

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ
СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ
ПРИ СИЛОВОМ И СРЕДОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH
OF DURABILITIES AND STABILITY
THE SQUEEZED CORES FROM WOOD
AT POWER AND ENVIRONMENTAL INFLUENCE**

В.И. ТРАВУШ, В.И. КОЛЧУНОВ, К.О. ДМИТРИЕВА
V.I. TRAVUSH, V.I. KOLCHUNOV, K.O. DMITRIEVA

(Российская академия архитектуры и строительных наук,
Юго-Западный государственный университет)
(Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
South-West State University)
E-mail: travush@mail.ru, asiorel@mail.ru, dko1988@yandex.ru

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований параметров прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины при силовом нагружении и переменной влажности, выполненные по специально разработанной методике. Программа исследований включала пять серий стержней из древесины по шесть образцов в каждой. Для создания одновременного приложения к опытному образцу нагрузки и среднего воздействия испытательная установка размещалась в герметичной камере. Расчет опытных конструкций выполнен на основе деформационной реологической модели Г.А. Гениева. Проведено сопоставление теоретических и опытных значений критической силы.

The results of experimental and theoretical studies of the parameters of strength and stability of compressed bars of wood in power loading and variable humidity, made by a specially developed technique. To creat simultaneous application of an experienced load pattern and the impact of environmental test set housed in a sealed chamber. The research program included a series of five bars of wood, six samples each. Calculation of experimental designs is made on the basis of G.A. Geniev deformation rheological model. The analysis of the experimental and theoretical values of critical force.

Ключевые слова: стержень из древесины, длительная прочность, влажность, устойчивость, критическая сила, физическая модель.

Keywords: rod of wood, long-term strength, moisture resistance, critical force, physical model.

Значительная часть действующих предприятий текстильной промышленности построены более 50...60 лет назад. Несущие стены здания и колонны традиционно выполнялись из кирпича; стропильные конструкции покрытия и междуэтаж-

ные перекрытия чаще всего были деревянными. Кроме того, здания обычно при-страивались и надстраивались по мере развития производства. С течением времени и под воздействием силовых и средовых факторов несущие конструкции зданий

текстильной промышленности все чаще приходят в ветхое состояние и требуют ремонта (рис. 1 – деревянная стропильная система покрытия вспомогательного здания фабрики по производству нетканых материалов в г. Железногорске Курской области).



Рис. 1

В настоящее время разработаны различные технологии поддержания таких конструкций в эксплуатационном состоянии. Например, в работе [1] представлены конструктивные решения одно- и многослойных стен аварийных фасадов текстильных фабрик, обеспечивающие их дальнейшую безопасную эксплуатацию. Основной сложностью при усилении деревянных конструкций объектов текстильной промышленности является отсутствие результатов исследования деревянных конструкций на отдельные виды воздействий при их эксплуатации. В частности, недостаточно изученными остаются вопросы прочности и устойчивости стержней из древесины в условиях длительного силового и средового сопротивления. В связи с этим в статье приведены некоторые результаты экспериментально-теоретических исследований прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины при силовом и одновременном проявлении силового и средового воздействия.

Экспериментальные исследования длительной прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины проведены с целью проверки разработанного расчетного аппарата прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины [2], [4], [7], осно-

ванного на реологической модели деформирования древесины с вязкой составляющей [3], [6]. При планировании экспериментальных исследований сформулированы и решены следующие задачи:

- разработка методики, экспериментальной установки и опытных образцов для оценки устойчивости сжатых стержней из древесины при силовом нагружении и одновременном проявлении средового воздействия в виде переменной влажности образца;

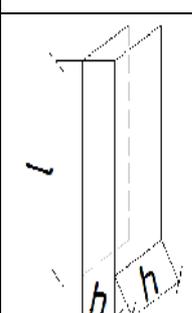
- проведение испытаний образцов центрально-сжатых стержней из древесины при их статическом нагружении и переменной влажности;

