

Исследование прочности деревянного элемента распорной конструкции при усилении боковых поверхностей стеклотканью

Н.В. Линьков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье предложено усиление верхнего пояса распорной системы треугольного очертания стеклотканью. Используемый для усиления материал показывает высокую эффективность повышения прочности деревянного элемента по 1-й группе предельных состояний. Предлагаемый для усиления материал не приводит к изменению исходной декоративной выразительности деревянных конструкций, сохраняет ресурс эксплуатации.

Ключевые слова: распорная конструкция, верхний пояс, дощатоклееный элемент, модуль упругости, объемный вес, геометрические характеристики, изгибающий момент, продольная сжимающая сила, усиление конструкции, композитный материал.

Введение

Выполнение проверочных расчетов для несущих деревянных конструкций [1-3] позволяет установить два определяющих фактора для поперечного сечения элемента и его геометрических характеристик: зависимости напряжение - расчетное сопротивление и коэффициента использования прочности сечения. Традиционно для деревянных конструкций предъявляется требование прочности, при котором проверяется достаточность несущей способности в рамках первой группы предельных состояний, вычисление которой ведется с применением расчетных значений нагрузок.

Для сжато-изгибаемого элемента характерно суммирование напряжений, которые возникают от одновременного действия на конструкцию изгибающего момента и продольной сжимающей силы [4-6]. Получаемая сумма напряжений от сжатия и изгиба сравнивается с величиной расчетного сопротивления древесины, что позволяет установить разницу между величиной напряжений и расчетным сопротивлением, коэффициент использования прочности поперечного сечения, спрогнозировать запас

прочности в случае увеличения действующих нагрузок в процессе эксплуатации конструкции.

Цель данной работы – произвести усиление стеклотканью деревянного элемента верхнего пояса [7,8] в составе рамы однопролетного здания, для обеспечения выполнения требований первой группы предельных состояний.

Предметом исследования является запас прочности, определяемый сочетанием напряжение – расчетное сопротивление и коэффициентом запаса несущей способности сечения деревянного элемента [9,10].

Порядок выполнения поставленной задачи:

1. Выполнить расчет исходной схемы, получить значения продольной сжимающей силы и изгибающего момента, вычислить значение напряжений, установить коэффициент использования прочности сечения деревянного элемента;
2. Зафиксировать необходимость усиления деревянного элемента верхнего пояса;
3. Предложить вариант усиления деревянного элемента верхнего пояса стеклотканью;
4. Выполнить расчет усиленной стеклотканью схемы, получить значения продольной сжимающей силы и изгибающего момента, вычислить значение напряжений, установить коэффициент использования прочности сечения усиленного деревянного элемента;
5. Зафиксировать результат усиления деревянного элемента верхнего пояса стеклотканью.

Исходная расчетная схема

На основании выполненного анализа состояния вопроса необходимо выполнить расчетную схему поперечной рамы одноэтажного однопролетного здания с несущими конструкциями из клееной древесины. Общие геометрические параметры конструкции рамы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Общие параметры

№ п.п.	Наименование	Обозначение	Значение	Ед.изм.
1	Пролет распорной системы	$L_{\text{расп.сист.}}$	24	м
2	Шаг рам по длине здания	$B_{\text{рамы}}$	4	м
3	Высота распорной системы	$H_{\text{расп.сист.}}$	4	м
4	Высота колонны	$H_{\text{кол.}}$	9	м

Расчетная схема создана в ПК Лира-САПР на основе 2-го признака схемы – 3 степени свободы в узле – перемещение по осям X и Z, поворот относительно UY. При моделировании элементов рамы используется 2-й тип конечного элемента – конечный элемент плоской рамы.

В качестве граничных условий выступает жесткая заделка опорных узлов колонн – запрет перемещений по осям X и Z, запрет поворота относительно UY. Для элементов распорной системы треугольного очертания были заданы необходимые шарниры в виде разрешения поворота относительно UY.

Сформирован и присвоен стержням набор жесткостей. Параметры жесткостей представлены в таблице 2.

