

УДК 624.011.1:620.173.2

## К вопросу о сравнении физико-механических характеристик конструкционной древесины XIX и XX веков

**Николай Владимирович ЛИНЬКОВ**, кандидат технических наук, доцент, e-mail: Nicklinkov@gmail.com

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337 Москва, Ярославское ш., 26

**Аннотация.** Для конструкционной древесины, относящейся к строительным периодам XIX в. и конца XX в., определены влажность, плотность, а также прочностные, упругие и деформационные характеристики материала, в том числе пределы прочности древесины при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе, модуль упругости древесины при изгибе, верхняя граница области упругой работы древесины при сжатии вдоль волокон и при изгибе. По указанным характеристикам, приведенным к стандартной влажности древесины, выполнено сравнение современной конструкционной древесины с древесиной XIX в. и с соответствующими нормативными значениями, установленными в СП 64.13330.2017 «СНиП II-25-80 Деревянные конструкции». Сравнение показателей древесины, относящейся к разным строительным периодам, проводили для двух возрастных групп – древесины возрастом 75 лет и 110 лет. Статистическими методами установлена достоверность различия между характеристиками современной древесины и конструкционной древесины XIX в. по плотности и по временному сопротивлению сжатию вдоль волокон.

**Ключевые слова:** конструкционная древесина, предел прочности при сжатии вдоль волокон, предел прочности при изгибе, верхняя граница области упругой работы, модуль упругости, деформация материала.

### TO THE ISSUE OF COMPARING THE PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL TIMBER OF THE XIX AND XX CENTURIES

**Nikolay V. LINKOV**, e-mail: Nicklinkov@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

**Abstract.** For structural timber related to the construction periods of the XIX century and the end of the XX century, the moisture, density, strength, elasticity and deformation characteristics of the material, including the ultimate strength of the wood during compression along the fibers and under static bending, the module of elasticity of wood during bending, the upper limit of the area of elastic work of wood when compressed along fibers and when bending were determined. According to the specified characteristics, reduced to the standard wood moisture ( $W = 12\%$ ), a comparison of modern structural wood with wood of the XIX century, as well as with the corresponding normative values established in the current standards - Set of Rules 64.13330.2017 "SNiP II-25-80. Wooden structures" is made. A comparison of wood values related to different construction periods was carried out for two age groups - wood aged 75 years and wood aged 110 years. Statistical methods established the reliability of the difference between the characteristics of modern wood and structural wood of the XIX century in terms of density and temporal resistance to compression along the fibers.

**Key words:** structural wood, compressive strength along fibers, bending strength, upper limit of elastic work area, modulus of elasticity, material deformation.

Древесина хвойных пород – старейший конструкционный материал, для которого характерны высокая изменчивость свойств [1] и проявляющееся влияние длительной эксплуатации на механические свойства материала [2]. Это отражается в методике нормирования прочностных характеристик и в относительно высоких значениях вариационных коэффициентов показателей прочности для основных напряженных состояний. При

этом прочностные и упругие характеристики древесины [3–7], применяемые в расчетах при проектировании и в экспериментальных исследованиях деревянных конструкций [8–18], установлены для 1, 2 и 3-го сортов в зависимости от сортообразующих признаков более 35 лет назад (СНиП II-25-80) и корректируются в основном коэффициентами условий работы. В то же время на прочностные и упругие характеристики древесины влияют

многочисленные факторы, в том числе условия произрастания, изменяющиеся с течением времени, а также фактический возраст дерева, из которого получена конструкционная древесина.

Цель работы – сравнительная оценка прочностных и деформационных характеристик древесины хвойных пород, относящейся к разным строительным периодам – XIX в. и концу XX в., на примере древесины сосны Архангельской обл. Выполнена ко-

личественная оценка изменения свойств современной древесины как конструкционного строительного материала по сравнению с древесиной, которая использовалась в строительстве 120–130 лет назад в одном из основных лесопроизводящих регионов европейской части нашей страны.

