

Научная статья  
УДК 624.011.14:624.072.2  
DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.2.45>  
EDN: TUBJUX

## Алгоритмы расчёта балок из фанерных листов без применения клеевых соединений. Часть 1

**В. И. Жаданов<sup>1✉</sup>, С. В. Лисов<sup>1</sup>, А. А. Гаврилов<sup>1</sup>, И. П. Пинайкин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск)  
organ-2003@bk.ru✉

**Аннотация.** *Введение.* Балочные конструкции, выполненные на основе фанерных листов без применения клеевых соединений, могут быть широко использованы в малоэтажном быстровозводимом строительстве, обеспечивая при необходимости сборно-разборность возводимых зданий и сооружений. Наиболее актуально применение таких конструкций для ускоренного типового строительства в труднодоступных и малоосвоенных районах, оперативного обустройства строителей, геологов и пограничников, спасательных служб МЧС, спецподразделений МВД, ФПС и ФСБ, а также для обеспечения жильём населения в чрезвычайных ситуациях и быстрого возведения защитных военных сооружений оборонительного назначения. Обоснована актуальность исследований рассматриваемого класса конструкций, направленных на разработку инженерной методики их расчёта, которая в настоящее время отсутствует в действующих нормативных документах.

*Цель работы* – разработка алгоритмов расчёта балок, выполненных из фанерных листов без применения клеевых соединений.

*Методика исследования.* Методика выполнения работы построена на этапном проведении исследований, включающих опытно-конструкторские разработки несущих строительных элементов на основе фанеры, экспериментальные исследования опытной конструкции, обработку результатов эксперимента для получения параметров, необходимых для инженерного расчёта фанерных балок, формулировку алгоритмов расчёта разработанных конструкций.

*Результаты.* Для реализации поставленной цели рассмотрены особенности напряжённо-деформированного состояния балок, у которых сопряжения фанерных стенок и поясов выполнены при помощи шиповых соединений, обладающих определенной степенью податливости. Для обеспечения плотности соединений типа «шип-паз» предложено и практически апробировано изготовление опытных конструкций на станках с числовым программным управлением. Предложено учитывать влияние податливости соединений на величину крайних нормальных напряжений и прогибов балок при помощи снижающих коэффициентов  $k_w$  и  $k_{ж}$ , на которые необходимо умножать геометрические характеристики расчётных поперечных сечений, при расчёте на прочность и деформативность соответственно. Исходные геометрические характеристики поперечных сечений рекомендовано определять как для балок с жёсткими соединениями стенок и поясов. Отмечено, что предложенный способ учёта податливости соединений в целом соответствует нормативной методике расчёта балок составного сечения, изложенной в СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции».

*Выводы.* Приведены результаты экспериментальных исследований опытных конструкций разработанных балок. Испытания проведены при кратковременном ступенчатом нагружении на силовом стенде с приложением нагрузок в третях расчётного пролёта. Доказано, что за счёт обеспечения плотности шиповых соединений стенок с поясами последние включаются в общую работу балок, увеличивая тем самым расчётные геометрические характеристики на 50-60 %. Выполнено сравнение экспериментальных результатов с теоретическими данными, полученными при расчёте опытных балок по предложенному алгоритму.

**Ключевые слова:** балка; фанерный лист; стенка; пояс; сборно-разборная конструкция; малоэтажное строительство; алгоритмы расчёта; инженерная методика; поперечный изгиб; прочность; деформативность; напряжения.

