

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ НАГРУЖЕНИЯ
НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ
КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

**В. П. Ярцев¹, А. В. Сузюмов¹, А. А. Крюкова²,
А. В. Сазонов¹, Д. А. Шефатов¹**

*Кафедры: «Конструкции зданий и сооружений» (1), kzis@nnt.tstu.ru;
«Городское строительство и автомобильные дороги» (2),
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

Ключевые слова: длительная нагрузка; клееная древесина; прогиб; температура; тензометрия.

Аннотация: Поставлена задача выявить особенности поведения клеедеревянной балки в процессе эксплуатации (при длительном нагружении и переменной температуре). Испытания проведены на модельных конструкциях при длительном поперечном изгибе и вариации постоянных температур. В процессе испытаний фиксировали величины напряжений и прогибов в широком диапазоне нагрузок и температур. Построены эпюры напряжений для всех исследованных моделей. Полученные результаты показали, что наличие клеевой прослойки существенно влияет на несущую способность и деформативность древесины, что необходимо учитывать при проектировании деревянных конструкций.

Результаты испытаний, полученные в работах [1 – 4], показали, что на долговечность и несущую способность клееной древесины существенное влияние оказывает ее слоистое строение. Для учета данного влияния при расчете клеедеревянной балки проведены натурные испытания в условиях повышенных температур и длительного нагружения, которые близки к реальным условиям эксплуатации конструкции. В качестве объекта исследования изготовлены восьмислойные модели клееных деревянные балки сечением 36×80 мм и длиной 1100 мм из сосны 2-го сорта с применением меламина-мочевина-формальдегидного клея (ММФ). Испытания проводили на рычажном стенде при поперечном изгибе [5]. Напряжения σ фиксировали во всех слоях наклеенными датчиками с помощью электрического тензометра [6].

Изучено влияние длительности нагрузки τ и температуры t на несущую способность и деформативность клееной древесины. Примеры полученных результатов представлены на рис. 1. Кривые описаны полиномиальной линией тренда [2]. Из полученных результатов видно, что напряжения по высоте сечения возрастают. При этом в растянутых (1, 4) и сжатых (6) слоях n по разным законам. В растянутых слоях зависимость имеет вид параболы, а в сжатых – гиперболы, что необходимо учитывать при расчете сечения клееной древесины. Следует отметить, что в начальный момент времени нагружения и в течение 30 минут напряжения значительно ниже. При дальнейшем увеличении времени нагружения наблюдается рост напряжения и его стабилизация. Данный факт связи с релаксационными процессами, протекающими в древесине, представлен в работе [7].