При реставрации объектов деревянного зодчества в Каргопольском р-не Архангельской обл. были отобраны образцы конструкционной древесины, относящейся к двум различным строительным периодам: строительному периоду XIX в. (древесина-1) и строительному периоду конца XX в. (древесина-2). Древесина-1 и древесина-2 относятся к одному региону произрастания, с разницей между строительными периодами 120–130 лет. Поскольку физико-механические свойства конструкционной древесины зависят от естественного возраста дерева, из которого получен пиломатериал, в старой и новой древесине были выделены две возрастные группы образцов: с возрастом до 75 лет (группа 1: древесина-1/75, древесина-2/75) и с возрастом до 110 лет (группа 2: древесина-1/110, древесина-2/110), что позволило провести сравнение характеристик древесины по двум возрастным группам. Сравнительные испытания проводили на древесине, не подвергавшейся эксплуатационным силовым воздействиям, образцы старой древесины выбирали из слабонапряженных зон эксплуатируемых конструкций.

Испытания выполняли на малых образцах чистой древесины по стандартным методикам ГОСТ 16483. Определяли плотность древесины, предел прочности при сжатии вдоль волокон, модуль упругости и предел прочности при статическом изгибе. При испытании на сжатие вдоль воло-

### 1. Результаты испытаний древесины 1/75 и 2/75 возрастом до 75 лет

Показатели	Древесина		Достоверность различия	Вероятность различия, %	Др.-1/75 Др.-2/75
	1/75	2/75			
Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>	474,53	430,08	Да	100	1,1
$R_{вр}$ при сжатии вдоль волокон, МПа	48,7	40,32	Да	100	1,21
$\sigma_{I-II}$ при сжатии вдоль волокон, МПа	30,9	22,24	Да	100	1,39
$R_n$ при сжатии вдоль волокон, МПа	41,31	35,18	–	–	1,17
$R_{вр}$ при изгибе, МПа	74,72	71,97	Нет	44	1,04
$\sigma_{I-II}$ при изгибе, МПа	42,43	37,24	Нет	41	1,14
$R_n$ при изгибе, МПа	57,37	57,36	–	–	1
Модуль упругости при изгибе, МПа	11247	9635	Нет	96,6	1,17
Деформативность при сжатии вдоль волокон, мм/МПа·100	0,797	1,164	Нет	99	0,68
Деформативность при изгибе, мм/МПа·100	5,64	6,74	Нет	93,7	0,84

кон и на изгиб измеряли деформации образцов под нагрузкой, что позволило установить напряжения  $\sigma_{I-II}$ , соответствующие верхней границе области упругой работы материала. Полученные результаты приводили к стандартной влажности древесины  $W = 12\%$ , после чего проводили статистическую обработку экспериментальных данных. Также проверяли достоверность различия между физико-механическими характеристиками старой и современной древесины с поправкой на малое число наблюдений по формуле

$$\frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \geq 3 + \frac{6}{n - 4},$$

где  $M_1, m_1, M_2, m_2$  – среднее арифметическое и средняя ошибка среднего арифметического по результатам статистической обработки характеристик древесины-1 и древесины-2 соответственно;  $n$  – количество наблюдений.

В табл. 1 и 2 представлены результаты статистической обра-

ботки, сравнения и оценки достоверности разницы приведенных к стандартной влажности  $W = 12\%$  характеристик старой и современной конструкционной древесины. При этом в табл. 1 приводится сравнение старой и современной древесины возрастом до 75 лет, в табл. 2 – для старой и современной древесины возрастом до 110 лет.

Для конструкционной древесины возрастом не более 75 лет XIX в. (древесина-1/75) и современной (древесина-2/75) плотность меньше приведенной в СП 64.13330.2017 «СНиП II-25-80 Деревянные конструкции» соответственно в 1,055 и в 1,16 раза. Временное сопротивление сжатию вдоль волокон для древесины-1/75 больше указанного в СП – в 1,11 раза, нормативное сопротивление для чистой древесины – больше в 1,25 раза. Современная конструкционная древесина-2/75 имеет временное сопротивление сжатию вдоль во-

