УДК 624.011

© Т. М. Петрова, д-р техн. наук, профессор

© Ю. А. Беленцов, д-р техн. наук, профессор

© А. П. Лейкин, канд. техн. наук, доцент

(Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: petrova@pgups.ru, belents@mail.ru, alezz@mail.ru

© Ю. М. Тихонов, д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: peepdv@mail.ru, umt-07@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-6-156-159

© Т. М. Petrova, Dr. Sci. Tech., Professor

© Yu. A. Belentsov, Dr. Sci. Tech., Professor

© A. P. Leykin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: petrova@pgups.ru, belents@mail.ru, alezz@mail.ru

© Yu. M. Tihonov, Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: peepdv@mail.ru, umt-07@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ КЛАССА ДРЕВЕСИНЫ ПО ПРОЧНОСТИ

FEATURES OF DESIGN AND QUALITY CONTROL OF WOODEN STRUCTURES, TAKING INTO ACCOUNT THE STRENGTH CLASS OF WOOD

Переход на класс по прочности при проектировании деревянных конструкций позволяет обоснованно оценивать уровень надежности проектируемых конструкций. Сравниваются значения коэффициентов запаса прочности, заложенных в российских нормативных документах, с ранее действовавшими и оценивается их влияние на уровень надежности. В настоящей работе обосновывается влияние перехода на вероятностное нормирование прочностных свойств элементов и конструкций из древесины в целом с использованием классов. Развитие подхода позволит существенно повысить надежность и безаварийность возводимых деревянных конструкций, прежде всего большепролетных и многоэтажных зданий.

Ключевые слова: класс по прочности древесины, коэффициент запаса, уровень надежности.

The transition to strength classes in the design of wooden structures allows correctly assessing the level of reliability of the designed constructions. The article presents a comparison analysis of the safety factor values in the Russian regulative standards and those previously in force and assesses their impact on the reliability level. The influence of the transition to probabilistic normalization of the strength properties of elements and structures made of wood in general using strength classes is substantiated. The development of the approach will significantly improve the reliability and safety of wooden structures, especially large-span structures and multi-storey buildings.

Keywords: strength class of wood, safety factor, reliability level.

Введение понятия «класс древесины по прочности» в соответствии с СП 64.13330–2011 позволило использовать гарантированную величину прочности с вероятностью 95 %, в свою очередь это дает возможность проектировать конструкции с регламентированным уровнем надежности [1]. Уровень надежности оценивается по показателям «вероятность отказа» или «вероятность безотказной работы» [1–3]. Необходимо отметить, что современный подход к обеспечению надежности строительных конструк-

ций базируется на понятии «триада надежности» [4, 5]. Во многом в современном строительстве надежность и долговечность становятся синонимами эффективности и конкурентоспособности. Потери от брака и ремонтов в процессе эксплуатации приводят к нивелировке экономии в процессе строительства. Поэтому стоимость материалов составляет не самую значимую позицию. Современный подход требует уделять равное влияние всем элементам триады качества: надежность закладывается при проектирова-

нии, контролируется в процессе строительства и поддерживается при эксплуатации. Переход на определение прочности в соответствии с понятием «класс прочности» позволяет широко и достаточно эффективно использовать контроль качества в строительной индустрии [5].

Нормативные документы подразумевают установление уровня надежности вновь возводимых и эксплуатируемых конструкций по номинальным значениям показателей качества с учетом схем контроля, измерений и испытаний материалов. Вопрос повышения уровня надежности за счет совершенствования проектирования и контроля качества является актуальной задачей [10]. Основная задача неразрушимости и надежности конструкций — обеспечение условия [1, 2, 11]:

$$\bar{R} - \bar{Q} \geq 0, \quad (1)$$

где R и Q — допустимое и нормируемое значения прочности.

Характеристика безопасности, или индекс надежности, рассчитывается по формуле

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}}, \quad (2)$$

где S_R , S_Q — среднеквадратическое отклонение прочностных свойств материала и нагрузок.

Тогда вероятность отказа составит

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\beta^2 - 1}{\beta^3} \exp\left(-\frac{\beta^2}{2}\right). \quad (3)$$

Величина вероятности отказа имеет обратную зависимость от изменчивости резерва прочности. Чем меньше резерв прочности, тем меньше индекс надежности β , тем выше вероятность отказа. Плотность распределения вероятности отказа связана с индексом надежности и коэффициентом запаса [1, 2]:

$$\beta = \frac{K_{\text{зап}} - 1}{\sqrt{(v_Q^2 K_{\text{зап}} + v_R^2)}}, \quad (4)$$

где $v_R = \frac{S_R}{\bar{R}}$, $v_Q = \frac{S_Q}{\bar{Q}}$ — коэффициенты вариации прочностных свойств и нагрузок.