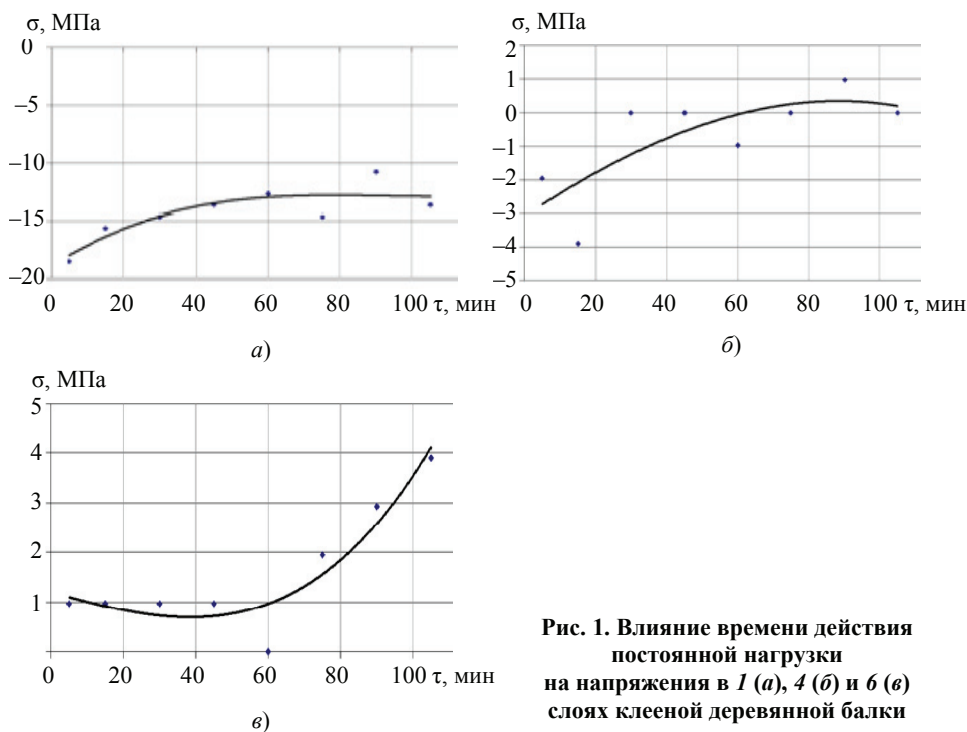


Рис. 1. Влияние времени действия постоянной нагрузки на напряжения в 1 (а), 4 (б) и 6 (в) слоях клееной деревянной балки

В процессе тензометрических испытаний фиксировали также величину прогиба (рис. 2). Резкое увеличение величины прогиба происходит в первые 5 минут, а затем процесс стабилизируется, что подтверждает релаксационный характер длительного нагружения клеендеревянной балки [7].

Влияние температуры на величину внутренних напряжений в балке изучали на рычажном стенде в съемной термокамере. Постоянную температуру 40, 60, 80 и 100 °С создавали с помощью электронагревателей с точностью ± 2 °С. Нагружение (в кН) осуществляли ступенчатой нагрузкой, не превышающей 10 % от разрушающей (рис. 3).

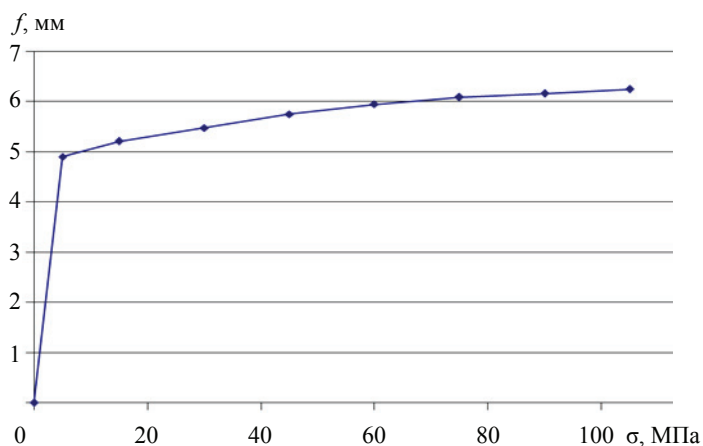


Рис. 2. Зависимость прогиба при температуре +18 °С от времени действия постоянной нагрузки

