

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА / TECHNICAL ASPECTS OF THE CONSTRUCTIONDOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2018.11.2>Устарханов О.М.¹, Ирзаев Г.Г.²¹ORCID: 0000-0001-5591-3569, доктор технических наук, ²ORCID: 0000-0002-1825-0097, аспирант, Дагестанский государственный технический университет**СХЕМА АРМИРОВАНИЯ ДОЩАТОКЛЕЕНОЙ БАЛКИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМ ПРУТКОМ****Аннотация**

В статье рассматривается возможность применения стеклопластика как альтернативного стали армирующего материала для повышения прочности деревянных клееных балок. Рассмотрены напряженно-деформированные состояния дощатоклееных балок с несимметричным и симметричным расположением арматуры и возникающие максимальные напряжения растяжения в нижней части балки. Выявлен нелинейный характер распределения величин касательных напряжений по длине симметрично армированной балки. Предложена эффективная схема армирования пролета балки прямолинейно, а в опорных зонах отгибать композитную арматуру под углом к волокнам древесины.

Ключевые слова: дощатоклееная балка, стеклопластиковая арматура, приопорная зона, касательные напряжения.

Ustarkhanov O.M.¹, Irzaev G.G.²¹ORCID: 0000-0002-1825-0097, PhD in Engineering, ²ORCID: 0000-0002-7865-8908, Postgraduate student, Dagestan State Technical University**SCHEME OF LAMINATED BEAM REINFORCEMENT WITH A FIBERGLASS BAR****Abstract**

The article considers the possibility of applying fiberglass, capable of increasing the strength of wooden glued beams, as an alternative reinforcing material to steel. Stressed-deformed states of laminated beams with asymmetrical and symmetrical arrangement of the reinforcement and the resulting maximum extension stresses in the lower part of the beam are examined. The nonlinear character of the distribution of tangential stresses over the length of a symmetrically reinforced beam is revealed. An effective scheme for reinforcing rectilinear span of the beam is proposed, while the composite reinforcement in support zones should be bent at an angle to wood fibers.

Keywords: laminated beam, fiberglass reinforcement, bearing beam, tangential stress.

Email авторов / Author email: irzajev@mail.ru

Работа несущих деревянных конструкций под воздействием постоянных и рассредоточенных во времени нагрузок возможна более длительное время с сохранением прочности и надежности конструкций, если применено армирование. Опасность разрушения армированных конструкций в условиях длительной эксплуатации заметно снижается.

Армирование деревянных клееных конструкций (КДК) стальными прутками – технология, применяемая давно и позволяющая достичь прочности и жесткости конструкции, особенно, в растянутой зоне балки [1], [2]. Однако этот способ характеризуется низкой технологичностью из-за необходимости операций механического крепления. Кроме того конструкция балки утяжеляется, надежность сопряжения в системе «дерево – клей – металл» за счет внутренних напряжений снижается при длительной эксплуатации.

Эффективность деревянных конструкций, как с технической, так и с экономической точек зрения, можно увеличить, армируя их композитными стержнями. В последнее время все чаще на замену стальным стержням в дощатоклеенных балках приходят композитные материалы [3] – [6] и, в частности, арматура из стеклопластикового композиционного материала. Материал нового поколения – стеклопластик, свойства которого можно программировать за счет выбора вида стеклянного наполнителя, использования различных синтетических связующих, изменения расположения волокон в пространстве. Стеклопластик среди других видов пластмасс имеет лучшие свойства по прочности, истираемости, линейному расширению, ударным и вибрационным нагрузкам [7]. Стеклопластиковую арматуру можно рассматривать в качестве альтернативы стальной при армировании деревянных конструкций, так как он имеет низкий коэффициент линейного расширения, не увеличивает веса конструкции, не подвержен окислению (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики арматурной стали класса АIII и стеклопластика

№ п/п	Характеристики	Сталь 35ГС	Стеклопластик АСК
1	Плотность, кг/м ³	7800	1900
2	Модуль упругости, ГПа	210	55
3	Предел кратковременной прочности (предел текучести), МПа	590	800
4	Твердость по Бринелю, НВ10 ⁻¹ , МПа	202	21
5	Коэффициент теплопроводности при 200°С, Вт/(м·°С)	65	0,75
6	Температурный коэффициент линейного расширения, 0 ⁻⁶ ·°С ⁻¹	12	8,3

Согласно эпюрам изгибающих напряжений элементы КДК работают на растяжение и изгиб. В волокнах нижней части балки возникают максимальные напряжения растяжения. Использование композитной стеклопластиковой арматуры в растянутой зоне балки позволяет, во-первых, значительно уменьшить поперечное сечение и монтажную массу (на 15-20%), во-вторых, снизить расход древесины, в-третьих, в какой-то мере избавиться от влияния анизотропии материала, пороков древесины и использовать пиломатериалы низкой сортности без ухудшения эксплуатационных свойств КДК.