Для древесины как конструкционного материала величину нормативного сопротивления материалов определяют по формуле [7–9]

$$R^H = R^{HP}(1 - 1,65v_R), \quad (5)$$

где R^{HP} — величина временной прочности материала (среднее значение распределения); 1,65 —

квантиль в предполагаемой статистической функции распределения с обеспеченностью 0,95, для которой определяется нормативное сопротивление.

Расчетные сопротивления R^P определяют по формуле [1]

$$R^P = R^H m_{\text{дл}} / \gamma_m \quad (6)$$

при обеспеченности 0,99 с учетом коэффициента надежности по материалу γ_m , определяемого из условия перехода от обеспеченности 0,95 для R^H к обеспеченности 0,99:

$$\gamma_m \geq (1 - \eta_n v) / (1 - \eta_p v), \quad (7)$$

где η_n , η_p — квантили для обеспеченности 0,95 для R^H (1,65) и обеспеченности 0,99 (2,33).

При этом распределение вероятностей принимается нормальным, с односторонним интервалом раскрытия доверительной вероятности. Поскольку опасна для конструкций только недостаточная прочность, превышение прочности над доверительным интервалом не представляется опасным. Необходимо отметить, что для других материалов, например бетона, используется доверительная вероятность 95 %. Сложно представить востребованность и обеспечение прочностных показателей деревянных конструкций с вероятностью 0,99. В ГОСТ 16483.0–89 по определению механических свойств (прил. 1) используется двухсторонний интервал раскрытия, что приводит фактически к достоверности 97,5 %, если использовать допустимые ориентировочные коэффициенты вариации прочности.

Переход от класса к временному сопротивлению происходит в соответствии с нормативной документацией (табл. 1).

Ранее при испытании древесины для перехода от прочности в образцах к прочности в конструкциях использовались коэффициент однородности $K_{\text{одн}}$, учитывающий наличие дефектов структуры и пороков, и коэффициент длительности $K_{\text{дл}}$, учитывающий уменьшение предела прочности при длительном действии нагрузки. Величина $K_{\text{одн}}$ представлена в табл. 2 [1, 6], $K_{\text{дл}}$ принимался равным 0,67.

Коэффициент запаса, использованный ранее, учитывал опасность внезапного хрупкого разрушения при различных видах НДС, а при сжатии сопоставим с показателем, заложенным в классе бетона, что обеспечивало требуемый уровень надежности и безотказности. Поэтому необходимо

Таблица 1

Определение коэффициента запаса древесины по современным нормативным документам

Вид напряженного состояния	$\frac{R^H_{ч}}{R^{BP}_{ч}}$ чистой древесины		ν [4]	$K = R^H/R^{BP}$ $R^H = R^{BP}(1 - 1,65\nu)$	Тогда мин. коэф. γ_m	R^P/R^{BP} $R^P = R^H/\gamma_m$	$K_{зап}$
1. Изгиб:							
б) при нагружении пластины	$\frac{57}{80}$	0,71	0,15	0,75	1,16	0,65	1,54
2. Сжатие вдоль волокон	$\frac{33}{44}$	0,75	0,13	0,78	1,13	0,69	1,44
3. Растяжение вдоль волокон	$\frac{60}{100}$	0,6	0,2	0,67	1,25	0,53	1,87

Таблица 2

Коэффициент запаса и его составляющие: коэффициенты однородности и длительности

Испытание	$K_{одн}$ [6]	$K_{зап} = 1/K_{одн}$	$K_{зап} = 1/(K_{одн} K_{дл})$ — с учетом коэффициента длительности
Изгиб	0,4	2,5	3,7
Сжатие	0,67	1,49	2,2
Растяжение	0,27	3,70	5,55

внимательно относиться к результатам испытания, поскольку высокий класс можно присвоить менее прочной древесине из-за отсутствия учета требуемой вероятности отказа. Коэффициент вариации для древесины $v = 0,13; 0,15; 0,2$ (см. табл. 1) тоже представляется не всегда допустимым, особенно для старой древесины, эксплуатировавшейся длительное время.

Коэффициент однородности менялся из-за влияния характера разрушения (вязкое или хрупкое) и наличия сучков и дефектов, допустимых для сорта, выходящих на плась. Видно, что при прочих равных условиях конструкции, проектировавшиеся по ранним документам, обеспечивали более высокий уровень надежности. Особенно важно учитывать реальные запасы несущей способности конструкций при проектировании конструкций, работающих на растяжение, поскольку при растягивающих усилиях древесина разрушается внезапно.

