

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.011.1:674.031

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОКРЫТИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ИСПОЛНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРОЛЕТАХ ОТ 7 ДО 12 М

Т.Р. Баркай, С.А. Соколов, А.С. Двужилов

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Баркай Т.Р., Соколов С.А., Двужилов А.С., 2025

Аннотация. В современных строительных конструкциях деревянные покрытия находят широкое применение благодаря своей экологичности и легкости в сочетании с достаточно высокой прочностью. В статье рассмотрены три типа деревянных балок: kleene, балки Деревягина и шпренгельные. Изучены их конструктивные особенности и прочностные характеристики в большепролетных зданиях. Проведен сравнительный анализ работы балок под нагрузкой, исследована их деформативность, а также экономическая эффективность.

Ключевые слова: деревянные конструкции, kleene балки, балки Деревягина, шпренгельные балки, экономическая эффективность, жесткость.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-5-11

ВВЕДЕНИЕ

Деревянные конструкции остаются востребованными в строительстве благодаря сочетанию прочности, легкости и эстетики. Однако применение обычных деревянных конструкций из стандартных пиломатериалов хвойных пород на пролетах более 6,5 м не представляется возможным. В этом случае необходимо использовать различные методы соединения слоев, выполненных из стандартных пиломатериалов, либо комбинации деревянных конструкций с элементами, выполненными из других материалов.

В настоящем времени в мировой практике решение данной проблемы сместились в область применения в подобных случаях kleeneых балок. Указанный тип конструкций является весьма дорогим в исполнении, поэтому очень важно, чтобы в строительной отрасли были и другие варианты конструктивных решений, которые могли бы на равных конкурировать с kleeneыми балками [5].

Цель исследования: сравнить экономическую эффективность применения различных вариантов конструкций в покрытиях зданий и сооружений на пролетах от 7 до 12 м.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках настоящей работы были исследованы три типа балок:

1. Kleene – балки, изготавливаемые из слоев древесины, склеенные между собой, что обеспечивает высокую прочность и устойчивость к деформациям.

2. Балки Деревягина – составные брускатые балки, сплачиваемые из двух или трех брусьев при помощи пластинчатых нагелей из твердых сортов древесины.

3. Шпренгельные – балки, усиленные дополнительными элементами (затяжками, подкосами), выполненными из стальных деталей.

Согласно нормативной документации [1], номинальные размеры длины пиломатериалов не превышают 6,5 м. Зачастую пролеты покрытий больше 6 м, поэтому необходима разработка нестандартных конструктивных решений по исполнению деревянных конструкций вышеперечисленных балок.

Исходные данные: место строительства – г. Одинцово, здание отапливаемое, пролет балки $l = 12$ м, шаг балок 2,0 м. На балку действуют постоянные и временные нагрузки. Постоянная нагрузка складывается из массы конструкций покрытия и собственной массы балки. За временную нагрузку принимаем нагрузку от снега для III снегоходного района.

Клееная балка. Расчет kleеных деревянных балок ведется по известным формулам для изгибающихся элементов согласно нормативной документации [2]. Вводится ряд поправочных коэффициентов k_w к моменту сопротивления сечения и расчетному сопротивлению древесины на изгиб, которые учитывают толщину слоев, высоту сечения, наличие ослаблений и другие факторы для kleеных элементов [3].

В результате расчета было получено сечение размерами 140×594 мм, а значения коэффициентов использования по первой и второй группам предельных состояний составили:

1. Прочность при действии изгибающего элемента – 0,91.
2. Прочность при действии поперечной силы – 0,38.
3. Жесткость – 0,56.

Как мы видим, при заданных исходных данных определяющей является прочность балки.

Балка Деревягина. Расчет балки заключается в определении размеров сечения, числа пластинок и величины строительного подъема согласно нормативной документации [2].

Рассчитывалась балка из трех слоев стандартной древесины длиной 6 м, которые объединялись нагельным соединением, выполненным из твердых слоев древесины [4, 6]. Рассмотрены шпонки 2 типов – из дуба и акации [7].

В результате расчета было получено сечение размерами 150×600 мм, количество шпонок из акации на 14,29 % меньше, чем из дуба.

Значения полученных коэффициентов использования по первой и второй группам предельных состояний составили:

1. Прочность при действии изгибающего элемента – 0,94.
2. Прочность при действии поперечной силы – 0,1.
3. Жесткость – 0,74.

Как и в предыдущем варианте исполнения балки, при заданных исходных данных определяющим показателем является прочность.

На рис. 1 приведены расчетные схемы и подобранные сечения для kleеной балки и балки Деревягина.

