УВЕЛИЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОСТОВЫХ БАЛОК ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

INCREASING THE LOADING CAPACITY OF GLUED WOOD BRIDGE BEAMS

УДК 624

Аверченко Глеб Александрович, ассистент,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург
Зорина Евгения Алексеевна, студент,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург
Ким Дэ Ун, студент,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург
Наборщикова Дарья Николаевна, студент,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург

Averchenko G.A. averchenko_ga@spbstu.ru
Zorina. E.A. averchenko_ga@spbstu.ru
Kim. D. kim4.d@edu.spbstu.ru
Naborshikova D.N. nabortshikova.dn@edu.spbstu.ru

Аннотация

В статье рассматриваются основные сведения о несущей способности, характере распределения касательных напряжений по длине клееных балок. Было получено экспериментальное подтверждение, показывающее

возможность значительного увеличение сдвиговой прочности деревянных балок путем наклонного (разновидность поперечного) армирования стержневой арматурой в направлении главных растягивающих напряжений. Приведены данные о теоретических исследованиях влияния армирования элементов на обеспечение высокой степени надежности работы конструкций под эксплуатационной нагрузкой.

Annotation

The article discusses the basic information about the bearing capacity, the nature of the distribution of shear stresses along the length of glued beams. An experimental confirmation was obtained showing the possibility of a significant increase in the shear strength of wooden beams by means of inclined (a type of transverse) reinforcement with bar reinforcement in the direction of the main tensile stresses. The data on theoretical studies of the influence of reinforcement of elements on ensuring a high degree of reliability of the operation of structures under operational load are presented.

Ключевые слова: несущая способность, касательные напряжения, клееные балки, армирование, теория составных стержней, мосты, инженерные сооружения, строительство, клееная древесина, сдвиговая прочность.

Keywords: load-bearing capacity, tangents, glued beams, reinforcement, composite bar design, bridges, engineering structures, construction, glued timber, shear strength.

Быстрое развитие строительной отрасли требует поиска новых и эффективных конструкций. Одними из таких конструкций являются балки из клееной древесины с наклонным армированием. Такие конструкции по ряду технико-экономических имеют превосходство над металлическими и железобетонными: имеют малую монтажную массу, относительно высокую прочность и жесткость при достаточной надежности и долговечности. Однако,

у древесины есть и отрицательные стороны (зависимость свойств от ее строения, пороков, необходимости применения и значительного расхода качественного пиломатериала, излишней массивности сечений, ползучести при длительном нагружении и др.) [7-9]. Один из путей устранения указанных недостатков и повышения технико-экономической эффективности – армирование сечений клееных деревянных конструкций [10,11]. Это позволяет сократить расход древесины, уменьшить монтажную массу, повысить качество и надежность деревянных конструкций [18-19,25].

Несущая способность некоторых деревянных и особенно клееных балок (двухскатных, с подвесными кранами, мостовых и др.) пролетом до 15 м определяется уровнем касательных напряжений [13,14]. Сдвиговая прочность деревянных балок может быть значительно увеличена путем наклонного (разновидность поперечного) армирования стержневой арматурой в направлении главных растягивающих напряжений (рис. 1) [1, 21-23]. Благодаря совместной с древесиной работе наклонная арматура воспринимает часть сдвигающих усилий и соответственно снижает касательные напряжения [5,17,24].

Определить касательные напряжения можно с помощью теории составных стержней А.Р. Ржаницына [2,20]. Если представить монолитную балку состоящей по высоте сечения из двух брусьев, соединенных по длине упругоподатливыми связями, то жесткость этих связей ξ выразится:

$$\xi = \frac{2bG}{h} \qquad (1)$$

Где G-модуль сдвига древесины,

b и h- ширина и высота балки.

Наклонно вклеенная в приопорные зоны балки арматура будет выполнять функции упругоподатливых торцевых упоров. (рис. 1б).

Сдвигающие усилия T в упругоподатливых связях с касательными напряжениями связаны уравнением $\tau = T'$ и распределены в шве составного стержня по закону:

$$\frac{T''}{\xi} = \gamma \cdot T + \Delta \quad (2)$$

где

$$\gamma = \frac{4}{EF} + \frac{h^2}{EI}$$

$$\Delta = -\frac{M^{\circ} h^2}{EI}$$

M°-внешний изгибающий момент,

EF и EI-продольная и изгибная жесткость балки.

