

УДК 624.011.17

КОРОБЕЙНИКОВА А. Б.
ЕСИПОВ А. В.

Влияние продольного армирования на устойчивость деревянных стоек



**Коробейникова
Анна
Борисовна**

студентка ФГБОУ ВО
«Тюменский индустриаль-
ный университет»

e-mail:
korobeinikovaa@bk.ru



**Есипов
Андрей
Владимирович**

кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Строительные конструк-
ции» ФГБОУ ВО «Тюменский
государственный
университет»

e-mail:
sibstroy.2012@yandex.ru

В статье представлен вариант повышения несущей способности центрально сжатого деревянного элемента с сохранением его габаритов при помощи армирования стойки стержневыми элементами. Приведен расчет устойчивости стойки из цельной древесины с учетом наличия армирующих элементов из различных материалов. Представлен сравнительный анализ эффективности армирования центрально сжатого элемента из древесины.

Ключевые слова: древесина, деревянный столб, армирование, расчет, устойчивость, эффективность армирования.

KOROBAYNIKOVA A. B., ESIPOV A. V.

EFFECT OF LONGITUDINAL REINFORCEMENT ON THE STABILITY OF WOODEN PILLARS

The article presents a variant of increasing the bearing capacity of a centrally compressed wooden element while preserving its dimensions by reinforcement of the column with rod elements. Is given calculation of the stability of the rack of solid wood taking into account the availability of reinforcing elements from various materials. A comparative analysis of the efficiency of reinforcement of a centrally compressed element from wood is presented.

Keywords: wood, wooden pillar, reinforcement, calculation, stability, the efficiency of reinforcement.

Введение

Все более широкое применение в строительстве находят экологически чистые материалы, к которым относится древесина. Возобновляемость этого ресурса, легкость, низкая теплопроводность, высокая химическая стойкость — эти достоинства до сих пор не превзойдены другими строительными материалами. Можно отметить и эстетичность деревянных изделий.

Древесина в качестве строительного материала активно применяется не только в России, но и в странах Скандинавии, Северной Америки. В России сосредоточено около 25% всех мировых запасов леса. Несмотря на это, древесина представляет собой достаточно дорогой строительный материал, экономное использование которого весьма актуально, ведь возобновление лесного фонда требует длительного времени.

Уменьшение габаритов несущих и ограждающих конструкций приводит к экономии материала и снижению себестоимости строительства и, одновременно с этим, к увеличению удельных нагрузок на древесину. Восприятие повышенных удельных нагрузок несущими деревянными конструкциями возможно при увеличении расчетного сопротивления древесины, повышении качества материала и уменьшении количества дефектов. В современных условиях

это маловероятно, так как деловой древесины из качественного леса становится все меньше. Другим способом повышения несущей способности деревянных конструкций является создание новых композитных материалов: это традиционная и LVL-фанера, а также армированные отдельными стержнями и ламинатом деревянные конструкции.

Повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов хорошо изучено [1–3]. В качестве армирующих материалов применяются сталь, углепластик, стеклопластик. Армирование изгибаемых элементов достаточно эффективно, так как приводит к уменьшению влияния пороков древесины на прочность конструкций в целом и повышению внутреннего момента сопротивления за счет введения более прочного и жесткого армирующего элемента [1, 3, 4].

Весьма важным и недостаточно изученным вопросом в этой сфере является работа центрально сжатых деревянных элементов. Повышение устойчивости сжатых стоек, как правило, выполняется увеличением поперечного сечения, повышением степени статической неопределенности либо повышением изгибной жесткости путем введения в конструкцию стержней из материала, более прочного и жесткого, чем древесина. Последний вариант позво-

лит сохранить расход древесины при увеличении несущей способности сжатого элемента в целом.

Особенности расчета деревянных стоек на устойчивость

Действующие нормы [5] по расчету деревянных конструкций на устойчивость не позволяют учесть наличие в сжатом элементе армирующих стержней. Поэтому для оценки эффективности армирования деревянных стоек можно воспользоваться формулой Эйлера [6] и найти критические силы неармированного и армированного элементов:

$$N_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{(\mu \cdot l)^2}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости материала;

J — момент инерции поперечного сечения;

α — коэффициент расчетной длины, зависящий от способа закрепления стержня;

l — длина стойки.

Вместе с тем в соответствии с действующими нормами [5] несущая способность сжатого элемента на устойчивость зависит от коэффициента продольного изгиба φ :

$$N_p = R_{сж} \cdot F_{рас} \cdot \varphi, \quad (2)$$

где $R_{сж}$ — расчетное сопротивление сжатию вдоль волокон;

$F_{рас}$ — расчетная площадь поперечного сечения;

N_p — расчетная сжимающая сила;

φ — коэффициент продольного изгиба.