На конструкцию рамы были собраны и приложены постоянные нагрузки от собственного веса деревянных конструкций, собственного веса металлических конструкций, вес деревянных конструкций ограждающей части покрытия, вес кровельных и стеновых панелей, кратковременная

снеговая нагрузка на всем пролете и на половине пролета, мгновенная ветровая нагрузка. В расчетной схеме задавались расчетные значения нагрузок.

Таблица 2. Параметры жесткостей

№ п.п.	Наименование	Обозначение	Значение	Ед.изм.	Примечания
1	Верхний пояс распорной системы	$V_{в.п.} * H_{в.п.}$	140*924	мм	Пиломатериалы хвойных пород, сосна 2й сорт, ГОСТ 8486-86
2	Колонна	$V_{кол.} * H_{кол.}$	140*594	мм	
модуль упругости древесины $E=10000$ Мпа, объемный вес 500 кг./м ³					
3	Затяжка	$D_{зат.}$	20	мм	Прокат стальной горячекатаный круглый, ГОСТ 2590-2006
4	Подвеска	$D_{подв.}$	12	мм	

Общий вид расчетной схемы с указанием номеров узлов, номеров элементов, типов и цветовой индикацией жесткостей, назначенными граничными условиями представлен на рис. 1.

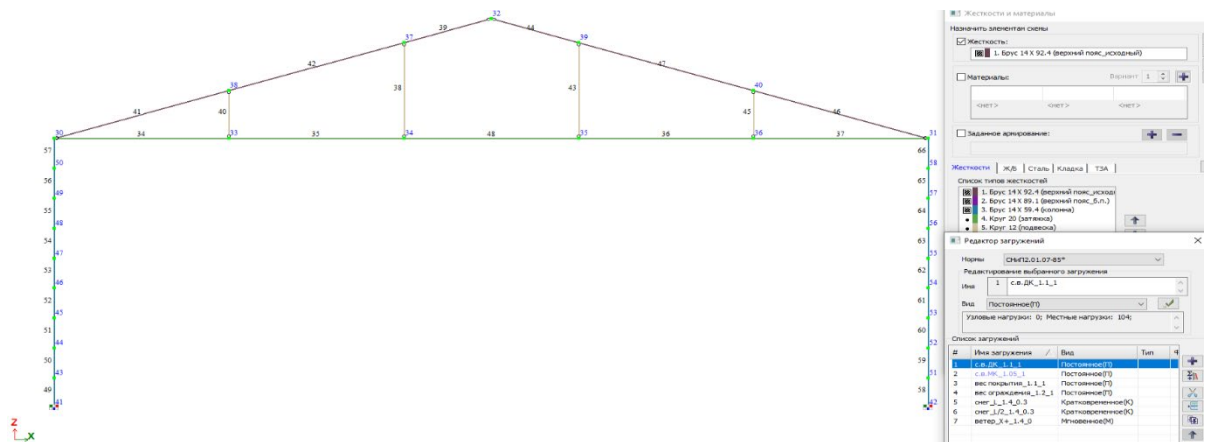


Рисунок 1. Общий вид исходной расчетной схемы

В результате статического расчета были получены значения изгибающих моментов M и продольных сжимающих сил N . Максимальные значения составили при этом $M=187$ кН*м, $N=216$ кН. Общий вид эпюр представлен на рис.2, 3.