Соединение композита с древесиной осуществляется с помощью клеев на эпоксидной основе, что позволяет достичь высокой механической прочности, достаточной жесткости, стойкости к циклическим температурно-влажностным воздействиям [8]. Кроме того, увеличивается долговечность соединения, обеспечивается малая ползучесть при длительном воздействии нагрузок и высокая технологичность. Гнутые элементы из стеклопластиковой арматуры изготавливаются в производственных условиях во избежание разрушения материала с потерей свойств в местах сгиба [9].

Основной вопрос, решаемый в ходе проектирования армированной балки, как разместить арматуру в теле конструкции. При этом надо стремиться укладывать ее по линии главных напряжений, чтобы композитный стержень воспринимал не только нормальные, но и сдвигающие припорные усилия. Это исключает необходимость поперечного армирования конструкции в опорных сечениях.

При несимметричном армировании деревянной балки по всей длине растянутой зоны древесина вначале работает упруго, деформации практически незаметны, эпюры деформаций и напряжений имеют линейный характер (рис. 1). На следующем этапе с увеличением нагрузки эпюра напряжения приобретает криволинейный характер, нейтральная ось балки смещается в сторону растянутой кромки. При этом арматура начинает принимать на себя растягивающие усилия, а напряжения в растянутой зоне еще не достигли предельного значения. Крайние волокна сжатой зоны начинают сминаться, образуются складки. Наконец, с увеличением нагрузки наступает этап разрушения. Зона пластичности развивается вглубь сечения, нейтральная линия еще больше смещается к растянутой кромке. Припорные деформации достигают своих предельных значений, а напряжения в древесине растянутой зоны доходят до критического значения. Разрыв крайних растянутых волокон влечет за собой разрушение конструкции, хотя прочность растянутой арматуры осталась неиспользованной до конца.

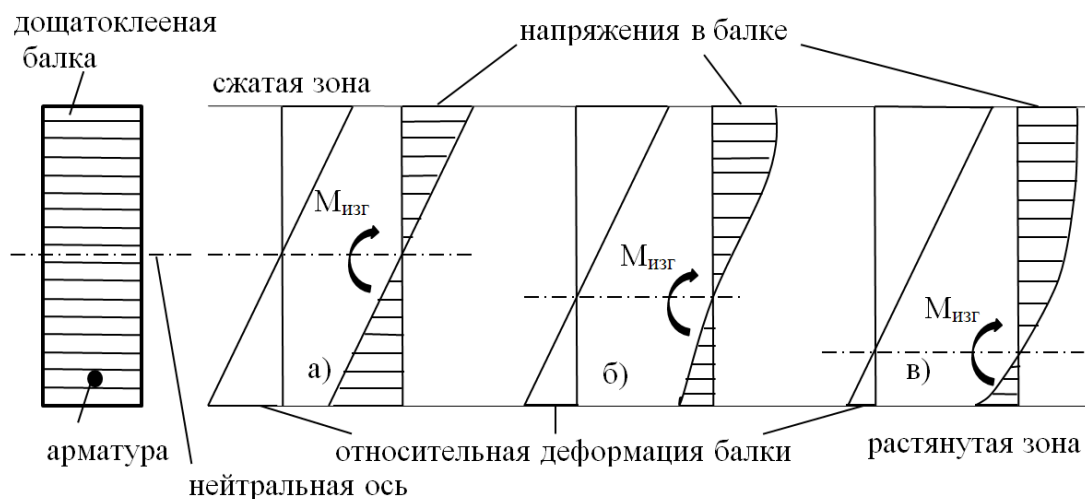


Рис. 1 – Динамика напряженно-деформированного состояния дощатоклееной балки с несимметричным армированием:

а – начальная условно-упругая стадия; б – вторая упруго-пластическая стадия; в – стадия разрушения