При гибкости стержня $\lambda > 70$ коэффициент продольного изгиба φ равен:

$$\varphi = A/\lambda^2. \quad (3)$$

При этом коэффициент A [7] находится по формуле:

$$A = \frac{(\pi^2 \cdot E)}{R_n}, \quad (4)$$

где R_n — нормативное сопротивление древесины по прочности на сжатие вдоль волокон.

Чаще всего коэффициент A применяется как постоянный в зависимости от вида древесины или фанеры и равен 3000.

Подставим выражение для коэффициента A (4) в формулу для определения коэффициента продольного изгиба φ (3):

$$\varphi = \frac{\pi^2 \cdot E}{R_n \cdot \lambda^2}. \quad (5)$$

Зная, что гибкость $\lambda = \sqrt{l/r}$, получаем:

$$\varphi = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot r^2}{R_n \cdot l^2}, \quad (6)$$

где r — радиус инерции сечения, который находится как $\sqrt{J/F_{рас}}$.

Получим:

$$\varphi = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{R_n \cdot l^2 \cdot F_{рас}}. \quad (7)$$

Теперь, когда значение коэффициента продольного изгиба φ полностью преобразовано, внесем его в формулу Эйлера (2).

$$N_p = \frac{R_{сж} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{R_n \cdot l^2}. \quad (8)$$

Подставив в формулу (8) выражение для критической эйлеровой силы (1), получим взаимосвязь между несущей способностью сжатого элемента согласно действующим

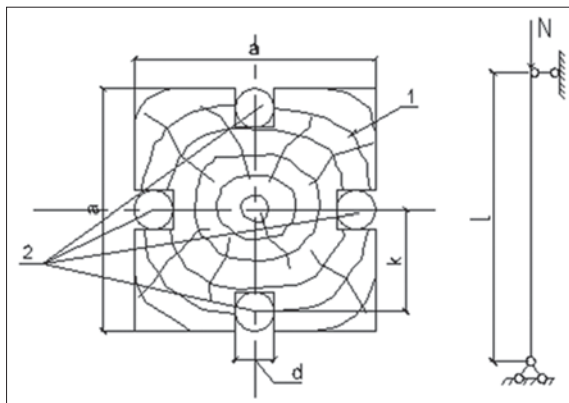


Иллюстрация 1. Поперечное сечение и расчетная схема стойки: 1 — деревянный брус; 2 — арматурный стержень

нормам проектирования [5] и критической эйлеровой силой:

$$N_p = \frac{R_{сж}}{R_n} \cdot N_{кр}. \quad (9)$$

При расчетном сопротивлении по прочности на сжатие вдоль волокон $R_{сж} = 140$ кг/см² (табл. 3 [5]) и нормативном сопротивлении по прочности на сжатие вдоль волокон $R_n = 330$ кг/см² (табл. В.2 [5]) отношение

$$\frac{R_{сж}}{R_n} = 0,43.$$

Аналитически оценку эффективности армирования сжатых деревянных элементов с гибкостью $\lambda > 70$ можно проводить по формуле (9).

Пример расчета деревянной и армированной стойки на устойчивость

Рассмотрим пример армирования стойки продольными стержнями, расположенными по четырем кромкам поперечного сечения стойки из бруса (Иллюстрация 1).

Технология получения такого сечения достаточно проста. По всей длине элемента по кромкам фрезеруются пазы, куда и вклеиваются армирующие стержни. В качестве армирующих элементов могут выступать стальная арматура периодического профиля или композитные стержни [8] (стеклопластик, углепластик).

Взята: деревянная стойка (сосна) длиной 3 м с поперечным сечением 100 × 100 мм. Диаметр армирующих стержней 16 мм. Расстояние от центра тяжести сечения до арматуры $k = 42$ мм. Гибкость стойки $\lambda = 103,45$. Испытывает центральное сжатие от силы N .

Для сравнения армирование выполняется тремя материалами:

- а) стальная арматура;
- б) стеклопластик;
- в) углепластик.

Изгибная жесткость стойки будет иметь вид:

$$EJ = E_d J_d + E_a J_a, \quad (10)$$

где $E_d J_d$ и $E_a J_a$ — жесткость древесины и арматуры соответственно.

