

Прочность дощатоклееной конструкции при усилении верхнего пояса распорной системы треугольного очертания

Н.В. Линьков, А.А. Клюкин

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье рассматривается усиление верхнего пояса распорной системы треугольного очертания, как методика восстановления несущей способности дощатоклееного элемента по 1-й группе предельных состояний. Усиление позволило получить в результате вычислений коэффициент использования прочности, не превышающий предельного значения.

Ключевые слова: треугольная распорная система, верхний пояс, дощатоклееный элемент, модуль упругости, объемный вес, сжимающая сила, изгибающий момент.

Введение

Распорные конструкции треугольного очертания традиционно применяются в зданиях складского, производственного, спортивно-зрелищного назначения [1, 2], допуская перекрывать пролеты в диапазоне от 18 до 30 метров. Отличительными чертами таких конструкций является прямолинейное очертание верхнего пояса, наличие воспринимающей распор стальной затяжки, стальных подвесок, которые препятствуют провисанию затяжки в пролете, передача нагрузки от ригеля покрытия через колонны на фундаментные конструкции [3, 4].

При оценке прочности сжато-изгибаемого элемента верхнего пояса возникает необходимость проверки сечения дощатоклееного элемента верхнего пояса на восприятие совместного действия изгибающего момента и соответствующей ему продольной сжимающей силы. В процессе эксплуатации нагрузки, действующие на конструкцию могут увеличиваться – изменение состава ограждающей части кровли, изменение величин кратковременных нагрузок при актуализации действующих норм, изменение формата определения величин расчетного сопротивления древесины. Увеличение нагрузок влечет за собой необходимость установить поверочным

расчетом текущих коэффициентов использования сечений несущих элементов. Очевидным инженерным решением в таком случае является изменение расчетной схемы конструкции [5]. Введение промежуточных неразрезных опор и соединение основных узлов стальными тяжами в замкнутую систему приводит к перераспределению усилий, за счет включения в работу новых конструктивных элементов системы. Для деревянных конструкций такое конструктивное решение названо «шпренгельной системой». Ожидаемый эффект от такого решения – изменение величин продольной сжимающей силы и изгибающего момента в результате статического расчета [6], выполнение проверки прочности, когда напряжения не превышают величины расчетного сопротивления древесины, учитывая эффективность современных методик усиления деревянных конструкций [7, 8].

Цель данной работы – достичь, за счет усиления верхнего пояса, изменения расчетной схемы и уменьшения значений внутренних усилий в элементах дощатоклееной распорной системы.

Предметом исследования является условие прочности, предъявляемое к дощатоклееной конструкции верхнего пояса распорной системы треугольного очертания.

Общие данные конструкции расчетной модели

Для исследования названного предмета исследования была выполнена модель рамы однопролетного здания основу которой составляют дощатоклеенные колонны и в виде ригеля выступает распорная система треугольного очертания. Распорная система представлена дощатоклееным верхним поясом, стальной затяжкой и подвесками. Устойчивость и геометрическая неизменяемость рамы в плоскости обеспечена жестким защемлением колонн на фундаменте и шарнирным примыканием ригеля на верхние узлы колонн [9]. Геометрические параметры, единицы измерения и

применяемые условные обозначения конструкции плоской рамы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Общие характеристики деревянной клееной рамной конструкции

Параметр	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
Пролет распорной системы	L_{PC}	м	27
Высота колонн	H_K	м	9
Стрела подъема распорной системы	H_{K2}	м	4,45
Шаг рам по длине здания	B_P	м	6

Был сформирован список жесткостей, назначенный стержням системы. Материал деревянных элементов рамы – верхний пояс распорной системы и колонны – древесина хвойных пород, сосна 2 сорт, модуль упругости $E=10000$ Мпа, объемный вес 500 кг/м³. Материал стальных элементов рамы – затяжка распорной системы и подвески – круглая сталь А240. Общие данные размеров поперечных сечений представлены в таблице 2.