локон в среднем 40,32 МПа, что в 1,09 раза меньше (на 9 %), чем временное сопротивление чистой древесины согласно СП. Однако нормативное сопротивление древесины-2/75 сжатию вдоль волокон при вариационном коэффициенте  $V = 7,7\%$  составило 35,18 МПа, что в 1,07 раза (на 7 %) больше. Временное сопротивление изгибу для древесины-1/75 меньше в 1,07 раза, для древесины-2/75 – в 1,11 раза по сравнению со значениями СП. Нормативное сопротивление изгибу чистой древесины при вариационных коэффициентах 14 и 12 % составило 57,4 МПа, что практически соответствует данным свода правил. Модуль упругости при изгибе древесины-1/75 в 1,17 раза больше, деформативность – в 1,16 раза меньше, чем у современной конструкционной древесины. Уровень верхней границы области упругой работы материала у современной древесины меньше, чем у древесины XIX в., в 1,14 раза при изгибе и в 1,39 раза при сжатии вдоль волокон. В целом следует отметить, что для древесины возрастом до 75 лет характеристики конструкционной древесины XIX в. (древесина-1/75) больше соответствующих характеристик современной конструкционной древесины от 4 до 39 %. При этом достоверность различия между показателями старой и современной древесины возрастом до 75 лет подтверждается для плотности и для сжатия вдоль волокон с вероятностью 100 %, а для модуля упругости – с вероятностью 96 %.

Для зрелой конструкционной древесины XIX в. возрастом до 110 лет (древесина-1/110) плотность больше на 7,5 %, для современной древесины (древесина-2/110) – меньше на 1,3 %. Временное сопротивление сжатию вдоль волокон для древесины-1 и древесины-2 больше ука-

## 2. Результаты испытаний древесины возрастом до 110 лет

Показатели	Древесина		Достоверность различия	Вероятность различия, %	Др.-1/110 Др.-2/110
	1/110	2/110			
Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>	537,3	493,53	Нет	78,44	1,09
$R_{вр}$ при сжатии вдоль волокон, МПа	63,69	48,8	Да	100	1,31
$R_H$ при сжатии вдоль волокон, МПа	47,82	43,62	–	–	1,096
$R_{вр}$ при изгибе, МПа	97,33	96,1	Нет	12,8	1,01
$\sigma_{II}$ при изгибе, МПа	53,57	48,94	Нет	60,5	1,09
$R_H$ при изгибе, МПа	80,96	69,61	–	–	1,16
Модуль упругости при изгибе, МПа	14942	14715	Нет	12,8	1,02
Деформативность при изгибе, мм/МПа·100	4,24	4,56	Нет	45,2	0,93

занных в СП значений в 1,44 и 1,1 раза соответственно, сопротивление для чистой древесины – больше в 1,45 и в 1,32 раза. Временное сопротивление изгибу для древесины 1/110 больше указанного в СП в 1,22 раза, для древесины-2 – в 1,2 раза. Нормативное сопротивление изгибу чистой древесины при вариационных коэффициентах 9,5 и 17,3 % составило 81 и 69,6 МПа, что больше в 1,42 и в 1,22 раза по сравнению с данными СП. Модуль упругости при изгибе древесины 1/110 и древесины 2/110 отличается не более чем на 2 %, деформативность у современной конструкционной древесины выше на 7 %. Уровень верхней границы области упругой работы при изгибе современной древесины меньше, чем древесины XIX в., на 9 %.

В целом следует отметить, что для зрелой древесины возрастом до 110 лет рассмотренные в настоящей статье характеристики конструкционной древесины XIX в. (древесина-1/110) больше характеристик современной конструкционной древесины от 1 до 31 %. При этом достоверность различия между характеристика-

ми старой и современной зрелой конструкционной древесины возрастом до 110 лет подтверждается статистическими вычислениями только для сжатия вдоль волокон.

### Выводы

1. Древесина, относящаяся к строительным периодам XIX в. и настоящего времени, может применяться в качестве конструкционного строительного материала. Полученные в результате испытаний малых образцов чистой древесины и последующей статистической обработки нормативные сопротивления сжатию вдоль волокон больше установленных действующими нормами: для древесины возрастом до 75 лет – на 7 и 25 %, для древесины возрастом до 110 лет – на 32 и 45 % для современной древесины и древесины XIX в. соответственно. Нормативные сопротивления изгибу современной древесины и древесины XIX в. больше установленных действующими нормами: для древесины возрастом до 75 лет – на 1 %; для древесины возрастом до 110 лет – на 22 и 42 % соответственно.