Результаты исследований показывают, что высокой прочности по нормальным и наклонным сечениям и достаточной жесткости можно достичь при симметричном армировании, величине отношения высоты балки к пролету от 1/17 до 1/25, а величины коэффициента армирования – от 0,015 до 0,025 [10]. Иначе при превышении этих показателей наступают разрушения в припорной зоне на расстоянии $(0,6 - 0,8)h$ от опоры под влиянием главных растягивающих напряжений, которые являются результатом совместного действия нормальных и касательных напряжений. Из эпюра, представленного на рис. 2, видно, что распределение величин касательных напряжений по длине армированной балки имеет нелинейный характер. В припорных зонах балки максимальные касательные напряжения τ_{max} смещены от нейтральной оси к растянутой кромке и по величине превышают значение касательных напряжений, определенное по формуле Журавского. В то же время прочность древесины по нормальным напряжениям в середине балки сохраняется с запасом.

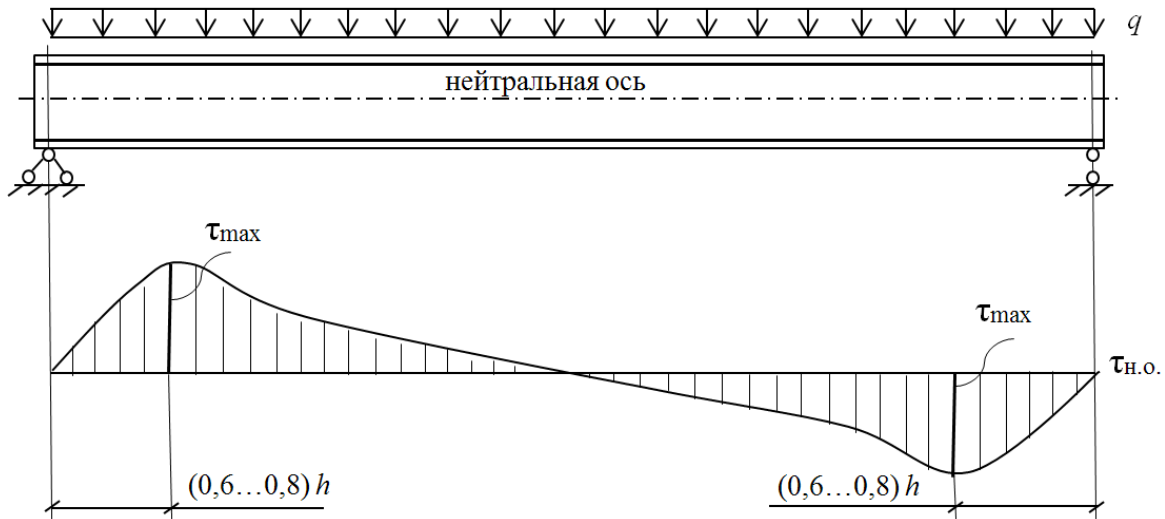


Рис. 2 – Распределение величин касательных напряжений по нейтральной оси дощатоклееной балки с симметричным армированием

Предлагается следующая схема симметричного армирования. В растянутой зоне с учетом приведенных выше соображений армирование целесообразно осуществлять не прямолинейно по всей длине балки, а только по пролету, а в опорных зонах отгибать композитную арматуру под углом к волокнам древесины (продольной оси конструкции). В приопорных сечениях наибольшую опасность представляют растягивающие деформации, поэтому отгиб необходимо производить в растянутой зоне. В верхней сжатой зоне композитная арматура может укладываться в паз прямолинейно (рис. 3).

Предлагаемая схема нуждается в дальнейшем определении эффективности работы конструкции в зависимости от длины участков отгиба, углов их наклона, площади и сечения арматуры для одиночного и составного сечения и других факторов. Планируется провести экспериментальные исследования, которые позволят выбрать оптимальную величину коэффициента армирования, наиболее эффективную конфигурацию армирования, позволяющую повысить прочность конструкции дощатоклееной балки.