Расч_S-L_Wx+(СНипТ2.01.07-85*_1)
Эпюра M_y
Единицы измерения - кН*м

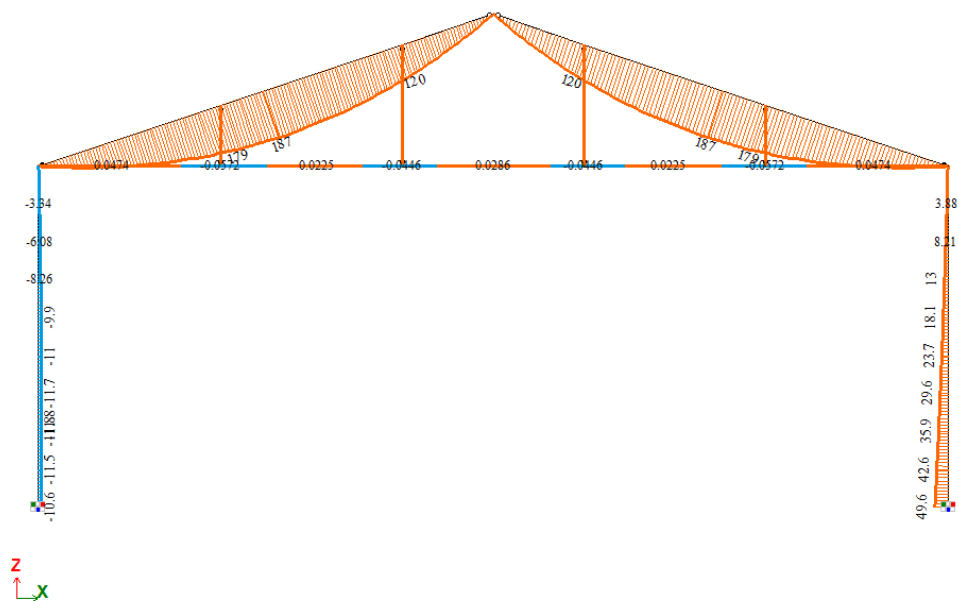


Рис.2. Исходная расчетная схема. Эпюра M

Расч_S-L_Wx+(СНипТ2.01.07-85*_1)
Эпюра N
Единицы измерения - кН

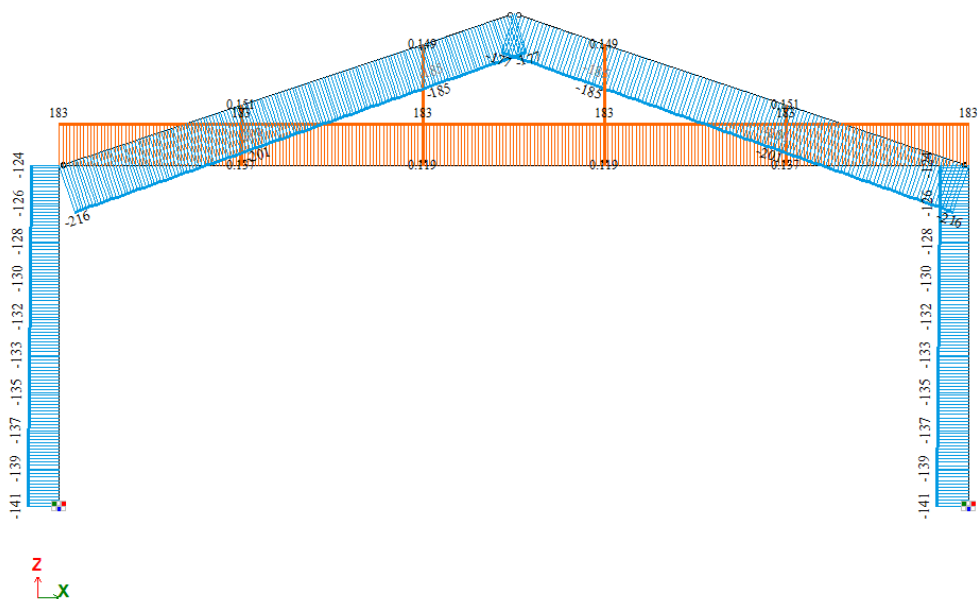


Рис.3. Исходная расчетная схема. Эпюра N

Поверочный расчет сжато-изгибаемого элемента верхнего пояса по условию прочности 1-й группы предельных состояний с установлением текущего коэффициента использования прочности сечения верхнего пояса представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты поверочного расчета

Параметр	Условие	Обозначение параметра	Значение	Единица измерения
1	2	3	4	5
Напряжение в деревянном элементе	$N_{сж.}/F_p + M_{изг.}/W_p$	$\delta_{сж.изг.}$	11,8	МПа
Расчетное сопротивление древесины	-	$R_{изг}$	11,2	МПа
Критерий проверки прочности сечения	$\delta_{сж.изг.} > R_{изг}$	-	11,8 > 11,2	МПа
Коэффициент использования прочности сечения	$\delta_{сж.изг.} / R_{изг}$	$K_{исп}^{сеч}$	1,05	-

По результатам расчета было установлено значение коэффициента использования сечения элемента верхнего пояса распорной системы составляет $K_{исп}^{в.п.} = 1,05$. Необходимо выполнить усиление деревянного элемента.