Вследствие наличия армирующего материала момент инерции древесины J_d уменьшается на величину момента инерции арматуры, который по теореме Штейнера:

$$J_a = \left[4 \left(\frac{\pi d^4}{64} \right) + 2 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot k^2 \right]. \quad (11)$$

Таблица 1. Сравнительный анализ механических показателей материалов и эффективности армирования деревянной стойки композитной арматурой

№ п/п	Критерий сравнения	Материал			
		Древесина	Сталь	Стеклопластик	Углепластик
1	Модуль упругости, E , кг/см ²	100 000	2 100 000	150 000	1 500 000
2	Расчетное сопротивление, $R_{сж}$, кг/см ²	140	3900	5 000	10 000
3	Предельная относительная деформация материала, $\epsilon_{пр}$	0,0014	0,0019	0,0333	0,0067
4	Критическая сила, $N_{кр}$, кг	3929,6	10 740,7	4 099,8	8 697,4
5	Увеличение несущей способности, %		173,3	4,3	121,3

Соответственно,

$$J_d = \frac{a^4}{12} - \left[4 \left(\frac{\pi d^4}{64} \right) + 2 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot k^2 \right]. \quad (12)$$

Значение критической силы преобразуется и будет иметь вид:

$$N_{кр} = \frac{\pi^2 (E_d J_d + E_a J_a)}{(\mu l)^2}. \quad (13)$$

Зарубежные нормы не рекомендуют применять композитную стержневую арматуру в сжатой зоне для сжатых и для изгибаемых элементов [9–11]. Однако в численном эксперименте можно оценить целесообразность применения композитов в качестве сжатых элементов. Результаты качественного сравнения эффективности применения композитных материалов путем расчетов критических сил для неармированной и армированной стойки представлены в Таблице 1.

Заключение

Из анализа механических показателей материалов и эффективности армирования деревянных стоек (Таблица 1) можно сделать следующие выводы:

1. Предельная относительная деформация древесины из представленных материалов самая маленькая 0,0014, только у стали есть величина 0,0019, соизмеримая с древесиной. Это говорит о практически одновременном исчерпании несущей способности этих материалов. У композитной арматуры этот показатель значительно больше: для стеклопластика 0,033, для углепластика 0,0067. Теоретически полного использования несущей способности композита в момент разрушения древесины происходить не будет.
2. Абстрагируясь от низких показателей композитных материалов на сжатие [9–11], можно сказать, что углепластик дает больший прирост несущей способности сжатого стержня 121,3%, по отношению к стеклопластику на 4,3% при расчете на устойчивость. Это объясняется большей жесткостью углепластика по отношению к стеклопластику.
3. Наибольший прирост несущей способности сжатого стержня показало усиление стальной арматурой на 173,3%. При одинаковой работе стали на растяжение и сжатие этот вариант повышения устойчивости сжатых деревянных стоек выглядит наиболее перспективным.
4. Задачами дальнейших исследований повышения устойчивости деревянных стоек, усиленных стержневыми элементами являются:
 - деревянных стоек на сжатие с оценкой критической силы;

- разработка инженерного метода расчета устойчивости армированных деревянных стоек на основании экспериментальных исследований.

Список использованной литературы

1. Есипов А. В., Лыкова Я. В. Усиление деревянных балок стержневой арматурой // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии-2016 : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. Тюмень : РИО ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2016. Т. 1. С. 226–232.
2. Есипов А. В., Лыкова Я. В. Инженерный метод расчета повышения несущей способности цельнодеревянных балок установкой стержневой арматуры в растянутой зоне // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2016. № 4. С. 61–66.
3. Рощина С. И., Сергеев М. С., Лукина А. В. Армированные деревянные конструкции // Архитектура и строительство России. 2008. № 3. С. 34–39.
4. Уточкина Е. С., Крицин А. В. Внешнее армирование несущих деревянных конструкций углеродной лентой // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8. С. 294–296.
5. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. М. : Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. 92 с.
6. Пановко Я. Г., Губанова И. И. Устойчивость и колебания упругих систем: современные концепции, парадоксы и ошибки. 4-е изд., перераб. М. : Наука, 1987. 352 с.
7. Конструкции из дерева и пластмасс. Примеры расчета и конструирования : учеб. пособие для вузов/под ред. проф. В. А. Иванова. 3-е изд., перераб. и доп. Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1981. 392 с.
8. Польской П. П., Майлян Д. Р. Композитные материалы — как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 23. № 4–2 (23). С. 162.
9. ACI 440.1R — 06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. 2006. 44 p.
10. ACI 440.3R — 04. Guide for Test Methods for Fiber Reinforced Polymers (FRP) for Reinforcing and Strengthening Concrete Structures. ACI Committee 440. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. 2004. 40 p.
11. CNR — DT 203/2006, 2006. Istruzioni per la Progettazione, l'Escussione c il Controllo di Strutture di Calcestruzzo armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato (in Italian).