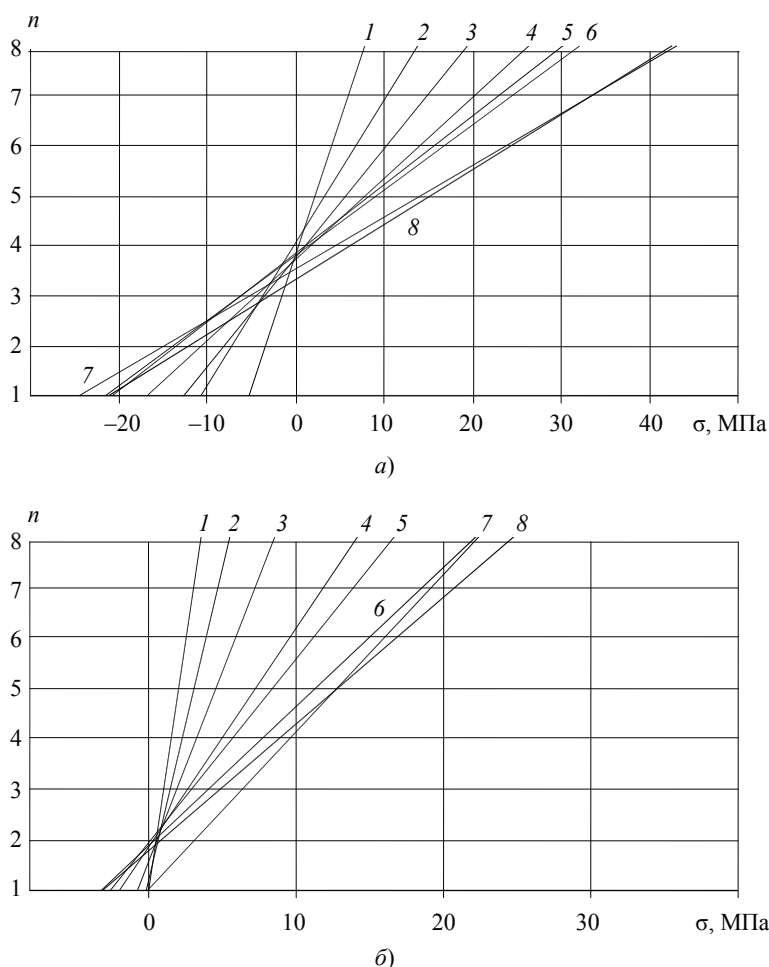


Рис. 3. Схема распределения напряжений в слоях клееной древесины при постоянных температурах 18 (а) и 80 °С (б) при разных нагрузках (обозначения графиков совпадают с численными значениями нагрузки в кН)

Полученные результаты показали, что с изменением нагрузки и температуры вид эпюр напряжений сохраняется. Однако при этом наблюдается увеличение напряжений и смещение точки нулевого напряжения. При увеличении нагрузки напряжения растут пропорционально. Следует отметить, что при комнатной температуре положение точки нулевого напряжения остается неизменным.

При повышении температуры также наблюдается изменение напряжений. Резкое их снижение (в 1,5 раза) происходит в температурном диапазоне 18...40 °С. Затем в интервале температур 40...80 °С их величина изменяется незначительно, а при дальнейшем повышении температуры снова падает [8]. При этом происходит смещение места положения точки нулевого напряжения от четвертого слоя к третьему.

Параллельно фиксировали изменение прогиба f (рис. 4). С увеличением нагрузки при температуре 18...80 °С прогиб увеличивается по линейной зависимости. При температуре 100 °С на конечном этапе (7,1...8,7 МПа) наблюдается ускорение процесса деформирования.

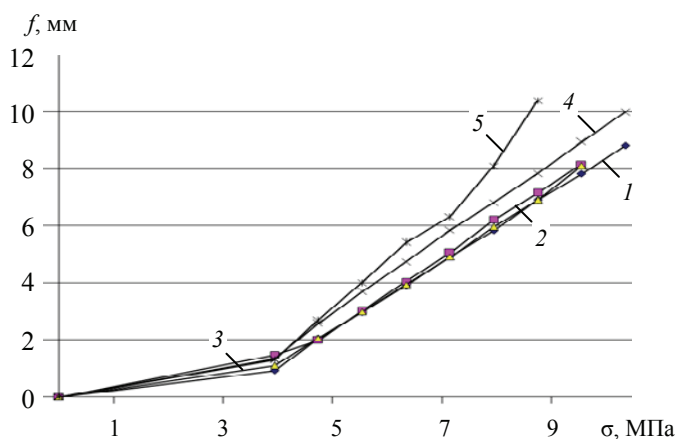


Рис. 4. Зависимость прогиба от напряжения при различных постоянных температурах, °C:
 1 – 18; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 80; 5 – 100

Величина температуры также оказывает влияние на деформативность клееной древесины: в интервале 18...60 °C увеличение прогиба незначительное. Дальнейшее повышение температуры приводит к его резкому увеличению, что, по-видимому, связано с температурной зависимостью прочности клеевой прослойки [9, 10].

Изучены закономерности разрушения и деформирования клееной древесины при длительном нагружении и повышенных температурах. Показано, что слоистое строение древесины оказывает существенное влияние на вид зависимости напряжения от времени нагружения и температуры эксплуатации.

Установлено, что при длительном действии постоянной нагрузки наблюдается изменение напряжений в сечении клееной деревянной балки. В процессе испытания за 1 час напряжения увеличиваются на 12,2 %. При этом прогибы изменяются незначительно.