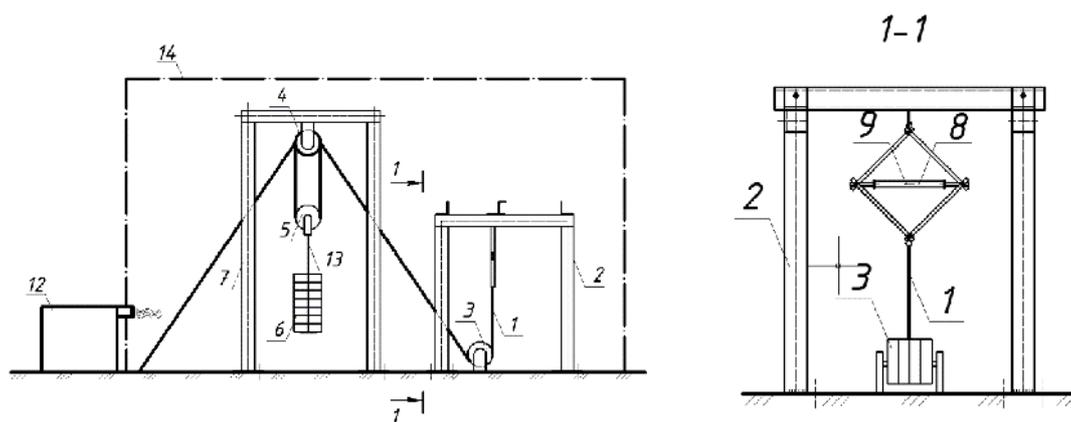
- сопоставление и анализ опытных параметров прочности и устойчивости исследуемых образцов с их расчетными значениями, полученными по разработанной методике [2], [3].

Программа исследований включала пять серий стержней из древесины по шесть образцов в каждой. Основные параметры экспериментальных образцов приведены в табл. 1 (основные параметры экспериментальных образцов деревянных стержней), количество испытываемых конструкций принято с учетом возможности варьирования гибкостью стержней и влажности древесины. Механические характеристики древесины были определены в соответствии с действующими стандартами на определение физико-механических характеристик.

Опытные образцы деревянных стержней изготавливали в столярной мастерской "Элина" г. Курска. Экспериментальные значения параметров прочности и устойчивости центрально-сжатых стержней из древесины при силовом нагружении и переменной влажности определяли по специально разработанной методике, приоритет которой защищен патентом РФ на полезную модель № 142336. Схема и общий вид опытной установки приведены на рис. 2: схема (а), общий вид (б) и рабочая шарнирно-стержневая система (в) установки для оценки прочности и устойчивости центрально-сжатого стержня из древесины.

Таблица 1

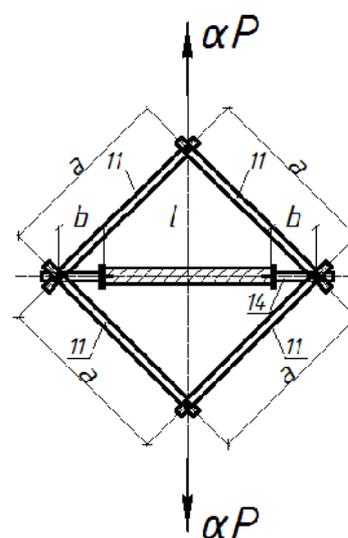
Длина, мм	Высота, мм	Ширина, мм	Эскиз образца	I_{\min} , мм ⁴	I_{\max} , мм ⁴	Радиус ин. min, мм	Радиус ин. max, мм	Гибкость
25	3	1		2500	22500	2,89	8,66	86,603
30	3	1		2500	22500	2,89	8,66	103,923
35	3	1		2500	22500	2,89	8,66	121,244
40	3	1		2500	22500	2,89	8,66	138,564
45	3	1		2500	22500	2,89	8,66	155,885



а)



б)



в)

Рис. 2

Установка устроена следующим образом: рабочая шарнирно-стержневая система с одной стороны на анкерных болтах крепится к жесткому основанию, с другой стороны к этой шарнирно-стержневой системе закрепляется канат 1, который запа-

совывается через подвижную обойму блока полиспаста 5 и неподвижную обойму блока полиспаста 3. Блок полиспаста 3 неподвижно закрепляется на несущей раме 2, через неподвижную обойму блока по-

лиспа 4 канат соединяется с элементом для крепления груза 13.

Испытательная установка работает следующим образом. На элемент для крепления груза 13 подвешивается груз 6, который создает натяжение каната 1. Усилие натяжения у рабочей рамки увеличивается в соответствии с кратностью полиспада. В металлических силовых элементах рабочей шарнирно-стержневой системы возникают усилия растяжения. При этом в сжимающих элементах 11 этой системы возникают сжимающие усилия, которые нагружают исследуемый деревянный опытный образец 8. При нагружении опытного образца масса груза увеличивается ступенями.

В процессе эксперимента при помощи тензорезисторов 9, установленных на поверхности опытного образца, фиксируются деформации его верхних волокон. Прогиб опытного образца в процессе нагружения измеряли электронным прогибомером, а изменение длины стержня определяли по перемещению груза 6. Таким образом, с помощью описанной установки в опытном образце создается сжимающее усилие N . Это позволяет, увеличивая нагрузку заранее протарированными грузами, исследовать устойчивость сжатого деревянного стержня. Сила тяжести, создаваемая за счет массы грузов, вызывает натяжение каната, которое посредством шарнирно-стержневой системы рабочей рамки преобразуется в сжимающую силу.