Решение дифференциального уравнения (2) может быть представлено в виде:

$$T = C_1 \cdot s \cdot h \cdot \lambda \cdot x + C_2 \cdot c \cdot h \cdot \lambda \cdot x + \frac{\xi}{\lambda} \int_0^x \Delta(t) \cdot s \cdot h \cdot \lambda(x - t) dt$$

Где $\lambda = \sqrt{\xi \cdot \gamma}$

C_1 и C_2-произвольные постоянные.

Введем параметр A, характеризующий влияние торцевых упоров и равный воспринимаемой ими сдвигающей силе. Тогда граничные условия на конце балки можно найти из условий равенства сдвигающей силы воспринимаемому торцевыми упорами усилию и шарнирного опирания балки.

$$T=A \ (4) \text{ и } T'' - \lambda^2 \cdot A = 0 \quad (5)$$

На рис. 1 приведены эпюры касательных напряжений в балке о равномерно-распределенной нагрузкой при отсутствии торцевых упоров (рис. 1в), при абсолютно жестких упорах (рис. 1г) и при упругоподатливых упорах (рис. 1д).

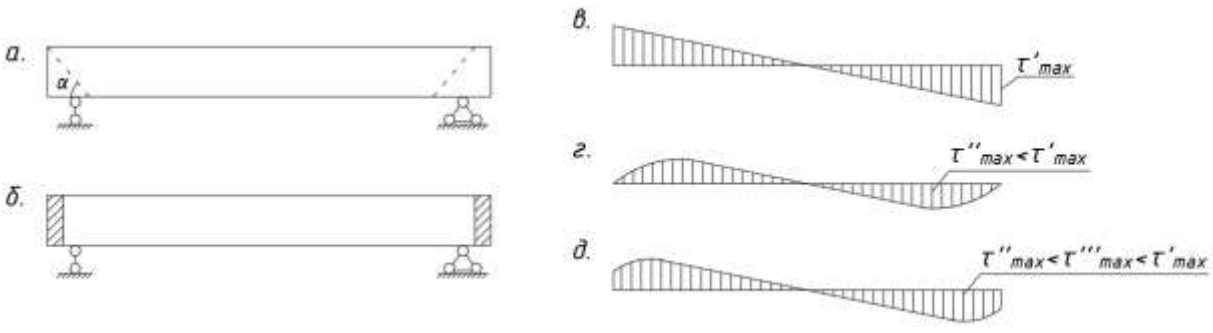

Рис.1. Наклонно-армированная балка: а – конструктивная схема; б – расчетная модель; в, г, д – опоры τ.

Таким образом, для определения эпюры касательных напряжений необходимо знать параметр А, который можно выразить:

$$A = \sigma_a \cdot F_a \cdot \cos\alpha \quad (6)$$

Где σ_a и F_a- напряжения в арматуре и ее площадь.

α-угол наклона арматуры к оси балки.

Из условия совместности деформаций вклееной арматуры и древесины и предложив, что приопорная зона около нейтральной оси испытывает чистый сдвиг, напряжения в арматуре будут равны

$$\sigma_a = \sigma_{g\alpha} \cdot \frac{E_a}{E_{g\alpha}} = 2 \cdot \tau \cdot \frac{E_a}{E_{g\alpha}} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha , \quad (7)$$

Где $\sigma_{g\alpha}$ и $E_{g\alpha}$- напряжения и модуль упругости древесины под углом α к волокнам.

E_a-модуль упругости арматуры.

Подставив (7) в (6) получим

$$A = 2 \cdot \tau \cdot F_a \cdot \frac{E_a}{E_{g\alpha}} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha^2 \quad (8)$$

Экспериментально величина А определялась испытанием двух серий специальных образцов (предложены Е.М. Знаменским) на скалывание. Образцы первой серии изготавливались армированными одним арматурным стержнем диаметром 16 класса А-III (рис. 2а), образцы контрольной серии без арматуры. Средняя несущая способность серий соответственно составила 352 и 251 кН, разность этих величин (101 кН) и является параметром А. Это на 15% превышает величину 85 кН, полученную по формуле (6). Однако совпадение оказывается приемлемым, если учесть эффект повышения предела текучести арматуры (на 15-20%) покрытой эпоксидным клеем, подтвержденный исследованиями в СПбПУ.

