

УДК 624.011.1

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СТАДИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Е. Б. РЮМИНА, Г. Б. УСПЕНСКАЯ, Б. А. КАБАКОВ

Архангельский лесотехнический институт
ЦНИИМОД

Совершенствование методов расчета строительных конструкций состоит в переходе к расчету их на надежность. Входными параметрами системы в этом случае являются вероятностные показатели прочности материалов, в частности конструкционных пиломатериалов. Их закладывают в проектный уровень надежности, который должен быть обеспечен на стадии изготовления производственными методами контроля прочности.

В настоящее время выделяют три уровня расчета надежности. На первом уровне задачу решают с помощью частных коэффициентов, на втором — двух моментов (математического ожидания и дисперсии), на третьем — точного вычисления вероятности безотказной работы конструкции на основании функций распределения прочности и нагрузки.

Нами выполнена оценка зависимости уровня проектной надежности элементов деревянных конструкций от точности контроля прочности по методике второго уровня [5, 6, 8].

Расчет проведен на нагрузку от снегового покрова (III снеговой район по СНиП 2.01.07—85 — Московская область).

Функцию распределения снеговой нагрузки $\Phi(Q)$ зададим [4] в виде двойного экспоненциального закона

$$\Phi(Q) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{1}{36,5}(Q - 93,1)\right]\right\}, \quad (1)$$

где Q — нормативное значение нагрузки.

Примем Q равным $93,1 \cdot 10^{-5}$ МПа, а расчетное его значение $Q_p = 150,0 \cdot 10^{-5}$ МПа. Функция распределения годового максимума безразмерной снеговой нагрузки $q = Q/Q_p$ имеет вид

$$\Phi_q(q) = \exp\{-\exp[4,11(q) - 0,621]\}. \quad (2)$$

При оценке прочности материала элементов конструкций используем две безразмерные характеристики показателя r :

$$\bar{r} = \bar{R}/R_p \quad \text{и} \quad \hat{r} = \hat{\sigma}/R_p, \quad (3)$$

где \bar{R} — среднее значение временного сопротивления;

R_p — расчетное сопротивление;

$\hat{\sigma}$ — стандартное среднее квадратичное отклонение.

Экспериментальное распределение прочности древесины принято по нормальному закону распределения.

Условие безотказной работы имеет вид

$$Q_n < R, \quad (4)$$

где Q_n — случайная величина распределения максимумов снеговой нагрузки за n лет;

R — прочность как случайная величина.

Нормативное неравенство метода предельных состояний

$$\gamma_n Q_p \leq R_p. \quad (5)$$

Здесь γ_n — коэффициент надежности по назначению.

Оставив знак равенства в выражении (5)-й и поделив на него неравенство (4), получим

$$\frac{1}{\gamma_n} q < r. \quad (6)$$

Поскольку q и r имеют разные законы распределения, преобразуем к стандартному нормальному распределению q^* и r^* по методу [5]:

$$q^* = F^{-1} [\Phi_q(q)]; \quad r^* = \frac{q_l}{\widehat{\gamma_n r}} - \frac{\bar{r}}{\widehat{r}}, \quad (7)$$

где F — интеграл вероятности,

$$F(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\beta} e^{-\frac{1}{2} x^2 dx} \quad (8)$$

Задавая значения безразмерной нагрузки q_l (от 0,5 до 1,2) и переходя к координатам преобразованного нормального распределения q^* и r^* по формулам (7), вычисляем проектную надежность через показатель β при $\gamma_n = 1$:

$$\beta_l = \sqrt{r_l^{*2} + q_l^{*2}}. \quad (9)$$

Используя зависимости

$$\bar{r} = \frac{1}{1 - \eta v_R}; \quad \widehat{r} = \frac{v_R}{1 - \eta v_R}, \quad (10)$$

получаем

$$\beta_l = \sqrt{\left[\frac{q_l (1 - \eta v_R) - 1}{v_R} \right]^2 + q_l^{*2}}. \quad (11)$$

Здесь η — квантиль распределения для расчетного сопротивления.