Показано, что температура эксплуатации оказывает значительное влияние на несущую способность и деформативность клеелесной балки. При этом клееная древесина реагирует на изменения температурного режима по-разному. Это связано с определенными процессами, происходящими в клеевой прослойке. При температуре выше 60 °C наблюдается резкое увеличение прогибов клееной деревянной балки.

Полученные результаты необходимо учитывать при проектировании конструкций из клееной древесины.

Список литературы

1. Гетц, К. Г. Атлас деревянных конструкций / К.Г. Гетц, Д. Хоор, К. Мелер. – М. : Стройиздат, 1982. – 320 с.
2. Конструкции из дерева и пластмасс / Под ред. Г. Г. Карлсена, Ю. В. Слишкохова. – М. : Стройиздат, 1986. – 538 с.
3. Прокофьев, А. С. Конструкции из дерева и пластмасс. Общий курс / А. С. Прокофьев. – М. : Стройиздат, 1996. – 217 с.
4. Хрулев, В. М. Производство конструкций из дерева и пластмасс / В. М. Хрулев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1989. – 239 с.

5. Ярцев, В. П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях и конструкциях зданий и сооружений : учеб. пособие / В. П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2001. – 149 с.

6. Иванов, Ю. М. Исследования физических свойств древесины: (эластичность, воздухопроницаемость, давление набухания) / Ю. М. Иванов, В. А. Баженов. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 75 с.

7. Белянкин, Ф. П. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела / Ф. П. Белянкин, В. Ф. Яценко. – Киев : Изд-во АН УССР, 1957. – 200 с.

8. Ярцев, В. П. Влияние температуры на напряженно-деформированное состояние и долговечность клееной балки / В. П. Ярцев, Д. В. Антипов // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 9. – С. 46 – 48.

9. Киселева, О. А. Термофлуктуационные закономерности разрушения древесины / О. А. Киселева, В. П. Ярцев, М. А. Сашин // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения : материалы Восьмых академических чтений отделения строительных наук РААСН, 20 – 24 сентября 2004 г., Самара. – Самара, 2004. – С. 223 – 225.

10. Ярцев, В. П. Закономерности длительного деформирования сжатием клееной древесины / В. П. Ярцев, О. А. Киселева, Г. Г. Зеленин // Композитные строительные материалы. Теория и практика : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф., Пенза. – Пенза, 2006. – С. 50 – 52.

10. Ярцев, В. П. Закономерности длительного деформирования сжатием клееной древесины / В. П. Ярцев, О. А. Киселева, Г. Г. Зеленин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – № 7 (114). – С. 18.

The Effect of Temperature and Duration of Loading on Carrying Capacity and Stress-Strain Properties of Glued Wood

V. P. Yartsev¹, A. V. Suzyumov¹, A. A. Kryukova²,
A. V. Sazonov¹, D. A. Shefatov¹

*Department of Construction of Buildings and Structures (1), kzis@nnn.tstu.ru;
Department of Urban Construction and Highways (2),
TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: long-term load; glued wood; deflection; temperature; tensometry.

Abstract: The paper describes the problem of identifying the properties of a glue-wood beam in operation (with prolonged loading and variable temperature). Tests were carried out on model structures with prolonged transverse bending and constant temperature variations. During the tests, the values of stresses and deflections were recorded in a wide range of loads and temperatures. Stress diagrams are plotted for all investigated models. The results obtained showed that the presence of an adhesive layer significantly affects the bearing capacity and deformability of wood, which must be taken into account when designing wooden structures.

References

1. Getts K.-G., Koor D., Meler K. *Atlas derevyannykh konstruksiy* [Atlas of wooden structures], Moscow: Stroyizdat, 1982, 320 p. (In Russ.)