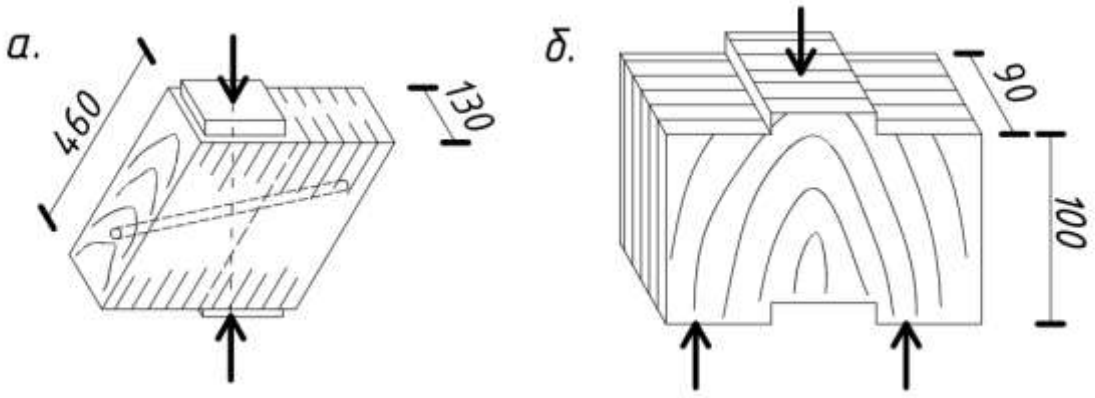

Рис.2. Образец на скалывание: а - с армированием; б - с площадкой скалывания, нормальным к клеевым швам

Кроме того, армирование исключает хрупкое разрушение, характерное для скалывания [4]. В разрушении появляется две стадии: скалывание и медленное вязкое нарастание деформаций при нагрузке, близкой к расчетной. Вторая стадия и повышает безопасность конструкций. Последняя определяется также и повышенной прочностью клееной древесины на скалывание под вклееными стержнями по площадкам, перпендикулярным клеевым швам [3,15,16]. Эта характеристика отсутствует в СП 64.13330.2017 и определялась испытаниями Ж-образных образцов (рис. 2б) [6]. В результате при средней прочности 83 МПа коэффициент вариации составил 12%, что вдвое ниже обычного.

Влияние армирования на распределение касательных напряжений в балке определялось и экспериментально методом тензометрии.

Наклонное армирование широко используется в различных несущих конструкциях из клееной древесины, особенно при повышенной ответственности. Данный факт легко объясним результатами комплексных исследований, которые показали, что наклонное армирование балок позволяет:

1. Повысить сдвиговую прочность до 20%, что является следствием передачи части поперечной силы, пропорциональной касательным напряжениям, арматуре - конструкционным элементам, обладающим большей жесткостью по отношению к древесине;

2. Путем изменения параметров армирования регулировать форму эпюры касательных напряжений;

3. Повысить безопасность конструкций за счет исключения хрупкого разрушения и повышенной прочности клееной древесины на скалывание нормально швам;

4. Для расчета балок с наклонным армированием приопорных зон может использоваться аппарат теории составных стержней.

Литература

1. Иванов Ю.М., Линьков И.М., Сороткин В.М. Исследование влияния армирования на прочность и жесткость клееных деревянных изгибаемых элементов // Тр.ЦНИИСК. -1972. Вып.24. -С. 13-30.

2. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки // М.: Стройиздат, 1986. – С. 316.

3. Дагер, Х.Дж. Влияние армирования стеклопластиком на низкосортные клееные бугры из тсуги восточной / Х.Дж. Кимбалл, С. Шалер, Б. Абдель-Магид // Национальная конференция по деревянным транспортным конструкциям. - октябрь 1996 г. - Р. 207-213.

4. Щуко В.Ю., Рощина С.И. Клееные армированные деревянные конструкции: учебное пособие // СПб.: ГИОРД, 2009. – С. 128.

5. Петряев Н. Е., Левинский Ю. Б. Экспериментально-теоретическое обоснование эффективности дисперсионного армирования клееных деревянных балок // Системы. Методы. Технологии. - 2012. - №2 (14). - С.102-106.

6. Деревянные конструкции // СП 64.13330.2017 Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменениями N 1, 2). - М., Стандартинформ, 2018; М., Стандартинформ, 2019. - С. 90.