Усиленная расчетная схема

В пролетной части с отступом от опорного и конькового узлов на 0,5 метра боковые поверхности деревянного элемента верхнего пояса будут усилены стеклотканью симметрично с двух сторон. Усиление деревянных конструкций стеклотканью предполагается выполнить на участке, где развивается величина изгибающего момента M . В расчетной схеме предполагается присвоение пролетной части деревянного элемента верхнего пояса параметров жесткости на сжатие $(EF)_{reinforced}$ и изгибной жесткости $(EI)_{reinforced}$.

Общий вид усиленной расчетной схемы с указанием номеров узлов, номеров элементов, типов и цветовой индикацией жесткостей, назначенными граничными условиями представлен на рис.4.

Параметры жесткости на сжатие и изгибной жесткости, которые описывают пролетную часть деревянного элемента верхнего пояса представлены в таблице 4.

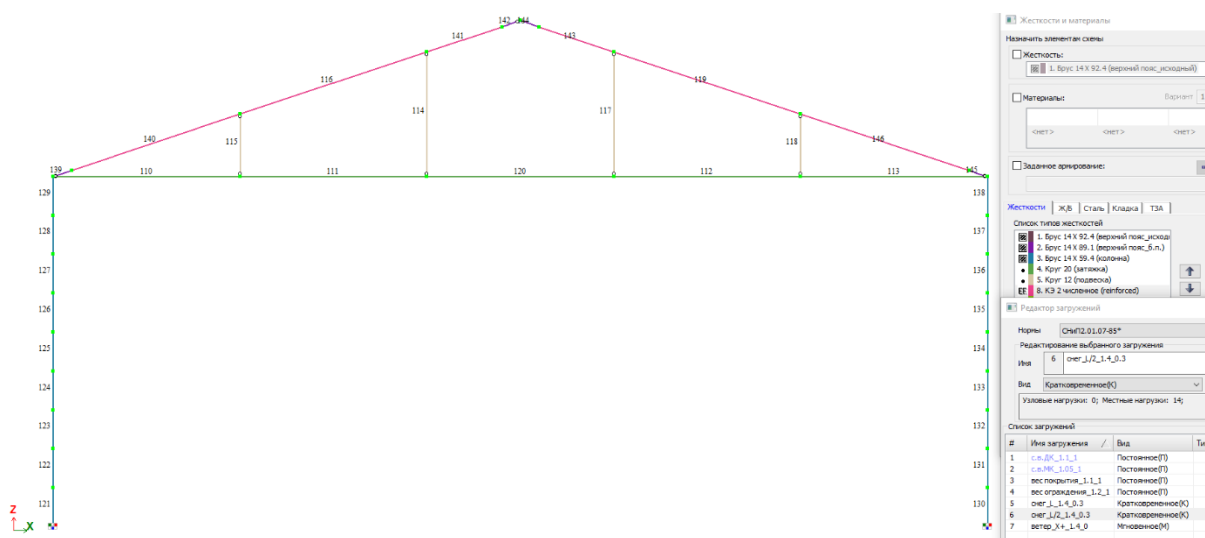


Рисунок 4. Общий вид усиленной расчетной схемы

Таблица 4. Жесткости пролетной части деревянного элемента

№ п.п.	Наименование	Обозначение	Значение	Единица измерения
1	Жесткость на сжатие	$(EF)_{reinforced}$	$1,45 \cdot 10^9$	Н
2	Изгибная жесткость	$(EI)_{reinforced}$	$96,2 \cdot 10^{12}$	Н*мм ²

В результате статического расчета были получены значения изгибающих моментов M и продольных сжимающих сил N . Максимальные значения составили при этом $M=187$ кН*м, $N=216$ кН. Общий вид эпюр представлены на рис.5, 6.