В соответствии с принятой конструктивной системой испытательного стенда и принятой кратностью полиспада значение сжимающей силы, передаваемой на исследуемый образец, определяли из уравнения статики [5] по следующей формуле:

$$N = \alpha P \frac{(b+0,5\ell)\sqrt{a^2-0,25(0,5\ell+b)^2}}{a^2}, \quad (1)$$

где α – кратность полиспада; P – масса груза; ℓ – длина испытываемого образца; a , b – размеры рабочей рамки шарнирно-стержневой системы (рис. 2-в).

Для создания одновременного приложения к опытному образцу нагрузки и среднего воздействия испытательная установка размещалась в герметичной ка-

мере 15. При помощи увлажнителя воздуха 12 в камере изменяется влажность до заданного уровня.

Расчет опытных конструкций выполняли на основе деформационной реологической модели Г.А. Гениева [3], [8]. Согласно этой модели предельное значение главной линейной деформации древесины ϵ_{ult} и предельного значения критической силы центрально-сжатого прямолинейного стержня из древесины во времени определяли по формулам:

$$\epsilon_{ult} = \epsilon_0 + \epsilon_1, \quad (2)$$

$$P_{кр}(w, t) = \frac{v^2 I}{\ell^2} \frac{4\sqrt{6(1-0,913t^{0,38})^2 + 2,25} - 1,5}{2(1-0,913t^{0,38})^2 \epsilon(t_0)(1+bt^{0,21})}, \quad (3)$$

где ϵ_0 – деформации, соответствующие элементу А используемой физической модели деформирования, характеризующие процесс кратковременного ("мгновенного") нагружения; ϵ_1 – деформации, соответствующие модели Кельвина-Фойгта, последовательно соединяемой с элементом А [2], [4]; ϵ_{ult} – предельное значение деформации; $\varphi_{ult} = \frac{\sigma_{ult}}{E}$, σ_{ult} – длительная предельная прочность древесины; $v = \frac{\pi}{\mu}$ – коэффициент, учитывающий влияние продольной силы на изгиб; $E I$ и ℓ – соответственно изгибная жесткость и длина стержня.

Были рассчитаны конструкции шарнирно-закрепленных по концам опытных образцов деревянных стержней на центральное сжатие и определено значение критической силы. Результаты расчета изменения критической силы во времени и при различной влажности представлены на рис. 3 (график изменения критической силы $P_{кр}$ во времени: 1, 2 – экспериментальные кривые при $\lambda=103,92$, $\lambda=121,34$ соответственно, кН; 3, 4 – теоретические кривые при $\lambda=103,92$, $\lambda=121,34$ соответственно) и рис.4 (график изменения критической силы центрально-сжатого стержня из древесины при варьировании влажности: 1, 2 – опытные и экспериментальные кривые при $\lambda=103,92$ кН соответственно).

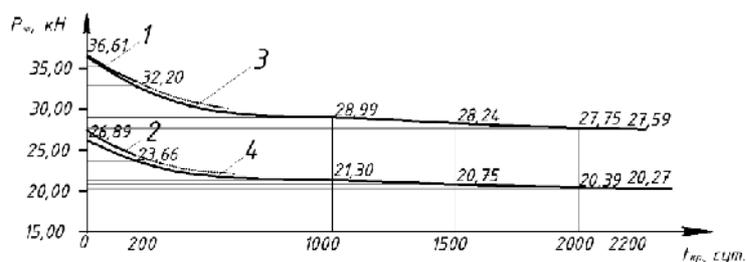


Рис. 3

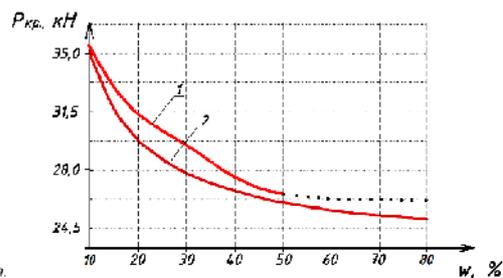


Рис. 4

Здесь же для сравнения показаны значения критической силы, полученные экспериментально при различных значениях гибкости λ опытных образцов.