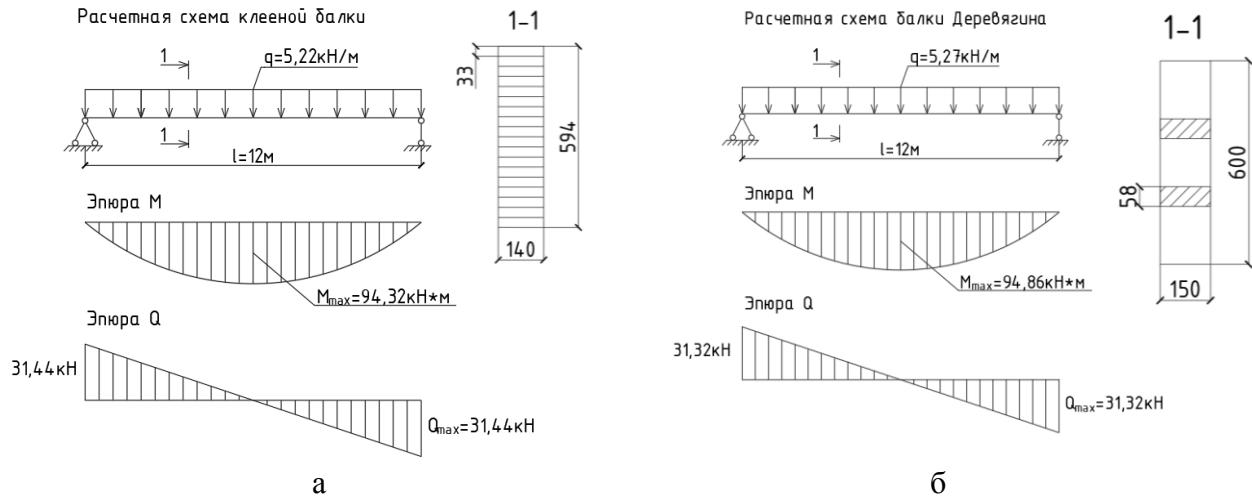


Рис. 1. Расчетные схемы балок: а – клееная балка; б – балка Деревягина

На рис. 2 показана расстановка пластинчатых нагелей из дуба и акации для балки Деревягина.

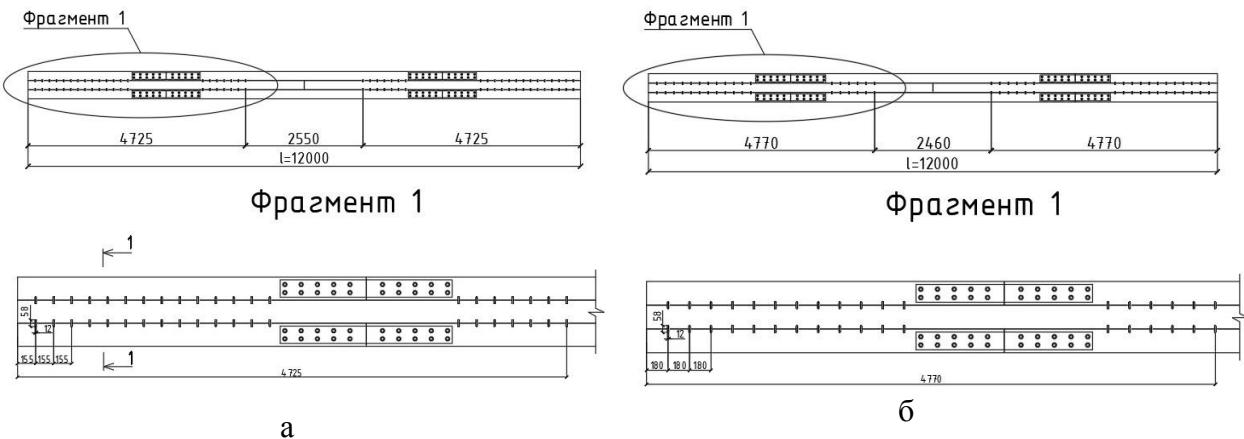


Рис. 2. Расстановка пластинчатых нагелей балки Деревягина:

а – из дуба; б – из акации

Ввиду более высокой прочности акации количество пластинчатых нагелей в конструкции сокращается, однако из-за ее более высокой стоимости уменьшение числа нагелей не приводит к удешевлению конструкции.

Шпренгельная балка. Шпренгель представляет собой ферму, где система раскосов и стоек позволяет фактически получить дополнительную опору в середине балки. Проверку сечения верхнего пояса проводят по формуле для сжато-изгибающихся стержней. Расчеты выполняются в соответствии с нормативной документацией [2, 8].