Следует отметить, что усиление деревянного элемента путем нанесения на боковые поверхности симметрично с двух сторон стеклоткани позволяет сохранить величины изгибающего момента M и продольной сжимающей силы N .

Усиление не приводит, в отличие от традиционных вариантов усиления деревянных конструкций созданием шпренгельной системы, к перераспределению изгибающего момента, не меняет принципиальной расчетной схемы деревянного элемента.

Введение дополнительных узлов в элементах верхнего пояса расчетной схемы позволяет уточнить значения величины изгибающего момента M и продольной сжимающей силы N в точках усиления стеклотканью.

В отличие от усиления стальными элементами, стеклоткань минимально влияет на величину собственного веса получаемой конструкции, не требует устройства отверстий под механические отверстия. Применение клеевой прослойки на контакте древесина – стеклоткань гарантирует монолитность получаемого поперечного сечения композитного древесно-стеклотканного элемента.

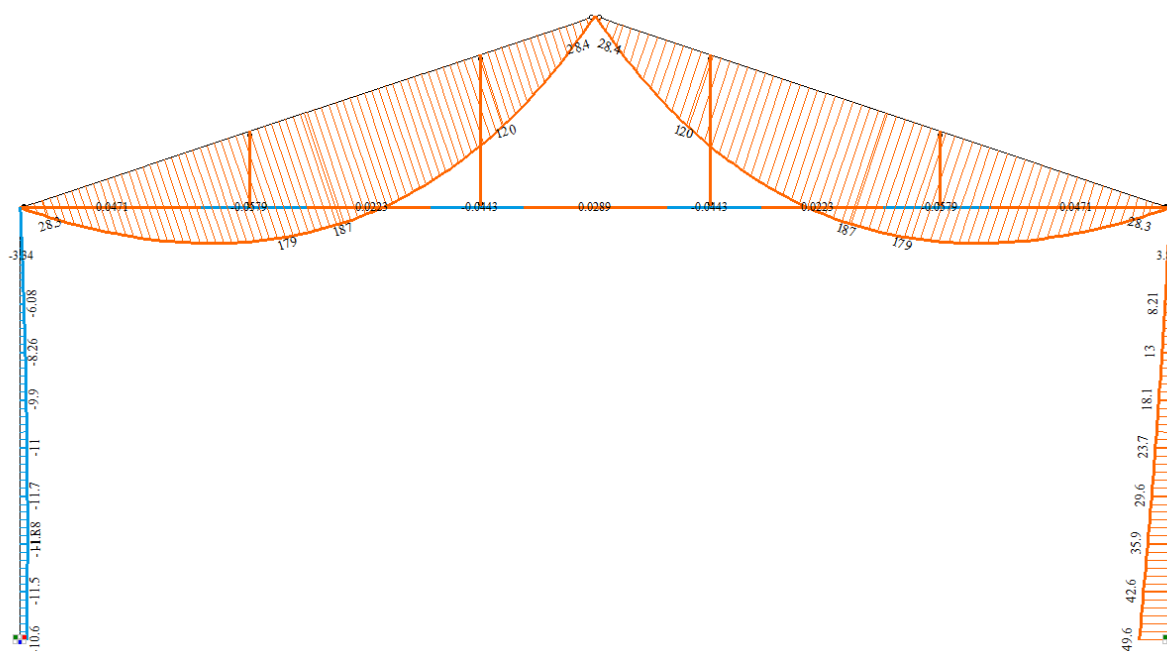


Рис.5. Усиленная расчетная схема. Эпюра М

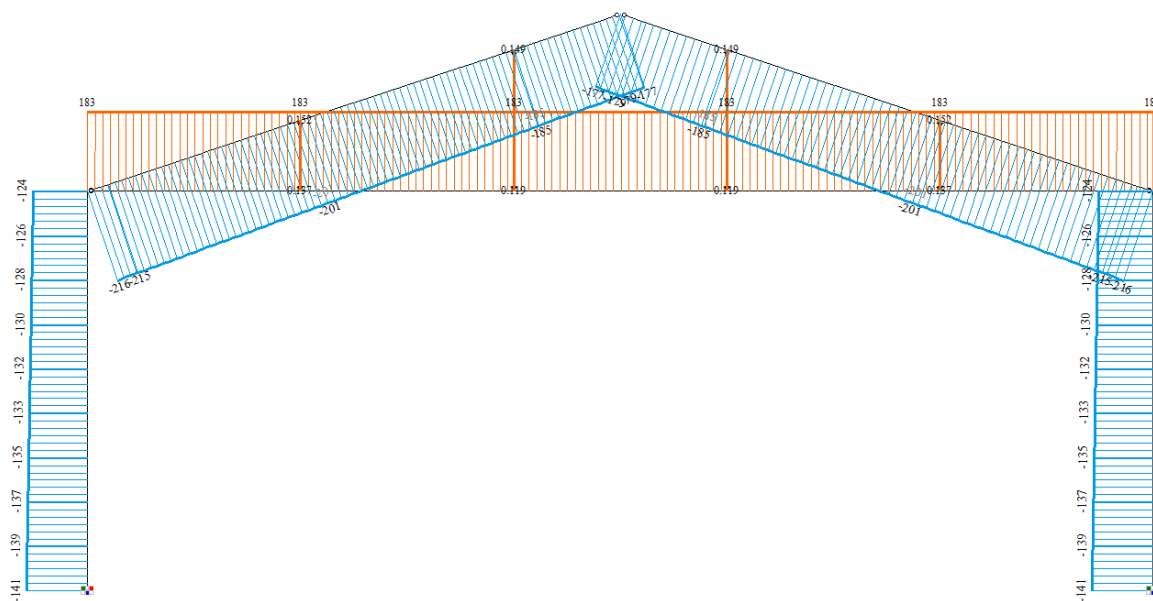


Рис.6. Усиленная расчетная схема. Эпюра N

Поверочный расчет сжато-изгибаемого элемента верхнего пояса по условию прочности 1-й группы предельных состояний с установлением текущего коэффициента использования прочности сечения верхнего пояса представлены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты поверочного расчета

Параметр	Условие	Обозначение параметра	Значение	Единица измерения
1	2	3	4	5
Напряжение в деревянном элементе	$N_{сж.изг.}/F_p + M_{изг.}/W_p$	$\delta_{сж.изг.}$	10,2	МПа
Расчетное сопротивление древесины	-	$R_{изг}$	11,2	МПа
Критерий проверки прочности сечения	$\delta_{сж.изг.} > R_{изг}$	-	$10,2 < 11,2$	МПа