Таблица 2

Жесткости элементов рамной конструкции

Параметр	Материал	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение
1	2	3	4	5
Верхний пояс	Сосна 2 сорт	$B_{вп} \times H_{вп}$	мм	140 x 891
Колонна	Сосна 2 сорт	$B_K \times H_K$	мм	140 x 495
Затяжка	Сталь А240	$D_{зат}$	мм	20
Подвеска	Сталь А240	$D_{подв}$	мм	12

Было сформировано необходимое количество загрузжений, соответствующих реальной работе конструкции – нагрузки от собственного веса системы, веса покрытия, снеговой нагрузки на покрытие.

Общий вид расчетной схемы представлен на рисунке 1.

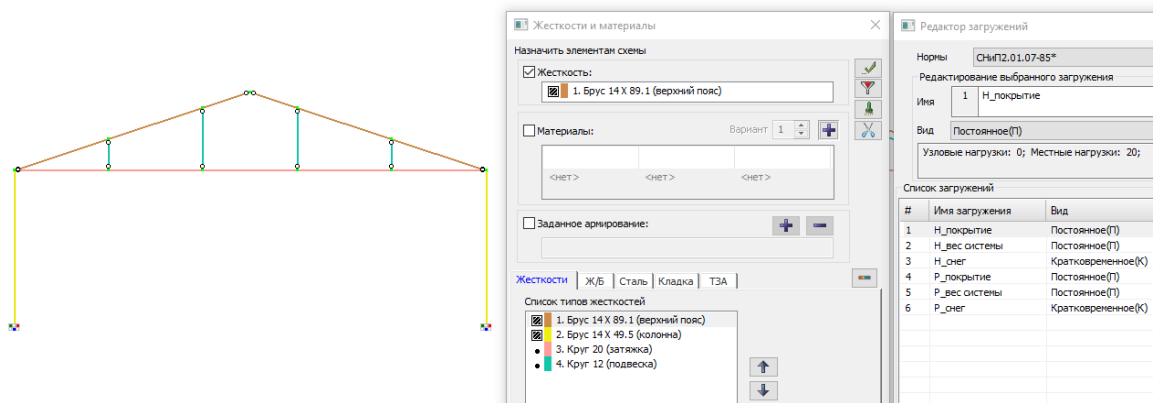


Рисунок 1. Общий вид исходной расчетной схемы

В результате расчета необходимо получить характерные величины значений внутренних усилий и выполнить расчет прочности дощатоклееного элемента с установлением фактического коэффициента использования несущей способности [9].

Результаты расчета исходной схемы

В результате расчета были получены значения продольной сжимающей силы в элементе верхнего пояса распорной системы и соответствующего ей изгибающего момента. Величина продольной силы N составила 218 кН. Величина изгибающего момента M составила 225 кН*м. Был выполнен поверочный расчет элемента верхнего пояса как сжато-изгибаемого элемента из условия прочности по 1-й группе предельных состояний. Результаты расчета исходной схемы представлены на рисунках 2 и 3. Результаты поверочного расчета с установлением фактического коэффициента использования прочности сечения верхнего пояса представлены в таблице 3.