В результате расчета было получено сечение верхнего пояса размерами 140×363 мм. Сечение раскосов принимаем из круглой арматурной стали (сталь С355 по

ГОСТ 27772-2021, $R_y = 345 \text{ МПа} = 34,5 \text{ кН/см}^2$, сечение стойки – из круглой трубы $30 \times 2,5 \text{ мм}$ (сталь С245, $R_y = 240 \text{ МПа} = 24 \text{ кН/см}^2$).

Значения полученных коэффициентов использования по первой и второй группам предельных состояний составили:

1. Прочность верхнего пояса – 0,89.
2. Прочность раскосов – 0,8.
3. Прочность стойки – 0,78.
4. Жесткость – 0,5.

Как и в предыдущих вариантах, при заданных исходных данных определяющей является прочность балки.

На рис. 3 показана шпренгельная балка, а также эпюра нормальных сил.

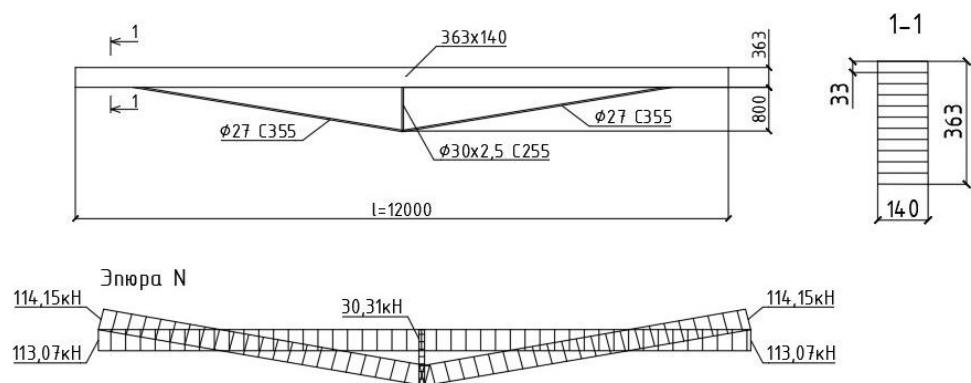


Рис. 3. Шпренгельная балка

Полученные значения жесткостей балок сведены и представлены на графике вертикальных перемещений (рис. 4).

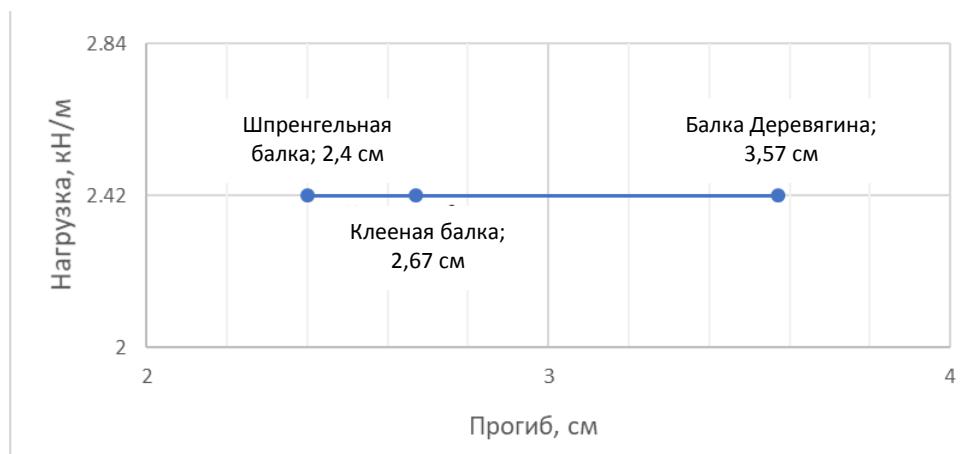


Рис. 4. График деформации балок

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам расчетов была определена стоимость различных вариантов исполнения конструкций покрытия на пролетах от 7 до 12 м. Учитывались все элементы конструкций, а монтажом можно пренебречь, поскольку он является примерно одинаковым для всех типов балок. Результаты показаны в таблице.

Результаты оценки стоимости рассмотренных типов конструкций

Тип конструкции	Стоимость, руб/шт.
Клееная балка	60 000
Балка Деревягина (дуб)	45 200
Балка Деревягина (акация)	45 500
Шпренгельная балка	38 700

Как видно, экономически целесообразно использовать на рассматриваемых пролетах шпренгельные балки, так как применение в них стальных поддерживающих элементов, обладающих значительно большей прочностью, существенно снижает стоимость конструкции и при этом практически не увеличивает ее вес. Использование балок Деревягина в данном случае тоже является экономически оправданным, если сравнивать с kleеными балками, в случае нежелания применения в конструкции стальных элементов. При этом видно, что использование kleеных балок – это самый дорогостоящий вариант из рассматриваемых, но с точки зрения эстетики они, разумеется, выигрывают в сравнении с остальными.