Коэффициент использования прочности сечения	$\delta_{сж.изг.} / R_{изг}$	$K_{исп}^{сеч}$	0,91	-

По результатам расчета было установлено значение коэффициент использования сечения элемента верхнего пояса распорной системы составляет $K_{исп}^{в.п.} = 0,91$. Прочность поперечного сечения верхнего пояса после устройства композитного древесно-стеклотканного элемента обеспечена.

Для установления эффекта, который достигается путем предложенного способа усиления верхнего пояса распорной системы необходимо сравнить напряжения, возникающие в дощатоклееном элементе верхнего пояса распорной системы треугольного очертания, а также коэффициенты

использования прочности сечения. Сводные результаты вычисления прочности сечения представлены в таблице 6.

Таблица 6. Сводные результаты расчета

№ п.п.	Тип схемы	Напряжения, МПа	Расчетное сопротивление древесины, МПа	Коэффициенты использования прочности сечения, $K_{сеч}$
1	Исходная схема	11,82	11,23	1,05
2	Усиление деревянного элемента стеклотканью	10,20	11,23	0,91

Выводы

1. В ПК Лира-САПР создана исходная схема рамы одноэтажного однопролетного здания, состоящая из распорной системы треугольного очертания и колонн.
2. Выполнена проверка прочности дощатоклееного элемента верхнего пояса исходной расчетной схемы. Коэффициент использования прочности сечения элемента верхнего пояса распорной системы составляет $K_{исп}^{в.п.} = 1,05$ – требование по прочности не выполнено.
3. Предложен вариант усиления деревянного сечения стеклотканью.
4. Выполнена проверка прочности дощатоклееного элемента верхнего пояса исходной расчетной схемы. Коэффициент использования

прочности сечения элемента верхнего пояса распорной системы составляет $K_{исп}^{в.п.} = 0,91$ – требование по прочности выполнено.

