

УДК624.042.62

ДЕОРДИЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
deordievsv@yandex.ru

Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,

КОПАНИЦА ДМИТРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
kopanitsa@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,

ТУТАТЧИКОВ РОМАН СЕРГЕЕВИЧ, аспирант,
tutatchikovrs@gmail.com

БИРСЕНЕВ АЛЕКСЕЙ ИГОРЕВИЧ, аспирант,
birsenev.a.i@gmail.com

Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЕЕДОЩАТЫХ СТОЕК НА ПРОДОЛЬНОЕ СЖАТИЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований клеедощатых стоек на продольное сжатие при действии статической и кратковременной динамической нагрузок. По результатам испытаний четырех клеедощатых стоек на действие статической нагрузки и шести клеедощатых стоек на действие кратковременной динамической нагрузки выявлен характер деформирования и разрушения образцов, определены значения разрушающей нагрузки, построены графики зависимости прогибов от нагрузки. Сопоставление результатов, полученных при действии статических и динамических нагрузок, позволило определить значения коэффициентов динамичности.

Ключевые слова: продольный изгиб; кратковременная динамическая нагрузка; клеедощатые стойки; коэффициент динамичности.

SERGEI V. DEORDIEV, PhD, A/Professor,
deordievsv@yandex.ru

Siberian Federal University,

79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia,

DMITRII G. KOPANITSA, DSc, Professor,
kopanitsa@mail.ru

Tomsk State University of Architecture and Building,

2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia,

ROMAN S. TUTATCHIKOV, Research Assistant,
tutatchikovrs@gmail.com

ALEKSEY I. BIRSENEV, Research Assistant,
birsenev.a.i@gmail.com

Siberian Federal University,

79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia

LONGITUDINAL COMPRESSION TESTS OF LAMINATED BEAMS UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS

The paper presents research results on the longitudinal compression tests of laminated beams under static and dynamic loads. The experimental data allow the detection of the nature of deformation and failure and the failure load. The flexure/load dependencies are obtained. A comparative analysis of static and dynamic load tests is presented in this paper that allows the determination of the dynamic load factors.

Keywords: flexure; dynamic load; laminated beams; dynamic factor.

Исследования деревянных стоек на действие сжимающей статической нагрузки проводятся в течение длительного времени. В работах К.П. Пятикрестовского [1], А.С. Вареника [2], К.А. Вареника [3], А.А. Сморгочкова [4] приведены результаты экспериментальных исследований и расчетов конструкций из древесины на прочность и устойчивость. Выполнены обоснования выбора модулей упругости древесины, рассмотрены вопросы прочности центрально и внецентренно сжатых деревянных стоек с учетом ползучести древесины.

Изучение поведения конструктивных элементов из древесины при действии динамических нагрузок может способствовать их применению в конструкциях, предназначенных для восприятия нагрузок нестационарного характера, и иметь большое практическое значение.

Рассмотрим результаты экспериментальных исследований клеёнощитых стоек на продольное сжатие при действии статической и динамической нагрузки. В программу экспериментальных исследований включены испытания на продольное сжатие четырех образцов при действии статической нагрузки и шести образцов при действии кратковременной динамической нагрузки. Маркировка образцов для статических испытаний принята СС-1 – СС-4, для испытаний на динамическую нагрузку – СД-1 – СД-6. Материал образцов – сосна второго сорта по ГОСТ 2695–83, клей – резорциновый ФР-12. Размеры поперечного сечения стоек – 75×100 мм, длина – 1000 мм. Влажность на момент испытаний – 12 %, испытания проходили в нормальных условиях. Наибольшая гибкость испытуемых образцов $\lambda = 46,1$.

Целью проведения испытаний было выявление особенностей напряженно-деформируемого состояния клеёнощитых стоек при продольном сжатии от действия кратковременной динамической нагрузки и экспериментальное определение коэффициентов динамичности.

В рамках поставленной цели решены следующие задачи:

1. При испытании клеёнощитых стоек на продольное сжатие при статическом нагружении определена зависимость «напряжения-деформации», выявлены характер разрушения и величина критической силы разрушающей нагрузки.
2. По данным, полученным при испытании образцов на действие динамической нагрузки, определены деформации во времени, построены диаграммы нагрузки во времени, описан процесс разрушения.
3. Экспериментально определены коэффициенты динамичности.