7. Еврокод 5: Проектирование деревянных конструкций: EN 1995-1-1: 2004. - Часть 1-1: Общие - Общие правила и правила для построек. Европейский комитет по стандартизации, 2008 г.

8. Стуков В.П. Комплексное исследование мостов с балками из клееной древесины // Лесной журнал - 2006. - № 5. - С. 40-46.

9. Мещерякова А.А., Белоконев В.В. Клееные деревянные конструкции и перспективы их использования // Поколение будущего: взгляд молодых ученых, 2016. С. 45-48.

10. Ян Х., Джу Д., Лю В., Лу В. Предварительно напряженные клееные балки, армированные стержнями из углепластика // Строительство и строительные материалы. 2016. Т. 109. С. 73-83.

11. Сориано Дж., Пеллис Б.П. Mascia N.T. Механические характеристики балок из клееного бруса, симметрично армированных стальными стержнями // Композитные конструкции, 2016. Вып. 150. С. 200-207.

12. Глинка Н.Н., Поспелов Н.Д. Клееные пролетные строения мостов // -М.: Транспорт, 1964. С.88.

13. Поспелов Н.Д. Клееные конструкции в мостостроении // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1972.-№11.-С.130-133.

14. Михайлов В.Г. Скалывание в клеевых дощатых стыках // Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций. М.: Госстройиздат, 1952 -С. 142-176.

15. Белянкин Ф.П. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон // Киев: Изд-во Академии наук УССР, 1955. – С. 140.

16. Турковский С.Б., Ковальчук Л.М., Баранов Г.Р., Погорельцев А.А. Повышение надежности деревянных клееных конструкций поперечным и наклонным армированием // Изв. вузов. Строительство и архитектура. -1988. № 7. С. 17-20.

17. Гибас Д. Деревянный мост: старая и новая концепция // Форест прод. 1983. - 33, 1. № 11-12. -С.6-7.

18. Калугин А.В., Деревянные конструкции. // Учеб. пособие (конспект лекций). - М.: Издательство АСВ, 2003.- С. 224.

19. Филатов В.В. Расчет сквозных балок по теории составных стержней А.Р. Ржаницына // Вестник МГСУ. 2013. № 9. С. 23—31.

20. Репин В.А. Деревянные балки с рациональным армированием // Диссертация, 2000. С. 158.

21. Рощина С.И. Армирование - способ повышения надежности и долговечности деревянных конструкций // Лесной журнал 2008. № 2. С. 71-75.

22. Рощина С.И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки // Диссертация, 2009. С. 200.

23. Щуко В.Ю. Клееные деревянные балки, армированные стальной арматурой // Тр. Иркутского политехнического института. Вып. 37. Иркутск, 1967. С. 51-59.

24. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) // ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1986. – С. 216.

25. Павленко А., Мишакова А., Перцева О., Олехнович Ю., Аверченко Г., Иванова В. Возможность применения ускоренных методов испытаний для определения морозостойкости бетона. В сборнике: E3S Web of Conferences. Ключевые тенденции в транспортных инновациях, КТТИ 2019. 2020. С. 06035.

26. Аверченко Г.А., Мухаррямов И.Р. Опыт строительства автомобильных дорог в Швеции. // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10 (11). С. 6-16.

27. Аверченко Г.А., Кирьян И.В. Выбор маршрута и пропуск сверхнормативных нагрузок по автодорожным мостам // StudNet. 2020. Т. 3. № 2. С. 392-401.

28. Аверченко Г.А., Квитко А.В. Способ заполнения бреши при разрушении пролетов больших и внеклассных мостов. // В сборнике: Научные разработки: евразийский регион. Третья международная научная конференция теоретических и прикладных разработок. Монография. Ответственный редактор Д.Р. Хисматуллин. 2017. С. 150-156.

Literature

1. Ivanov Yu.M., Linkov I.M., Sorotkin V.M. Investigation of the influence of reinforcement on the strength and rigidity of glued wooden bending elements // Tr. TsNIISK. -1972. Issue 24. -P. 13-30

2. Rzhanitsyn A.R. Composite rods and plates // M .: Stroyizdat, 1986. - P. 316

3. Dagher, H.J. Effect of FRP Reinforcement on Low Grade Eastern Hemlock Glulams / H.J. Dagher, T.E. Kimball, S.M. Shaler, B. Abdel-Magid // National conference on wood transportation structures. - October 1996. - P. 207-213.