2. Подтверждена достовер-

ность различия между физико-механическими характеристиками конструкционной древесины XIX в. и современной древесины по плотности, временному сопротивлению при сжатии вдоль волокон и верхней границе области упругой работы при сжатии вдоль волокон.

3. Для двух возрастных групп

древесины все рассмотренные в настоящей статье прочностные и упругие характеристики современной конструкционной древесины меньше соответствующих характеристик конструкционной древесины XIX в.: плотность на 9–10 %, временное сопротивление сжатию вдоль волокон на 21–31 %, временное сопротив-

ление изгибу на 1–4 %, модуль упругости при изгибе на 2–17 %, деформативность при изгибе выше на 7–16 %.

При этом с увеличением абсолютного возраста древесины разница между характеристиками конструкционной древесины XIX в. и современной древесины снижается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Линьков В. И. К вопросу оценки прочности древесины длинномерных элементов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 250–253.
2. Терентьев В. Я., Никонов Н. И., Сушинская Р. И. Механические свойства древесины сосны после длительной эксплуатации в несущих конструкциях зданий // Деревообрабатывающая промышленность. 1988. № 7. С. 15–17.
3. Арленинов Д. К. Учет ползучести древесины при расчете деревянных конструкций // Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 2. С. 10–11.
4. Арленинов Д. К. О новом нормативном значении модуля упругости древесины // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 3. С. 19–20.
5. Бондаренко В. М., Пятикрестовский К. П. К вопросу о ползучести древесины // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 4. С. 29–31.
6. Погорельцев А. А., Пятикрестовский К. П. Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 10. С. 33–35.
7. Целаев В. А. Оценка модуля упругости древесины конструкций // Жилищное строительство. 2003. № 2. С. 11–13.
8. Линьков И. М., Линьков В. И. Деревянные клееные конструкции в XXI веке // Строительный эксперт. 2006. № 9. С. 24.
9. Клименко В. З. Расчет деревянных конструкций по деформациям и на прочность по деформируемой схеме // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 6. С. 67–73.
10. Клименко В. З., Михайловский Д. В., Коваленко М. С. Поиск истины в модулях упругости древесины при расчете сжато-изгибаемых элементов // Сб. научных трудов. Одесса : ОГАСА, 2012. С. 115–123.
11. Клименко В. З. Феноменологический подход расчету сжато-изгибаемых деревянных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 1. С. 7–11.
12. Линьков Н. В. Напряженно-деформированное состояние деревянных балок составного сечения на КМ-соединениях при длительном действии нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 7. С. 44–48.
13. Линьков Н. В. Расчет деревянных балок составного сечения на соединениях с применением композиционного материала по теории составных стержней А. Р. Ржаницына // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 4. С. 18–20.
14. Михайловский Д. В., Коваленко М. С., Клименко В. З. Расчет верхних поясов ферм из клееной древесины // Сб. научных трудов, Одесса : ОГАСА, 2010. С. 157–162.
15. Пятикрестовский К. П. К вопросу о выборе модулей упругости при расчете деревянных конструкций на прочность, устойчивость и по деформациям // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 3. С. 73–78.
16. Пятикрестовский К. П. О расчете внецентренно-сжатых и сжато-изгибаемых элементов из клееной и цельной древесины // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 6. С. 62–68.
17. Стоянов В. В., Острый Р. А., Масляненко Е. В., Богаченко А. В., Топалов П. П. Экспериментальные исследования деревянной балки с глубокой подрезкой на опоре // Сб. научных трудов, Одесса : ОГАСА, 2006. С. 209–214.
18. Pyatikrestovsky K. P., Travush V. I. A complex analysis of stress-strain state of ribbed wooden structures with anisotropic sheathings [Комплексный анализ напряженно-деформированного состояния ребристых деревянных конструкций с анизотропными оболочками] // Materials Physics and Mechanics. 2017. Vol. 31. № 1–2. Pp. 56–58.