Испытания клеёнощитых стоек на статическую нагрузку проводились на стационарном стенде в лаборатории испытания строительных материалов и конструкций кафедры «Строительные конструкции и управляемые системы» Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета.

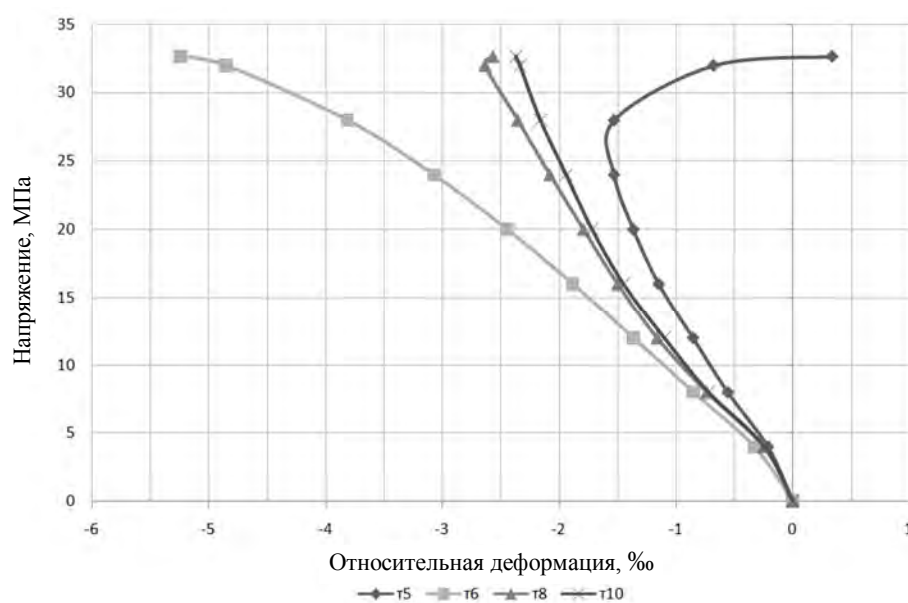


Рис. 2. Диаграмма «деформация-напряжение» при статическом сжатии:

◆, ■ – тензорезисторы, установленные на середине высоты стойки;
▲, × – тензорезисторы, установленные в приопорных зонах стойки

Разрушающая нагрузка образцов стоек варьировалась от 240 до 252 кН, разрушение происходило при потере устойчивости от разрыва растянутых волокон древесины в середине высоты стойки (рис. 3).



№ образца	Разрушающая нагрузка, тс
СС-1	25,2
СС-2	24
СС-3	24,1
СС-4	24,3

Рис. 3. Картина разрушения образцов при статической нагрузке, разрушающая нагрузка для образцов

Испытания образцов на действие динамической нагрузки проводились на копровой установке в лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета. Схема закрепления образцов аналогична статическим испытаниям. Стенд для проведения статических испытаний был установлен на силовой пол копровой установки, как показано на рис. 4, а.