4. Shchuko V.Yu., Roshchina S.I. Glued reinforced wooden structures: textbook // SPb .: GIORD, 2009. - P. 128.

5. Petryaev N.E, Levinsky Yu.B. Experimental and theoretical substantiation of efficiency of glued wooden beams dispersion reinforcement // Systems. Methods. Technology. - 2012. - №. 2 (14). - P.102-106.

6. Timber structures SP 64.13330.2017 Updated version of SNiP II-25-80 (with Amendments N 1, 2). - M., Standartinform, 2018; M., Standartinform, 2019 .- P. 90.

7. Eurocode 5: Design of timber structures: EN 1995-1-1:2004. - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. European committee for standardization, 2008.

8. Stukov V.P. Comprehensive study of bridges with beams made of glued wood // Forest Journal - 2006. - №. 5. - P. 40-46.

9. Meshcheryakova A.A., Belokonev V.V. Glued wooden structures and prospects for their use // Generation of the future: a view of young scientists, 2016. P. 45-48.

10. Yang H., Ju D., Liu W., Lu W. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 109. Pp. 73-83.

11. Soriano J., Pellis B.P,. Mascia N.T. Mechanical performance of glued-laminated timber beams symmetrically reinforced with steel bars // Composite Structures, 2016. Vol. 150. Pp. 200-207.

12. Glinka N.N., Pospelov N.D. Glued span structures of bridges // -M .: Transport, 1964. P.88.

13. Pospelov N.D. Glued structures in bridge building // Izvestiya VUZov. Construction and architecture. 1972.-№.11.-P.130-133.

14. Mikhailov V.G. Chipping in glue board joints // Problems of strength and manufacturing of wooden structures. M .: Gosstroyizdat, 1952 -P. 142-176.

15. Belyankin F.P. The strength of wood when chipping along the fibers // Kiev: Publishing house of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1955. - P. 140.

16. Turkovsky S.B., Kovalchuk L.M., Baranov G.R., Pogoreltsev A.A. Increasing the reliability of glued timber structures with transverse and inclined reinforcement. Izv. universities. Construction and architecture. -1988. №. 7. P. 17-20.

17. Gibas D. The timber bridge: an old and new concept// Forest Prod. 1983. - 33, 1. № 11- 12.-P.6-7.

18. Kalugin A.V. Wooden structures. // Tutorial. manual (lecture notes). - M .: Publishing house ASV, 2003.- P. 224.

19. Filatov V.V. Calculation of open-frame through beams according to the a.r. Rzhanitsyn's theoryof compound rods // Vestnik MGSU 2013. №. 9. P. 23-31.

20. Repin V.A. Wooden beams with rational reinforcement // Dissertation, 2000. P. 158.

21. Roshchina S.I. Reinforcement - a way to improve the reliability and durability of wooden structures // Forest Journal 2008. №. 2. P. 71-75.

22. Roshchina S.I. Strength and deformability of glued reinforced wooden structures under long-term loading // Dissertation, 2009, p. 200.

23. Shchuko V.Yu. Glued wooden beams reinforced with steel reinforcement // Tr. Irkutsk Polytechnic Institute. Issue 37. Irkutsk, 1967.S. 51-59.

24. Manual for the design of wooden structures (to SNiP II-25-80) // TsNIISK im. Kucherenko. M .: Stroyizdat, 1986 .- P. 216.

25. Pavlenko A., Mishakova A., Pertseva O., Olekhnovich Y., Averchenko G., Ivanova V. Feasibility of using of accelerated test methods for determination of frost-resistance for concrete. In the collection: E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019. 2020. C. 06035.

26. Averchenko G.A., Mukharryamov I.R. Experience in road construction in Sweden. // Actual problems of military scientific research. 2020. №. S10 (11). S. 6-16.

27. Averchenko G.A., Kiryan I.V. Route selection and skipping excess loads on road bridges // StudNet. 2020.Vol. 3.№. 2.P. 392-401.

28. Averchenko G.A., Kvitko A.V. A way to fill the gap in the destruction of spans of large and out-of-class bridges. // In the collection: Scientific developments: the Eurasian region. The third international scientific conference of theoretical and applied research. Monograph. Executive editor D.R. Khismatullin. 2017.P. 150-156.