно содержащей от двух-трех до нескольких десятков таких единиц. Этого количества, как правило, недостаточно, чтобы с приемлемой степенью адекватности считать пачку сплошной средой.

Индивидуализация отдельных единиц лесоматериалов при моделировании их групповой обработки (раскряжевки, удаления сучьев, окорки и др.) связана с необходимостью учета большого количества факторов, влияющих на мощность привода, что приводит к существенным усложнениям расчета. Такое усложнение может быть оправдано лишь при очень высоких требованиях к точности результатов моделирования. Другой подход к решению задачи — использование эмпирических зависимостей, установленных при экспериментах с соответствующим видом оборудования.

Рассмотрим оба этих подхода на конкретных примерах. Так, при моделировании работы привода пилы в установке ЛО-67 для групповой раскряжевки используем первый метод; для моделирования же работы привода установки МСГ, осуществляющей групповую очистку стволов от сучьев, применим второй метод.

Пусть пачка, предназначенная для раскряжевки, характеризуется в сечении реза следующими параметрами:

- $\{d_j\}$ — совокупность диаметров бревен в данном сечении ($j = 1, 2, 3, \dots, k_6$, где k_6 — количество бревен);
- $\{a_{nj}\}$ — совокупность коэффициентов породы для пачки;
- $\{h_j\}$ — совокупность расстояний от нижнего края загрузочного устройства до центра соответствующего сечения бревна.

Используя показанные на рисунке координатные оси, рассмотрим вспомогательные функции следующего вида:

$$f_j(y) = \begin{cases} a_{nj} \sqrt{d_j - 4(y - h_j)^2} & \text{при } 2|y - h_j| \leq d_j, \\ 0 & \text{при } 2|y - h_j| > d_j. \end{cases} \quad (1)$$

$$(j = 1, 2, \dots, k_6)$$