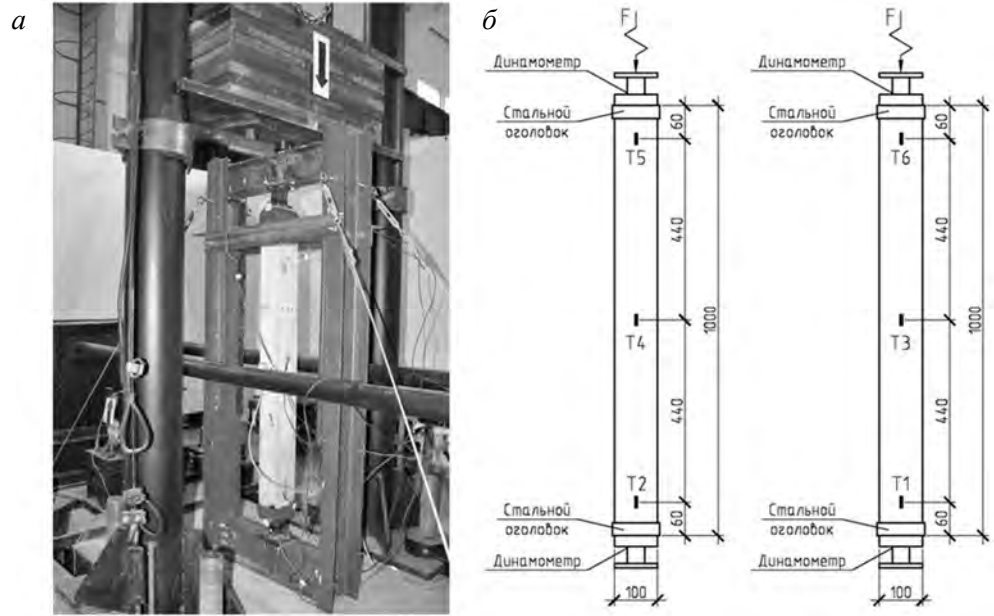


Рис. 4. Общий вид испытаний на копровой установке (а) и схема расстановки тензорезисторов (б)

Удар от падающего груза массой 450 кг приходился на плавающий шарнир, закрепленный на подвижном ригеле испытательного стенда. Высота падения груза варьировалась в пределах от 0,25 до 1 м, при этом скорость ударника на момент соприкосновения с оголовком стойки изменялась в пределах от 2 до 4,5 м/с с соответствующей продолжительностью нагрузки от 6 до 10 мс.

В процессе эксперимента проводились измерения параметров нагрузки деформаций и ускорений. Для этого на противоположных поверхностях широких граней стойки были наклеены тензорезисторы КФ-5П1-10-200-А-12 с базой 20 мм и установлены датчики ускорения (Ду) AnalogDivays, работающие в двух плоскостях (X , Y). Опрос регистрирующей аппаратуры осуществлялся с частотой 1000 Гц. Схема расстановки датчиков показана на рис. 4, б.

Испытания образца СД-1 проведено действием нагрузки со скоростью 4,5 м/с. Показания динамометров Д1 (установлен в точке приложения нагрузки) и Д2 (установлен на опоре) представлены на рис. 5. Величина разрушающей нагрузки принята по показаниям верхнего динамометра $P_{\text{разр}} = 563$ кН. Градиент нагрузки на оголовке стойки равен $(18\text{--}29)10^4$ кН/с, в то время как в основании стойки скорость нагружения была заметно ниже – $(13\text{--}20)10^4$ кН/с.

Продолжительность действия удара $\tau = 6$ мс. Импульс в момент разрушения стойки равен 2179,6 кН·с. Максимальный отпор конструкции зафиксирован на второй миллсекунде действия нагрузки. Ниспадающая ветвь на диаграмме нагрузок нижнего динамометра имеет меньшую скорость падения и большую продолжительность, определяемую энергией, затраченной на деформирование стойки. Диаграмма, характеризующая изменение относительных деформаций древесины во времени, показана на рис. 6.