Анализируя полученные значения критической силы во времени, можно видеть, что наиболее интенсивные реологические процессы в опытных образцах проявляются в первые полтора года с последующим затуханием во времени. Варьирование влажности опытных конструкций в пределах 10...50% существенно влияет на значение критической силы. Так, центрально-сжатый опытный образец с влажностью $w=10\%$ теряет устойчивость при значении сжимающей силы $P_{кр} = 35,0$ кН, а при влажности 40% значение критической силы составляет 27,3 кН. Сопоставляя теоретические и опытные значения $P_{кр}$, можно видеть, что наблюдается вполне удовлетворительное их согласование. Следовательно, предложенная аналитическая зависимость (3) для оценки устойчивости сжатых стержней при силовом нагружении и переменной влажности может быть использована в практике проектирования и при оценке остаточного ресурса деревянных конструкций.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика экспериментальных исследований позволяет получить достоверные данные о напряженно-деформированном состоянии центрально-сжатых стержней из древесины. Принятая в методике расчета устойчивости стержня модель деформирования древесины с учетом вязкой составляющей удовлетвори-

тельно описывает напряженно-деформированное состояние сжатых стержней из древесины при силовых и средовых нагружениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Король Е.А., Давидюк А.А., Золотарев А.А. Усиление и ремонт кирпичной облицовки наружных одно- и многослойных стен «аварийных» фасадов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 5. С. 239...244.
2. Травуш В.И., Колчунов В.И., Дмитриева К.О. Длительная прочность и устойчивость сжатых стержней из древесины // Строительство и реконструкция. – 2015, №5. С. 40...46.
3. Гениев Г.А. Вариант деформационной теории пластичности бетона // Бетон и железобетон. – 1969, №2. С. 18...20.
4. Травуш В.И., Колчунов В.И., Дмитриева К.О. Устойчивость сжатых стержней из древесины при одновременном проявлении силового и среднего воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011, №1. С. 62...69.
5. Верюжский Ю.В., Гольшев А.Б., Колчунов В.И., Ключева Н.В., Лисицын Б.М., Машков И.Л., Яковенко И.А. Справочное пособие по строительной механике. – В 2-х томах. Том I. – М.: Изд-во АСВ, 2014.
6. Пятикрестовский К.П. К вопросу о выборе моделей упругости при расчете деревянных конструкций на прочность и устойчивость и по деформациям // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012, №6. С. 73...79.
7. Пятикрестовский К.П. Обоснование зависимостей между интенсивностями напряжений и деформаций для нелинейного расчета деревянных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011, №1. С. 62...69.
8. Пятикрестовский К.П., Погорельцев А.А. Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. – 2013, №10. С. 33...35.
9. Колчунов В.И., Яковенко И.А., Ключева Н.В. Метод физических моделей сопротивления железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. – 2015, №10. С. 33...35.

бетона // Промышленное и гражданское строительство. – 2013, № 12. С. 51...55.

REFERENCES

1. Korol' E.A., Davidjuk A.A., Zolotarev A.A. Usilenie i remont kirpichnoj oblicovki naruzhnyh odno- i mnogoslojnyh sten «avarijnyh» fasadov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, № 5. S. 239...244.

2. Travush V.I., Kolchunov V.I., Dmitrieva K.O. Dlitel'naja prochnost' i ustojchivost' szhatyh sterzhnej iz drevesiny // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2015, №5. S. 40...46.

3. Geniev G.A. Variant deformatsionnoj teorii plastichnosti betona // Beton i zhelezobeton. – 1969, №2. S. 18...20.

4. Travush V.I., Kolchunov V.I., Dmitrieva K.O. Ustojchivost' szhatyh sterzhnej iz drevesiny pri odnovernennom projavlennii silovogo i sredovogo vozdejstviya // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2011, №1. S. 62...69.

5. Verjuzhskij Ju.V., Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Kljueva N.V., Lisicyn B.M., Mashkov I.L., Jako-

venko I.A. Spravochnoe posobie po stroitel'noj mehanike. – V 2-h tomah. Tom I. – M.: Izd-vo ACB, 2014.

6. Pjatkrestovskij K.P. K voprosu o vybore modelej uprugosti pri raschete derevjannyh konstrukcij na prochnost' i ustojchivost' i po deformatsijam // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2012, №6. S. 73...79.

7. Pjatkrestovskij K.P. Obosnovanie zavisimostej mezhdru intensivnostjami naprjazhenij i deformatsij dlja nelinejnogo rascheta derevjannyh konstrukcij // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2011, №1. S. 62...69.

8. Pjatkrestovskij K.P., Pogorel'cev A.A. Obosnovanie normiruemyh znachenij modulej uprugosti pri raschetah derevjannyh konstrukcij // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013, №10. S. 33...35.

9. Kolchunov V.I., Jakovenko I.A., Kljueva N.V. Metod fizicheskikh modelej soprotivlenija zhelezobetona // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013, № 12. S. 51...55.

Рекомендована кафедрой уникальных зданий и сооружений ЮЗГУ. Поступила 08.04.16.