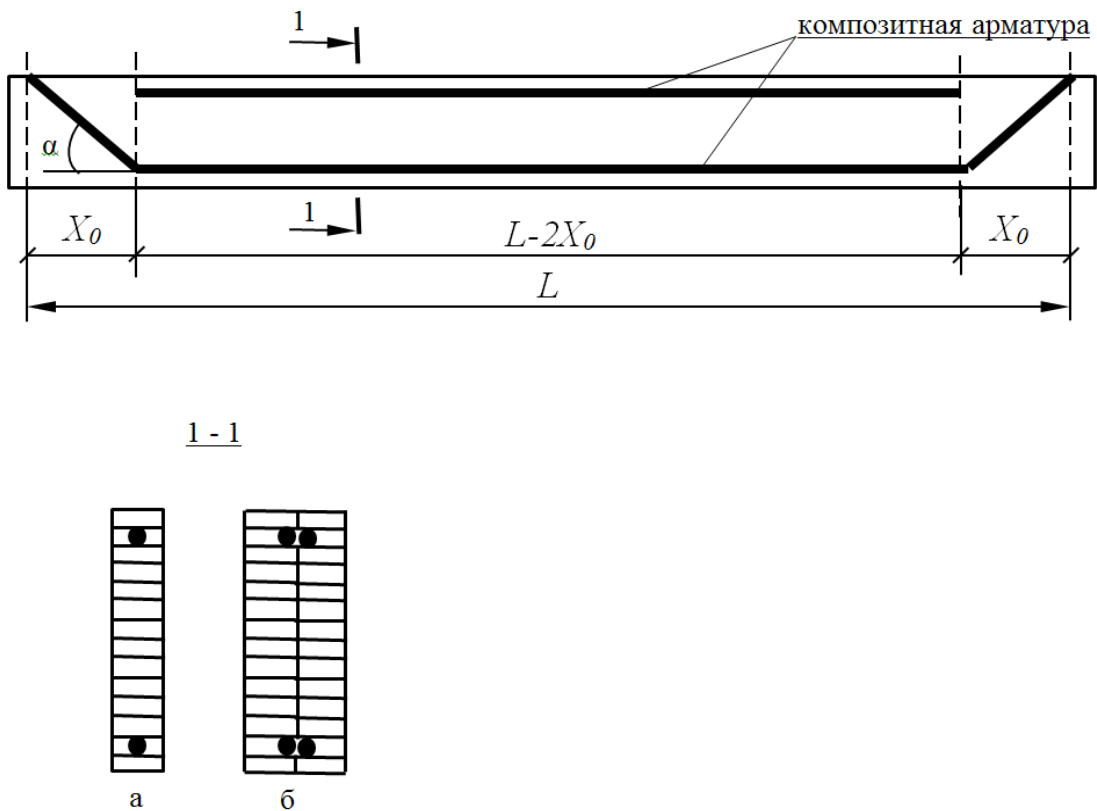


Рис. 3 – Конструктивная схема дощатоклееной балки одиночного (а) и составного (б) сечения с симметричным армированием композитными стержнями

Долговечность усиленной конструкции зависит не столько от работы композитного материала арматуры, сколько от клеящего состава. Подбор клея должен обеспечить прочную адгезию системы «дерево – клей – композит», гарантирующую совместную надежную работу на протяжении десятков лет.

Таким образом, проведен анализ напряженно-деформированного состояния дощатоклееных балок при несимметричном и симметричном способе установки стеклопластиковой арматуры. Предложена схема армирования, при которой отгибы в растянутой зоне позволяют уменьшить опасные растягивающие деформации в приопорных сечениях балки.