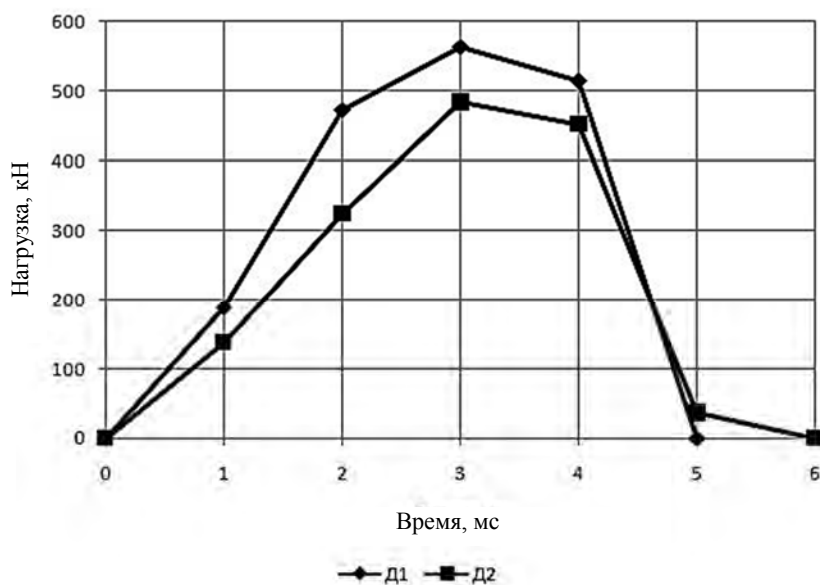


Рис. 5. Показания динамометров СД-1

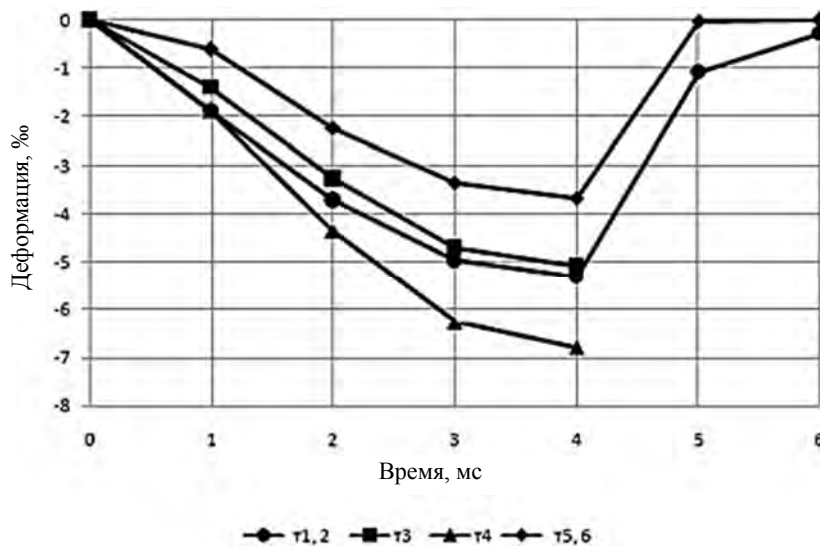


Рис. 6. Значения относительных деформаций СД-1

Максимальные деформации сжатия наблюдались с задержкой в 1 мс по сравнению с пиком нагрузки. Наиболее продолжительные деформации стойки определены в зоне оголовка, воспринимающего нагрузку. На опоре деформации развивались с меньшей интенсивностью и продолжались в течение 5 мс. Тензорезисторы, расположенные в средней по высоте части стойки, разрушились при максимальном значении 7 %.

Высота падения груза, импульс силы, максимальная нагрузка, реакция опоры и продолжительность удара для образцов СД-1 – СД-6 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения характеристик удара при динамических испытаниях

Образец	Высота падения груза, м	Импульс, тс·с	Продолжительность удара, мс	Максимальная нагрузка, тс	Максимальная реакция опоры, тс
СД-1	1	217,96	6	56,32	48,3
СД-2	0,5	117,68	7	33,1	19,4
СД-3	0,25	243,59	14	34,4	24,2
СД-4	0,7	132,52	8	47,4	32,3
СД-5	0,6	193,35	10	50	35,1
СД-6	0,55	210,95	10	45,4	33,5

Разрушение образцов стоек при действии кратковременной динамической нагрузки произошло при потере устойчивости от разрыва растянутых волокон (рис. 7).



Рис. 7. Стойки после разрушения сжимающей динамической нагрузкой

Формы разрушения, полученные при действии динамической нагрузки, аналогичны разрушению образцов при статическом нагружении. Разрыв волокон происходил как в середине высоты, так и в верхней трети стойки.

Значения критической силы, максимальной относительной деформации сжатия на опоре и максимальной относительной деформации сжатия в середине высоты при статических и кратковременных динамических испытаниях представлены на рис. 8.