Из выражения (11) очевидна зависимость показателя надежности β_l от изменчивости показателей прочности древесины v_R элементов строительных конструкций, а также от характеристик нагрузки.

Графическая интерпретация этой зависимости приведена на рис. 1, 2. С ростом изменчивости прочности древесины v_R в интервале безразмерной нагрузки q_l от 0,5 до 0,9 (рис. 1) индекс надежности β_l монотонно убывает. При действии нагрузки $q_l = 1,0$ индекс надежности β_l не зависит от v_R . И наконец, в интервале нагрузки от 1,1 до 1,2 β_l возрастает с увеличением v_R . Однако индекс надежности β_l (рис. 2) слабо зависит от изменчивости нагрузки при большом разбросе прочности v_R . С изменением v_R индекс надежности β_l падает при увеличении q_l .

Вернемся к формуле (8) и по значениям показателя надежности β определим величины $F(\beta)$, характеризующие вероятность безотказной работы элементов деревянных конструкций.

Исходные данные для расчета показателя надежности β (средние арифметические значения прочности рассортированных выборок элементов при основных видах напряженного состояния и коэффициенты их вариации) приняты по результатам статистического анализа данных

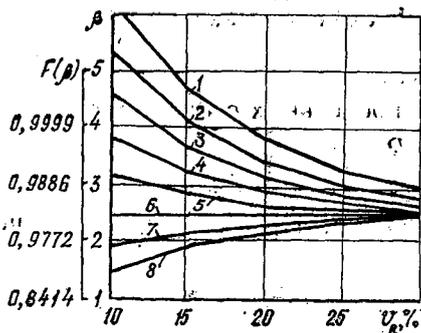


Рис. 1. Зависимость индекса надежности β_i от коэффициента вариации прочности пиломатериалов ν_R при различных уровнях безразмерной нагрузки q_1 : 1—0,5; 2—0,6; 3—0,7; 4—0,8; 5—0,9; 6—1,0; 7—1,1; 8—1,2

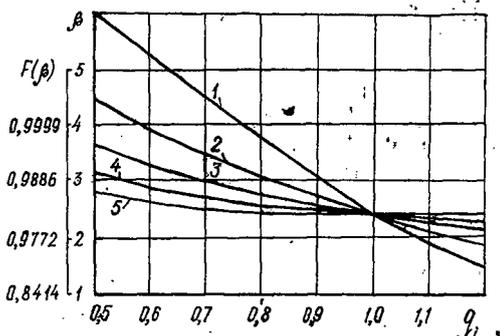


Рис. 2. Зависимость индекса надежности β_i от уровня безразмерной нагрузки q_1 при различных значениях коэффициента вариации ν_R : 1—10; 2—15; 3—20; 4—25; 5—30 %

экспериментальных исследований показателей прочности конструкционных пиломатериалов размером $50 \times 150 \times 2200$ мм из древесины хвойных пород. Лесорастительный регион пиловочного сырья — подзона северной тайги Беломорско-Печорского округа провинции Восточной части Русской равнины. Район переработки — северный («Архангельсклеспром»). Измерительный контроль прочности пиломатериалов выполнен на установках «Финногрейдер» финской фирмы «Альстрем», обеспечивающей бесконтактную сортировку по прочности, и «Компьютерматик» английской фирмы «Плесси», в которой реализован принцип оценки прочности по модулю упругости. Визуальную сортировку цельнодеревянных элементов осуществили согласно требований ЦНИИСК, ГОСТ 8486—86* [1] и ТУ 13-722—83 [7]. Показатели прочности элементов выборок (общий объем 450 образцов) при изгибе на кромку, изгибе на плсть и растяжении определили в соответствии с ГОСТ 21554.2—81 [2] и ГОСТ 21554.5—78 [3]. По результатам испытаний провели статистический анализ для обоснования вероятностных показателей прочности пиломатериалов при измерительном и визуальном контроле, принятых в расчете показателей надежности элементов деревянных конструкций. Результаты вычислений вероятности безотказной работы элементов конструкции $F(\beta)$ представлены в таблице.