Список литературы / References

1. Щуко В.Ю. Клееные армированные деревянные конструкции / В.Ю. Щуко, С.И.Рощина. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 128 с.
2. Серов Е.Н. Проектирование деревянных конструкций / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 536 с.
3. Ирзаев Г.Г. Усиление деревянных клееных конструкций дисперсионным армированием полимерными материалами / Г.Г. Ирзаев // Актуальные проблемы механики в современном строительстве: сборник материалов межд. науч.-техн. конф. Пенза: ПГУАиС, 2014. – С. 99-102.
4. Водяников М.А. Анализ возможностей совместного применения углепластиков и клееной древесины, работающих в агрессивной среде / М.А. Водяников, Г.Г. Кашеварова // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – Т.1. – С. 62-70.
5. Петряев Н.Э. Экспериментально-теоретическое обоснование эффективности дисперсионного армирования клееных деревянных балок / Н.Э. Петряев, Ю.Б. Левинский // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 2 (14). – С. 102-106.
6. Yusof Ahmad, Ductility of Timber Beams Strengthened Using Fiber Reinforced Polymer: Journal of Civil Engineering and Architecture. – USA. – May 2013. – № 5 (Serial № 66). – V. 7. – Pp. 535–544.
7. Преображенский А.И. Стеклопластики – свойства, применение, технологии / А.И. Преображенский // Главный механик. – 2010. – № 5. – С. 27-36.
8. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. 2-е изд., перераб. и доп. / А.С. Фрейдин. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
9. Соколов И.И. Конструкционные стеклопластики на основе расплавных связующих и тканей PORCHER / И.И.Соколов, М.И. Вавилова // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2013. – № 5. – С. 1-7.
10. Устарханов О.М. Экспериментальные исследования несущей способности дощатоклееной балки, армированной специальным способом / О.М. Устарханов, Р.И. Вишталов, М.Х. Калиева, Т.О. Устарханов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2013. – № 29. – С. 81-86.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shhuko V.Yu. Kleenye armirovannye dereviannye konstruktсии [Glued Reinforced Wooden Structures] / V.Yu. Shhuko, S.I. Roshchina. - St. Petersburg: GIORД, 2009. - 128 p. [In Russian]
2. Serov E.N. Proektirovanie dereviannykh konstruktсии [Design of Wooden Structures] / E.N. Serov, Yu.D.Sannikov, A.E. Serov. - M.: Publishing House ACB, 2010. - 536 p. [In Russian]
3. Irzaev G.G. Usilenie dereviannykh kleenykh konstruktсии dispersionnym armirovaniem polimernymi materialami [Strengthening of Wooden Glued Structures by Means of Dispersion Reinforcement with Polymeric Materials] / Irzaev G.G. // Aktual'nyye problemy mekhaniki v sovremennom stroitel'stve: sbornik materialov mezhd. nauch.-tekhn. konf. Penza [Topical Problems of Mechanics in Modern Construction: Collection of Materials of Int. Scientific and Techn. Conf. Penza]: PSUAiS, 2014. - P. 99-102. [In Russian]
4. Vodiannikov M.A. Analiz vozmozhnostei sovmestnogo primeneniya ugleplastikov i kleenoi drevesiny, rabotaiushchikh v agressivnoi srede [Analysis of Opportunities for Joint Use of Carbon Plastics and Glued Wood Working in Aggressive Environment] / M.A. Vodiannikov, G.G. Kashevarova // Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika [Modern Technologies in Construction. Theory and Practice]. - 2016. - V.1. - P. 62-70. [In Russian]
5. Petriaev N.Ye. Eksperimentalno-teoreticheskoe obosnovanie effektivnosti dispersionnogo armirovaniya kleenykh dereviannykh balok [Experimental-theoretical Justification of Effectiveness of Dispersion Reinforcement of Glued Wooden Beams] / N.E. Petryaev, Yu.B. Levinsky // Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]. - 2012. - No. 2 (14). - P. 102-106. [In Russian]
6. Yusof Ahmad, Ductility of Timber Beams Strengthened Using Fiber Reinforced Polymer: Journal of Civil Engineering and Architecture. – USA. – May 2013. – № 5 (Serial № 66). – V. 7. – Pp. 535–544.
7. Preobrazhenskii A.I. Stekloplastiki – svoystva, primeneniye, tekhnologii [Fiberglass - Properties, Applications, Technologies] / A.I. Preobrazhensky // Glavnyy mekhanik [Chief Mechanic]. - 2010. – No. 5. - P. 27-36. [In Russian]
8. Freidin A.S. Prochnost i dolgovechnost kleevykh soedinenij. 2-e izd., pererab. i dop. [Strength and Durability of Glued Joints. 2nd ed., revised. and compl.] / A.S. Freidin. - M.: Khimiya, 1981. - 272 p. [In Russian]
9. Sokolov I.I. Konstruktсионnye stekloplastiki na osnove rasplavnykh svyazuiushchikh tkanei PORCHER [Structural Fiberglass Based on Melt Adhesive Fabrics PORCHER] / I.I. Sokolov, M.I. Vavilov // Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika [News of Material Engineering. Science and Technology]. - 2013. - No. 5.- P. 1-7. [In Russian]
10. Ustarkhanov O.M. Eksperimentalnye issledovaniya nesushchei sposobnosti doshatokleenoй balki, armirovannoi spetsialnym sposobom [Experimental Studies of the Load-bearing Capacity of Glued Beam Reinforced by a Special Method] /

O.M. Ustarkhanov, R.I. Vishtalov, M.H. Kaliyeva, T.O. Ustarkhanov // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical Science]. - 2013. - No. 29.- P. 81-86. [In Russian]