Библиографический список

1. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.

2. Райзер В. Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: АСВ, 1998. 304 с.

3. Райзер В. Д. Теория надежности сооружений. М.: АСВ, 2010. 382 с.

4. Ефремов И. В., Рахимова Н. Н. Надежность технических систем и техногенный риск. Оренбург: ОГУ, 2013. 163 с.

5. Belentsov Yu. A., Smirnova O. M. Influence of acceptable defects on decrease of reliability level of reinforced concrete structures // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET). 2018. Vol. 9, Issue 11. Pp. 2999–3005. Article ID: IJCET_09_11_297. URL: <http://www.iaeme.com/ijcet/issues.asp?JType=IJCET&VType=9&IType=11>.

6. Карлсен Г. Г., Большаков В. В., Каган М. Е., Свенцицкий Г. В. Деревянные конструкции. 2-е изд., перераб. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952. 758 с.

7. Серов Е. Н. Рекомендации к совершенствованию норм проектирования деревянных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. № 4 (532). С. 9–16.

8. Ведяков И. И., Погорельцев А. А., Пятикрестовский К. П. Перспективы совершенствования норм проектирования деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 4. С. 28–32.

9. Погорельцев А. А., Пятикрестовский К. П. Дальнейшее развитие и совершенствование норм проектирования конструкций из древесины // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 3. С. 35–41.
10. Надольский В. В., Голицки М., Сыкора М., Тур В. В. Сопоставление уровней надежности, обеспечиваемых нормами Российской Федерации и Евросоюза // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 7–20.
11. Беленцов Ю. А., Харитонов А. М. Определения коэффициента запаса при оценке качества кирпичных конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 4 (57). С. 105–110.

References

1. Rzhantsyn A. R. *Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktsiy na nadezhnost'* [The theory of calculation of building structures for reliability]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978, 239 p.
2. Rayzer V. D. *Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii* [Reliability theory in construction design]. Moscow, ASV, 1998, 304 p.
3. Rayzer V. D. *Teoriya nadezhnosti sooruzheniy* [The theory of reliability of structures]. Moscow ASV Publ., 2010, 382 p.
4. Efremov I. V., Rakhimova N. N. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk* [The reliability of technical systems and technogenic risk]. Orenburg, OGU Publ., 2013, 163 p.
5. Belentsov Yu. A., Smirnova O. M. Influence of acceptable defects on decrease of reliability level of reinforced concrete structures. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2018, vol. 9, iss. 11, pp. 2999–3005. Article ID: IJCIET_09_11_297. URL: <http://www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=11>.
6. Karlsen G. G., Bol'shakov V. V., Kagan M. E., Svetsitskiy G. V. *Derevyannye konstruktsii* [Wooden structures]. 2-nd ed., revised. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture Publ., 1952, 758 p.
7. Serov E. N. *Rekomendatsii k sovershenstvovaniyu norm proektirovaniya derevyannykh konstruktsiy* [Recommendations for improving the design standards of wooden structures]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo – News of higher educational institutions. Construction*, 2003, no. 4 (532), pp. 9–16.
8. Vedyakov I. I., Pogorel'tsev A. A., Pyatikrestovskiy K. P. *Perspektivy sovershenstvovaniya norm proektirovaniya derevyannykh konstruktsiy* [Prospects for improving the norms of designing wooden structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil construction*, 2015, no. 4, pp. 28–32.
9. Pogorel'tsev A. A., Pyatikrestovskiy K. P. *Dal'neyshee razvitie i sovershenstvovanie norm proektirovaniya konstruktsiy iz drevesiny* [Further development and improvement of standards of design of wooden structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil construction*, 2019, no. 3, pp. 35–41.
10. Nadol'skiy V. V., Golitski M., Sykora M., Tur V. V. *Sopostavlenie urovney nadezhnosti, obespechivaemykh normami Rossiyskoy Federatsii i Evrosoyuza* [Comparison of reliability levels provided by the norms of the Russian Federation and the European Union]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MGSU*, 2013, no. 6, pp. 7–20.
11. Belentsov Yu. A., Kharitonov A. M. *Opredeleniya koeffitsienta zapasa pri otsenke kachestva kirpichnykh konstruktsiy* [Assessing the factor of ignorance at the evaluation of the quality of masonry structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 4 (57), pp. 105–110.