5. Запас прочности, за счет усиления элементов верхнего пояса распорной системы, составил 9%.

Литература

1. Серов Е.Н., Санников Ю.Д., Серов А.Е. Проектирование деревянных конструкций. М.: АСВ, 2016. 534 с.
2. Погорельцев А.А., Турковский С.Б. Аквапарки и бассейны с конструкциями из клеёной древесины и узлами на вклеенных стержнях системы ЦНИИСК. М.: АВС, 2024. 252 с.
3. Гиясов Б.И., Серегин Н.Г., Серегин Д.Н. Конструкции из древесины и пластмасс. 2 изд. М.: АВС, 2024. 400 с.
4. Гиясов Б.И., Серегин Н.Г. Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины. М.: АВС, 2018. 256 с.
5. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт. М.: АВС, 2013. 312 с.
6. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В., Пичугин С.Ф. Основы метода расчетных предельных состояниях. М.: АВС, 2019. 240 с.
7. Schober K.U., Harte A.M., Kliger R., Jockwer R., Xu Q., Chen J.F. FRP reinforcement of timber structures // Construction and Building Materials. 2015. №97. pp. 106-118.
8. Broughton J., Hutchinson A. Adhesive systems for structural connections in timber // International Journal of Adhesion and Adhesives. 2001. №21. pp. 177- 186.
9. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. Москва. АСВ. 2016. 338с.

10. Инжутов И.С., Жаданов В.И., Бахарева Н.А., Мельников П.П. Исследование напряженно-деформированного состояния в узле деревянной клееной большепролетной конструкции с использованием углеволокна // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. URL: pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2017&v=11.

References

1. Serov E.N., Sannikov Yu.D., Serov A.E. Proektirovanie derevyannykh konstrukcij. [Design of wooden structures]. 2016. 534 p.
2. Pogoreltsev A.A., Turkovsky S.B. Akvaparki i bassejny s konstrukciyami iz kleyonoy drevesiny i uzlami na vkleennykh sterzhnyah sistemy CNIISK [Water parks and swimming pools with structures made of glued timber and units on glued rods of the TsNIISK system]. 2024. 252 p.
3. Giyasov B.I., Seregin N.G., Seregin D.N. Konstrukcii iz drevesiny i plastmass. [Wood and plastic structures]. 2024. 400 p.
4. Giyasov B.I., Seregin N.G. Konstrukcii unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij iz drevesiny. [Designs of unique buildings and structures made of wood]. 2018. 256 p.
5. Ivanov Yu.V. Rekonstrukciya zdaniy i sooruzhenij: usilenie, vosstanovlenie, remont. [Reconstruction of buildings and structures: strengthening, restoration, repair]. 2013. 312 p.
6. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V., Pichugin S.F. Osnovy metoda raschetnykh predel'nykh sostoyaniyah. [Fundamentals of the method of calculated limit states]. 2019. 240 p.
7. Schober K.U., Harte A.M., Kliger R., Jockwer R., Xu Q., Chen J.F. Construction and Building Materials. 2015. №97. pp. 106-118.
8. Broughton J., Hutchinson A. International Journal of Adhesion and Adhesives. 2001. №21. pp. 177- 186.



9. Gorodetsky A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N. Komp`yuternoe modelirovanie v zadachax stroitel`noj mexaniki. [Computer modeling in problems of structural mechanics]. 2016. 338p.
10. Inzhutov I.S., Zhadanov V.I., Bakhareva N.A., Melnikov P.P. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. №11. URL: pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2017&v=11.

Дата поступления: 13.01.2025

Дата публикации: 25.02.2025