Здесь следует отметить, что наибольший прогиб имеет балка Деревягина. Это связано с податливостью шпоночных соединений, соединяющих между собой слои балки. Клееная балка имеет меньшую податливость и, как следствие, большую жесткость. У шпренгельной балки самые маленькие перемещения ввиду большей жесткости стальных раскосов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С точки зрения экономической эффективности лучше всего показала себя шпренгельная балка, однако с точки зрения архитектуры и композиционных решений наиболее предпочтительнее выглядит kleеная балка. При этом шпренгельная балка обладает большей жесткостью, чем другие типы конструкций.

Балка Деревягина имеет наибольший прогиб и среднюю стоимость. Применение шпонок из акации уменьшает их количество, но является нецелесообразным, поскольку ведет к удорожанию конструкции. Разница в стоимости балок с различными материалами шпонок не будет превышать 1 %.

Необходимо отметить, что применение балок Деревягина увеличивает, по сравнению со шпренгельными балками, стоимость одного конструктивного элемента в среднем на 20 %, а использование kleеных балок ведет к увеличению стоимости в 1,8 раза.

Подводя итог, можно сказать, что на сегодняшний день существует довольно неплохая альтернатива применению kleеных балок в покрытиях зданий на пролетах от 7 до 12 м. Наиболее экономически оправданной является шпренгельная балка, которую можно использовать при строительстве зданий, где нет особых требований к внешнему виду конструкций покрытия. Это позволит снизить стоимость конструкций практически в два раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24454-80. Пиломатериалы хвойных пород. Размеры. М.: Стандартинформ, 2007. 4 с.
2. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М.: Минстрой России, 2017. 105 с.
3. Иванов В.Ф. Деревянные конструкции: учебное пособие. М.: Госстройиздат, 1956. 320 с.
4. ГОСТ Р 56711-2015. Соединения нагельного типа для деревянных конструкций. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
5. Исследование работы металлических и деревянных конструкций и оценка срока их службы с учетом условий эксплуатации / А.Г. Черных [и др.]; СПб.: СПбГАСУ, 2022. 354 с.
6. Смирнов П.Н., Погорельцев А.А. Определение несущей способности нагельных соединений на основании стандартных характеристик материалов. *Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сборник научных трудов / под ред. В.В. Стоянова [и др.]*. Одесса: Одесская государственная академия строительства и архитектуры, 2013. С. 247–253.
7. ГОСТ 33082-2014. Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений. М.: Стандартинформ, 2015. 14 с.
8. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М.: Минстрой России, 2017. 286 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БАРКАЯ Темур Рауфович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: btrs@list.ru

СОКОЛОВ Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: sokolov_project@mail.ru

ДВУЖИЛОВ Антон Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов, теории упругости и пластичности, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: sokolov_project@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Барская Т.Р., Соколов С.А., Двужилов А.С. Оценка экономической эффективности покрытий, выполненных в различных вариантах исполнения деревянных конструкций на пролетах от 7 до 12 м // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 3 (27). С. 5–11.

**ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF COATINGS
MADE FROM VARIOUS VERSIONS OF WOODEN STRUCTURES
ON SPANS FROM 7 TO 12 M**

T.R. Barkaya, S.A. Sokolov, A.S. Dvuzhilov

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. In modern building structures, wooden coverings are widely used due to their environmental friendliness and lightness combined with sufficiently high strength. This article discusses three types of wooden beams: glued, wooden and spar beams. Their design features and strength characteristics in large-span buildings are studied. A comparative analysis of their work under load, deformability and economic efficiency is carried out.

Keywords: wooden structures, glued beams, Derevyagin beams, sprengel beams, economic efficiency, rigidity.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: btrs@list.ru

SOKOLOV Sergey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sokolov_project@mail.ru

DVUZHILOV Anton Sergeyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Resistance of Materials, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Barkaya T.R., Sokolov S.A., Dvuzhilov A.S. Assessment of the economic efficiency of coatings made from various versions of wooden structures on spans from 7 to 12 m // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 5–11.

УДК 691.328

**ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ
ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ**

Ю.Ю. Курятников

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Курятников Ю.Ю., 2025

Аннотация. Рассмотрена возможность применения стеклокомпозитной арматуры в конструкции забивных свай квадратного сечения. Представлены результаты опытной забивки свай, армированных композитной арматурой. Установлено, что сваи,