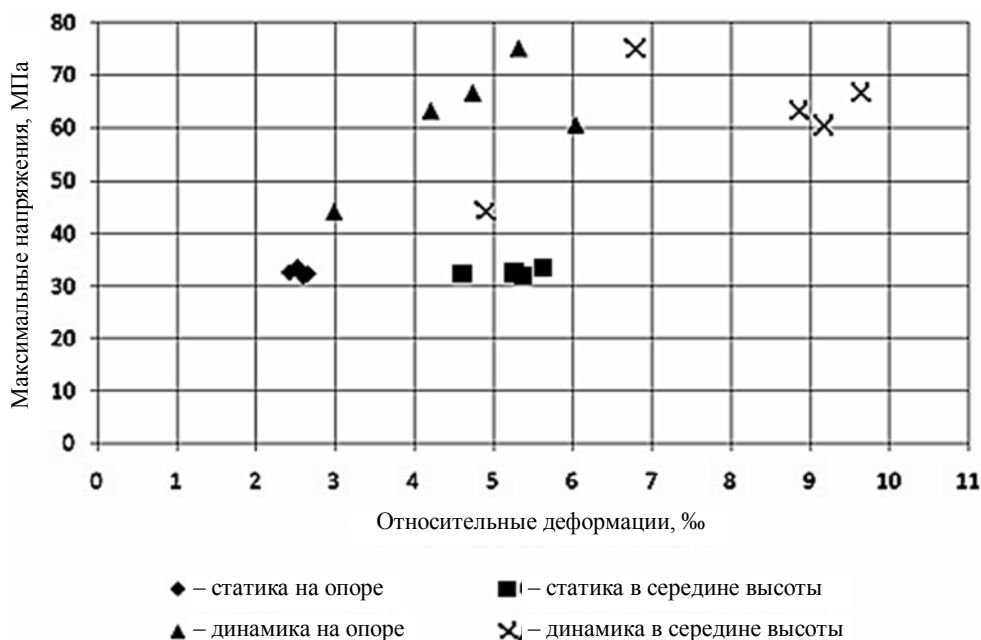


Рис. 8. Критическая сила и относительные деформации сжатия стоек при статическом и динамическом нагружении

На рис. 8 показано увеличение критической силы при кратковременной динамической нагрузке в среднем в 1,9 раза. Относительные деформации на опорах выросли в 1,8 раза, относительные деформации сжатия в середине высоты стойки – в 1,5 раза. Разброс значений по оси ординат обусловлен действием нагрузки с разной скоростью и продолжительностью удара. Повышение критической силы и относительных деформаций свидетельствует о повышении предела пропорциональности, т. к. при статической нагрузке критическая сила близка к кривой упругопластической стадии (рис. 9), а при динамической нагрузке критическая сила образцов приближается к кривой Эйлера.

Кривая Эйлера на рис. 9 построена для значения модуля упругости, полученного при статических испытаниях образцов сосны 30×30×60 мм (12300 МПа). Кривая упругопластической стадии деформирования построена по СП 64.13330.2011 с заменой расчетного сопротивления сосны второго сорта на временное сопротивление (31 МПа).

По результатам проведенных испытаний клеодоцатых стоек на действие статической и кратковременной динамической (ударной) нагрузки рассчитаны коэффициент динамичности по нагрузке и коэффициент динамичности по деформациям (табл. 2). Коэффициент динамичности определялся как отношение

максимальной относительной деформации стойки на опоре под действием неразрушающей кратковременной динамической нагрузки к среднему значению относительной деформации при эквивалентной статической нагрузке:

$$K_d = \frac{f_{\text{дин}}}{f_{\text{ст}}},$$

где $f_{\text{дин}}$ – относительная деформация при действии неразрушающей кратковременной динамической нагрузки; $f_{\text{ст}}$ – среднее значение относительной деформации под действием статической нагрузки, равной динамической.