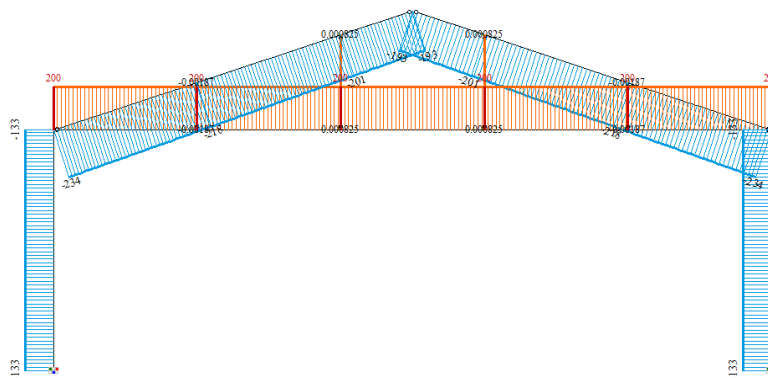


Рисунок 2. Результат расчета – эпюра продольных сил N

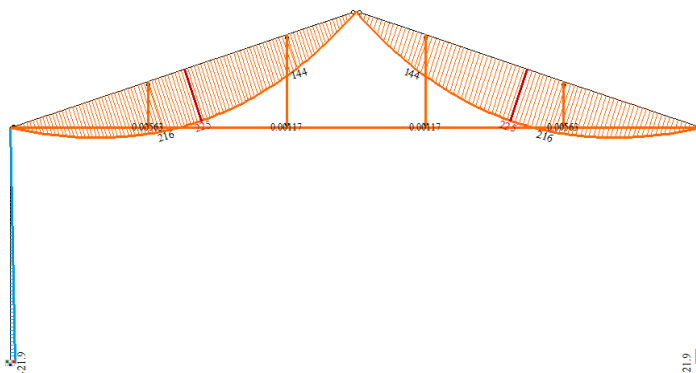


Рисунок 3. Результат расчета – эпюра изгибающих моментов M

Таблица 3

Результаты поверочного расчета

Параметр	Условие	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение
1	2	3	4	5
Напряжение	$N_{сж}/F_{сеч} + M_{изг}/W_{сеч}$	$\delta_{сж.изг.}$	МПа	13,8
Расчетное сопротивление	-	$R_{изг}$	МПа	12,7
Критерий проверки	$\delta_{сж.изг.} > R_{изг}$	-	МПа	$13,8 > 12,7$
Коэффициент использования	$\delta_{сж.изг.} / R_{изг}$	$K_{исп}^{сеч}$	-	1,1

Усиление конструкции и перерасчет модели

В результате расчета мы получили коэффициент использования сечения верхнего пояса 1,1 – что говорит о недостаточной несущей способности и необходимости усиления элемента верхнего пояса и перерасчета модели.

Добавим к элементу верхнего пояса две неразрезные опоры и замкнем систему стальными тяжами, превратив тем самым элемент верхнего пояса в замкнутую шпренгельную систему [10]. Общий вид усиленной расчетной схемы представлен на рисунке 4.

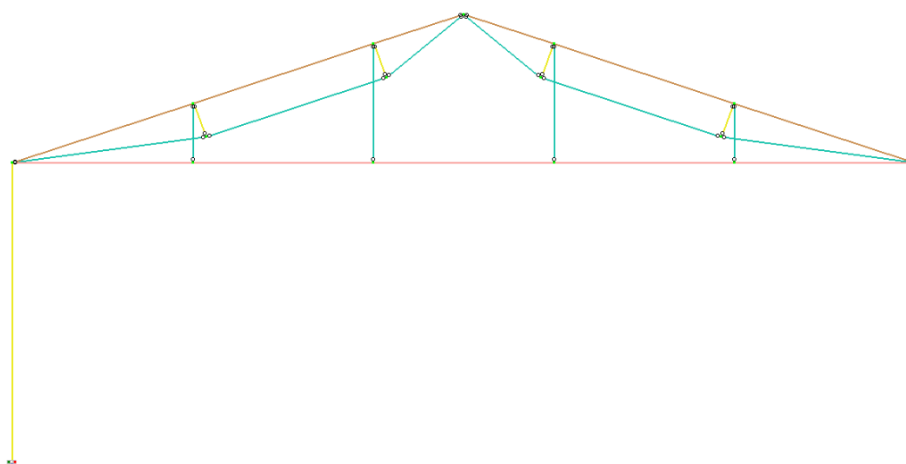


Рисунок 4. Общий вид усиленной расчетной схемы

Выполним перерасчет модели для установления на сколько изменятся значения продольной сжимающей силы N и изгибающего момента M в элементе верхнего пояса распорной системы. Необходимо выполнить перерасчет проверки верхнего пояса на сжатие с изгибом для установления фактического коэффициента использования прочности верхнего пояса после выполнения усиления его путем создания шпренгельной системы.

Результаты расчета усиленной схемы представлены на рисунках 5 и 6. Результаты поверочного расчета с установлением фактического коэффициента использования прочности сечения верхнего пояса представлены в таблице 4.