2. Karlsen G.G., Slitskoukhov Yu.V. [Eds.] *Konstruktsii iz dereva i plastmass* [Structures made of wood and plastics], Moscow: Stroyizdat, 1986, 538 p. (In Russ.)
3. Prokofyev A.S. *Konstruktsii iz dereva i plastmass. Obshchiy kurs* [Constructions from wood and plastics. General course], Moscow: Stroyizdat, 1996, 217 p. (In Russ.)
4. Khrulev V.M. *Proizvodstvo konstruktsiy iz dereva i plastmass* [Production of structures made of wood and plastics], Moscow: Vysshaya shkola, 1989, 239 p. (In Russ.)
5. Yartsev V.P. *Prognozirovaniye rabotosposobnosti polimernykh materialov v detalyakh i konstruktsiyakh zdaniy i sooruzheniy: uchebnoye posobiye* [Prediction of the performance of polymer materials in details and structures of buildings and structures: a tutorial], Tambov: Izdatel'stvo TGTU, 2001, 149 p. (In Russ.)
6. Ivanov Yu.M., Bazhenov V.A. *Issledovaniya fizicheskikh svoystv drevesiny: (elastichnost', vozdukhopronitsayemost', davleniye nabukhaniya)* [Research of physical properties of wood: (elasticity, air permeability, swelling pressure)], Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR, 1959, 75 p. (In Russ.)
7. Belyankin F.P., Yatsenko V.F. *Deformativnost' i soprotivlyayemost' drevesiny kak uprugo-vyazko-plasticheskogo tela* [Deformability and resistance of wood as an elastic-visco-plastic body], Kiev: Izdatel'stvo AN USSR, 1957, 200 p. (In Russ.)
8. Yartsev V.P., Antipov D.V. [Influence of temperature on the stress-strain state and durability of the glued beam], *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], 2010, no. 9, pp. 46-48. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Kiseleva O.A., Yartsev V.P., Sashin M.A. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektiva razvitiya stroitel'nogo materialovedeniya* [Current state and prospects for the development of building materials science], Proceedings of the Eighth Academic Readings of the Department of Construction Sciences of the RAASN, 20 - 24 September, 2004, Samara, 2004, pp. 223-225. (In Russ.)
10. Yartsev V.P., Kiseleva O.A., Zelenin G.G. *Kompozitnyye stroitel'nyye materialy. Teoriya i praktika* [Composite construction materials. Theory and Practice], Collection of Articles of the International Scientific and Technical Conference, Penza, 2006, pp. 50-52. (In Russ.)
10. Yartsev V.P., Kiseleva O.A., Zelenin G.G. [Regularities of long-term deformation by compression of glued wood], *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of the XXI century], 2008, no. 7 (114), p. 18. (In Russ.)

Einfluss der Temperatur und Dauer der Belastung auf die Trägerkapazität und die Verformung von geklebtem Holz

Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe gestellt, die Besonderheiten des Verhaltens des Holzklebeträgers während des Betriebs (bei längerer Belastung und variabler Temperatur) zu identifizieren. Die Tests sind an Modellstrukturen mit langfristiger Querbiegung und konstanten Temperaturschwankungen durchgeführt. Während der Tests wurden die Werte von Spannungen und Durchbiegungen in einem weiten Bereich von Belastungen und Temperaturen aufgezeichnet. Für alle untersuchten Modelle sind Spannungsdiagramme erstellt. Die erhaltenen Ergebnisse zeigten, dass das Vorhandensein einer Klebeschicht die Tragfähigkeit und Verformbarkeit von Holz erheblich beeinflusst, was bei der Gestaltung von Holzkonstruktionen zu berücksichtigen ist.

Influence de la température et de la durée de charge sur la capacité portante et la déformabilité du bois

Résumé: Est posée une tâche d'identifier les caractéristiques du comportement de la poutre gommeuse lors du fonctionnement (en cas de la charge prolongée et de la température changeante). Les essais ont été effectués sur des modèles avec une flexion transversale prolongée et des variations de température constante. Dans le processus d'essai, les valeurs de contrainte et de déflexion ont été enregistrées dans un large éventail de charges et de températures. Sont construites des épures de contrainte pour tous les modèles étudiés. Les résultats ont montré que la présence d'une couche adhésive affecte de manière significative la capacité portante et la déformabilité du bois, ce qui doit être pris en compte lors de la conception des structures en bois.

Авторы: *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Сузюмов Александр Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Крюкова Ангелина Андреевна* – студент; *Сазонов Александр Викторович* – магистрант; *Шефатов Денис Андреевич* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Леденев Виктор Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.