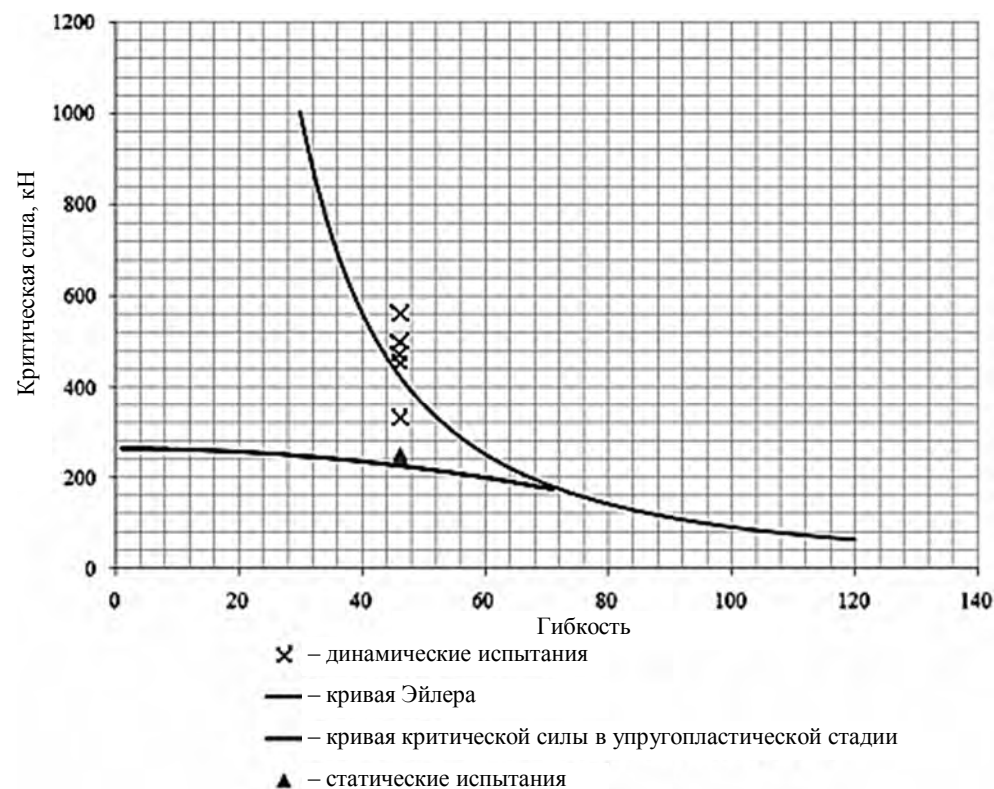


Рис. 9. Диаграмма зависимости критической силы от гибкости образцов (кривая Эйлера, кривая упругопластической стадии, экспериментальные данные)

Таблица 2

Значения коэффициентов динамичности

Образец	K_d , по деформациям	K_d , по нагрузке
СД-1	1,3971	2,2992
СД-2	1,0699	1,3518
СД-3	1,1214	1,4041
СД-4	1,4382	1,9359
СД-5	1,3786	2,0396
СД-6	1,4198	1,8531

Коэффициент динамичности по нагрузке определялся по формуле

$$K_d = \frac{P_{ст}}{P_{дин}},$$

где $P_{ст}$, $P_{дин}$ – величины статической и динамической нагрузок при соответствующих равных относительных деформациях.

Анализ поведения клеudoчатых стоек при действии статической и кратковременной динамической нагрузок показал разрушение образцов от действия сжимающей статической и динамической нагрузок происходило от потери устойчивости с разрывом растянутых волокон в средней части стойки или на расстоянии одной трети ее длины от опоры.

В результате рассчитаны коэффициенты динамичности по нагрузке и деформациям при действии кратковременной динамической нагрузки. Коэффициент динамичности по деформациям составил 1,304; коэффициент динамичности по нагрузке составил 1,814.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пятикрестовский, К.П.* К вопросу о выборе модулей упругости при расчете деревянных конструкций на прочность, устойчивость и по деформациям / К.П. Пятикрестовский // Строительная механика и расчет сооружений. – 2002. – № 6. – С. 73–79.
2. *Вареник, А.С.* Устойчивость сжатых элементов деревянных конструкций : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 1994. – 22 с.
3. *Вареник, К.А.* Расчет центрально-сжатых деревянных элементов с учетом ползучести : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Великий Новгород, 2015. – 20 с.
4. *Устойчивость элементов из древесины при плоском изгибе и центральном сжатии* / А.А. Смorchков, Д.А. Смorchков, И.А. Ващенко, Е.А. Краснослободцев, А.Р. Филатов // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 8. – С. 38–39.

REFERENCES

1. *Pyatikrestovskii K.P.* K voprosu o vybere modulei uprugosti pri raschete derevyannykh konstruktсий na prochnost', ustoychivost' i po deformatsiyam [Towards the selection of Young's moduli in structural timber strength, stability and deformation analysis]. *Stroit. mekh. i raschet sooruzhenii*. 2002. No. 6. Pp. 73–79. (rus)
2. *Varenik A.S.* Ustoychivost' szhatykh elementov derevyannykh konstruktсий. Avtoreferat [Stability of compressed elements of timber structures. Abstract]. St-Petersburg, 1994. 22 p. (rus)
3. *Varenik K.A.* Raschet tsentral'no-szhatykh derevyannykh elementov s uchetom polzuchesti. Avtoreferat [Structural design and time-dependent analysis of central compressed wood elements. PhD abstract]. Veliky Novgorod, 2015. 20 p. (rus)
4. *Smorchkov A.A., Smorchkov D.A., Vashchenko I.A., et al.* Ustoychivost' elementov iz drevesiny pri ploskom izgibe i tsentral'nom szhatii [Wood structural stability at plane flexure and central compression]. *J. Industrial and Civil Engineering*. 2011. No. 8. Pp. 38–39. (rus)