Установлено, что измерительный контроль прочности на установках «Финногрейдер» и «Компьютерматик» обеспечивает расчетные характеристики прочности всех групп при изгибе и растяжении с вероятностью безотказной работы элементов более 0,99. Визуальная сортировка, по требованиям ЦНИИСК и ТУ 13-722—83 гарантирует надежность элементов деревянных конструкций при изгибе и растяжении. Вероятность безотказной работы $F(\beta)$ для всех сортов и групп прочности пре-

Расчет показателей надежности элементов деревянных конструкций

Вид сортировки	Группа прочности* или сорт	Вероятность безотказной работы при $\gamma_n = 1$			
		Изгиб на кромку	Изгиб на пластъ	Растяжения	
На установке «Финно-грейдер» по контрольным границам: изгиба на кромку	K38	0,99010	0,99010	0,99324	
	K30	0,99061	0,99010	0,99061	
	K24	0,99010	0,99111	0,99250	
	K16	0,99361	0,99361	—	
	растяжения	K38	—	—	0,99180
		K30	—	—	0,99158
		K24	—	—	0,99266
На установке «Компьютерматик» по контрольным границам изгиба:	на кромку	K38	0,99036	—	0,99324
		K30	0,99266	—	0,99180
		K19	0,99061	—	0,99324
	на пластъ	K38	—	0,99061	0,99134
		K30	—	0,99286	0,98983
		K19	—	0,99134	0,99305
		ГОСТ 8486—86* [1]	1	0,97615	0,97441
Требования ЦНИИСК	2	0,98928	0,98928	0,99324	
	3	0,99343	0,99343	0,99343	
	4	—	0,98778	0,99224	
	K24	0,99010	0,99036	0,99111	
	K16	0,99361	0,99010	0,99361	
ТУ 13-722—83 [7]	K24	0,99010	0,99492	0,99324	
	K19	0,99202	0,99286	0,99180	

* Цифровой индекс в обозначении группы прочности соответствует показателям прочности элементов с доверительной вероятностью 0,95 при изгибе на кромку.

вышает 0,99. Несколько хуже результаты при сортировке по ГОСТ 8486—86. При изгибе на кромку и пластъ только элементы древесины третьего сорта показали вероятность безотказной работы, равную 0,99. Для первого и второго сортов $F(\beta)$ составила соответственно 0,97 и 0,98. При растяжении для всех сортов, кроме первого ($F(\beta) = 0,93$), обеспечивается вероятность безотказной работы более 0,99.

Таким образом, расчет деревянных строительных конструкций на надежность предполагает наличие совершенных производственных методов контроля прочности конструкционных пиломатериалов. Вместе с тем накопление информации о вероятностных показателях прочности материала будет основанием для совершенствования теории расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. ГОСТ 8486—86*. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия.— Введ. 01.01.88.— М.: Изд-во стандартов, 1988.— 17 с. [2]. ГОСТ 21554.2—81: Пиломатериалы и заготовки. Метод определения предела прочности при статическом изгибе.— Введ. 01.01.82.— М.: Изд-во стандартов, 1982.— 4 с. [3]. ГОСТ 21554.5—78. Пиломатериалы и заготовки. Метод определения прочности при продольном растяжении.— Введ. 01.01.80.— М.: Изд-во стандартов, 1978.— 6 с. [4]. Р ж а н и ц ы н А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность.— М.: Стройиздат, 1978.— 240 с. [5]. С н а р с к и с Б. И. Оптимальные расчетные и контрольные значения случайных параметров, как средство оптимизации надежности // Проблемы надежности в строительном проектировании.— Свердловск: Сред.-Урал, кн. изд-во, 1972.— 305 с. [6]. С у х о в Ю. Д. Вероятностный метод определения коэффициентов сочетаний по-