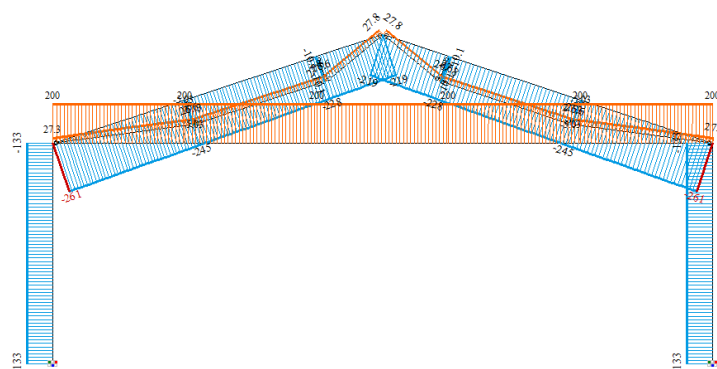


Рисунок 5. Результат расчета – эпюра продольных сил N

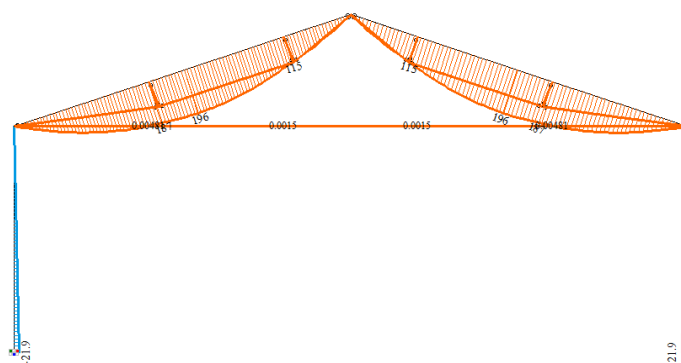


Рисунок 6. Результат расчета – эпюра изгибающих моментов M

Таблица 4

Результаты поверочного расчета

Параметр	Условие	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение
1	2	3	4	5
Напряжение	$N_{сж.}/F_{сеч} + M_{изг.}/W_{сеч}$	$\delta_{сж.изг.}$	МПа	12,5
Расчетное сопротивление	-	$R_{изг.}$	МПа	12,7
Критерий проверки	$\delta_{сж.изг.} > R_{изг.}$	-	МПа	12,5 > 12,7
Коэффициент использования	$\delta_{сж.изг.} / R_{изг.}$	$K_{исп.сеч}$	-	0,9

Результаты расчета

После выполнения усиления верхнего пояса удалось для расчетной схемы получить уменьшение величины изгибающего момента в верхнем поясе в диапазоне от $M_{\text{изг}}^{\text{исх}}=225$ кН*м до $M_{\text{изг}}^{\text{усил}}=196$ кН*м, что позволило изменить коэффициент использования прочности сечения верхнего пояса распорной системы с значения 1,1 до значения 0,9, тем самым установив достаточную прочность сечения верхнего пояса на сжатие с изгибом по 1-й группе предельных состояний.

Выводы

1. Выполнена расчетная модель рамы состоящей из распорной системы треугольного очертания и колонн.
2. По результатам расчета было установлено значение прочности верхнего пояса распорной системы треугольного очертания. Напряжение в дощатоклееном элементе составило 13,8 МПа, при этом величина расчетного сопротивления древесины принимает значение 12,7 МПа – требование по прочности не выполнено.
3. Установлена фактическая величина коэффициента использования прочности сечения верхнего пояса, составляющая $K_{\text{исп}}=1,1$.
4. В расчетной модели произведено усиление верхнего пояса путем устройства шпренгельной системы из стоек и тяжей.
5. Пересчет модели показал уменьшение величины изгибающего момента в сечении верхнего пояса $M_{\text{изг}}$ на 14%.
6. Пересчет проверки прочности показал снижение коэффициента использования прочности сечения верхнего пояса до значения 0,9.
7. Запас прочности, за счет усиления элементов верхнего пояса распорной системы, составил 10%.

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 konstrukcijami iz kleyonoy drevesiny i uzlami na vkleennyh 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'nyh 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: 14.12.2024

Дата публикации: 26.01.2025