#### REFERENCES

1. Lin'kov V. I. To the question of assessing the strength of the timber elements long. *Nauchno-tekhicheskiy vestnik Povolzh'ya*, 2014, no. 5, pp. 250–253. (In Russian).
2. Terent'ev V. Ya., Nikonov N. I., Sushinskaya R. I. Mechanical properties of pine wood after prolonged use in load-bearing structures of buildings. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 1988, no. 7, pp. 15–17. (In Russian).
3. Arleninov D. K. Consideration of creep of wood in the

- calculation of wooden structures. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 2008, no. 2, pp. 10–11. (In Russian).
4. Arleninov D. K. About new normative value of wood elasticity modulus. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 3, pp. 19–20. (In Russian).
  5. Bondarenko V. M., Pyatikrestovskiy K. P. The question of creep of wood. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2016, no. 4, pp. 29–31. (In Russian).
  6. Pogorel'tsev A. A., Pyatikrestovskiy K. P. Substantiation of rated values of elasticity modules for calculation of timber structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 10, pp. 33–35. (In Russian).
  7. Tsepaev V. A. Evaluation of modulus of elasticity of wood structures. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2003, no. 2, pp. 11–13. (In Russian).
  8. Lin'kov I. M., Lin'kov V. I. Glulam in the twenty-first century. *Stroitel'nyy ekspert*, 2006, no. 9, p. 24. (In Russian).
  9. Klimenko V. Z. Calculation of wooden structures on the deformation and strength for wrought scheme. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2012, no. 6, pp. 67–73. (In Russian).
  10. Klimenko V. Z., Mikhaylovskiy D. V., Kovalenko M. S. The search for truth in the modulus of elasticity of wood in the calculation of compressed-bent elements. *Sb. nauchnykh trudov*. Odessa, OGASA Publ., 2012, pp. 115–123. (In Russian).
  11. Klimenko V. Z. Phenomenological approach to the calculation of compressed-bent wooden elements. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2011, no. 1, pp. 7–11. (In Russian).
  12. Lin'kov N. V. Stress-strain state of cross section wooden beams on composite connections at long-term load. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 7, pp. 44–48. (In Russian).
  13. Lin'kov N. V. Calculation of wooden beams of composite section, connections of which are made of a composite material according to the theory of built-up bars of A. R. Rzhanitsyn. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 4, pp. 18–20. (In Russian).
  14. Mikhaylovskiy D. V., Kovalenko M. S., Klimenko V. Z. The calculation of the upper belts of trusses of laminated wood. *Sb. nauchnykh trudov*, Odessa, OGASA Publ., 2010, pp. 157–162. (In Russian).
  15. Pyatikrestovskiy K. P. The question of the choice of elastic moduli in the calculation of wooden structures for strength, stability and deformations. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2013, no. 3, pp. 73–78. (In Russian).
  16. Pyatikrestovskiy K. P. On the calculation of eccentrically-compressed and compressed-bent elements from glued and solid wood. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2012. no. 6, pp. 62–68. (In Russian).
  17. Stoyanov V. V., Ostryy R. A., Maslyanenko E. V., Bogachenko A. V., Topalov P. P. Experimental study of wooden beams with a deep cutting on the support. *Sb. nauchnykh trudov*, Odessa, OGASA Publ., 2006, pp. 209–214. (In Russian).
  18. Pyatikrestovskiy K. P., Travush V. I. A complex analysis of stress-strain state of ribbed wooden structures with anisotropic sheathings. *Materials Physics and Mechanics*, 2017, vol. 31, no. 1–2, pp. 56–58.

Для цитирования: *Линьков Н. В.* К вопросу о сравнении физико-механических характеристик конструкционной древесины XIX и XX веков // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 1. С. 58–62.

For citation: Linkov N. V. To the Issue of Comparing the Physico-Mechanical Characteristics of Structural Timber of the XIX and XX centuries. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2018, no. 1, pp. 58–62. (In Russian). ■

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

НАПОМИНАЕМ, ЧТО ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ

**«ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»**

МОЖНО НАЧИНАЯ С ЛЮБОГО МЕСЯЦА В ЛЮБОМ ОТДЕЛЕНИИ СВЯЗИ

ИЛИ В РЕДАКЦИИ. В РЕДАКЦИИ ТАКЖЕ МОЖНО ПОДПИСАТЬСЯ

НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА.

ИНДЕКС ЖУРНАЛА **«ПГС»** В КАТАЛОГЕ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»

**70695** («ГАЗЕТЫ. ЖУРНАЛЫ»).

ИНДЕКС В ОБЪЕДИНЕННОМ КАТАЛОГЕ «ПРЕССА РОССИИ» – **91622**.