**Финансирование:** авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

---

**Для цитирования:** Алгоритмы расчёта балок из фанерных листов без применения клеевых соединений. Часть 1 / В. И. Жаданов, С. В. Лисов, А. А. Гаврилов, И. П. Пинайкин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2024. № 2 (30). С. 45–57. DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.2.45>; EDN: TUBJUX

---

## Введение

В последние десятилетия в Российской Федерации наблюдается заметное увеличение объёмов малоэтажного строительства на основе деревянных конструкций. Это объясняется преимуществами дерева перед другими конструкционными материалами, такими как лёгкость, простота обработки, хорошие физико-механические характеристики, экологическая чистота и т.п. [1–3]. При этом, несмотря на огромные запасы леса в России, достаточно широкую номенклатуру несущих и ограждающих элементов, выполненных из древесины и древесных материалов, вопросы снижения материалоемкости деревянных конструкций и стоимости каждого квадратного метра возводимых объектов являются актуальными и в настоящее время. Достичь такого снижения можно, в частности, путём разработки и внедрения в строительную практику новых типов конструкций с высокими технико-экономическими характеристиками, достигаемыми за счёт эффективного использования свойств применяемых материалов.

Проведённый анализ известных конструктивных решений несущих деревянных элементов показал, что наименьшей материалоемкостью обладают конструкции, сочетающие в себе древесину и листовые древесные материалы, например фанеру. К таким конструкциям относятся различного рода клефанерные балки, плиты покрытия и панели стен, состоящие из деревянного каркаса и соединённых с ним фанерных обшивок [4–6]. Кроме рационального распределения материала по

высоте поперечного сечения к преимуществам перечисленных конструкций относится и то, что за счёт применения клеевых соединений фанера вовлекается в общую работу несущей системы, увеличивая тем самым её расчётные геометрические характеристики [7–10]. Отметим, что, по данным СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции», расчётные сопротивления фанеры, как правило, выше соответствующих расчётных сопротивлений древесины. Однако в известных типах клефанерных конструкций эксплуатационные нагрузки в основном воспринимает древесина (70–80 %), а фанера выполняет второстепенную функцию, обеспечивая, например, концентрацию древесины в поясах двутавровых балок или балок коробчатого поперечного сечения. Кроме того, к недостаткам известных типов клефанерных балок относятся наличие клеевого соединения между материалами с разными величинами температурно-влажностных деформаций, крупные габариты конструкций, доставляемых с завода-изготовителя к месту строительства, а также потребность в специализированном технологическом оборудовании для выполнения клеевого соединения и высокая трудоёмкость изготовления.

Для устранения вышеперечисленных недостатков, по мнению авторов, представляется целесообразной разработка сборно-разборных балок, выполненных полностью из фанерных листов без применения клеевых соединений. Несомненно, что такая разработка должна сопровождаться и экспериментально-теоретическим исследованием предло-

женных типов конструкций с последующим обоснованием методики их расчёта.

**Объект исследования** – сборно-разборные балки, выполненные из фанерных листов без применения клеевых соединений.

**Цель исследования** – разработать обоснованные алгоритмы расчёта балок из фанерных листов с узловыми сопряжениями на механических связях, учитывающие фактическое напряжённо-деформированное состояние предложенного типа конструкций.

#### Методика исследования

Методика выполнения работы, направленная на достижение сформулированной цели, построена на этапном проведении исследований, включающем в себя реализацию следующих задач:

- опытно-конструкторские разработки несущих строительных элементов на основе фанеры для применения в сборно-разборном малоэтажном строительстве с пилотным производством опытного образца;
- проведение экспериментальных исследований опытной конструкции по

разработанной методике, позволяющей оценить особенности напряжённо-деформированного состояния предложенного типа конструкции;

– обработка экспериментальных результатов для получения параметров, необходимых для инженерного расчёта фанерных балок;

– формулировка алгоритмов расчёта разработанных конструкций, обеспечивающих адекватный учёт их фактического напряжённо-деформированного состояния и, соответственно, эксплуатационную надёжность, в том числе при длительном действии нагрузок.

#### Результаты исследований

На первом этапе работы авторами совместно с производственной фирмой ООО «ПКФ «Оптима-Эксперт» (Республика Башкортостан, г. Салават) в соответствии с вышеприведённой методикой исследований были разработаны варианты балок из фанерных листов без применения клеевых соединений. Пример конструктивного решения предложенного типа балки пролётом 6,0 м приведён на рисунке 1.

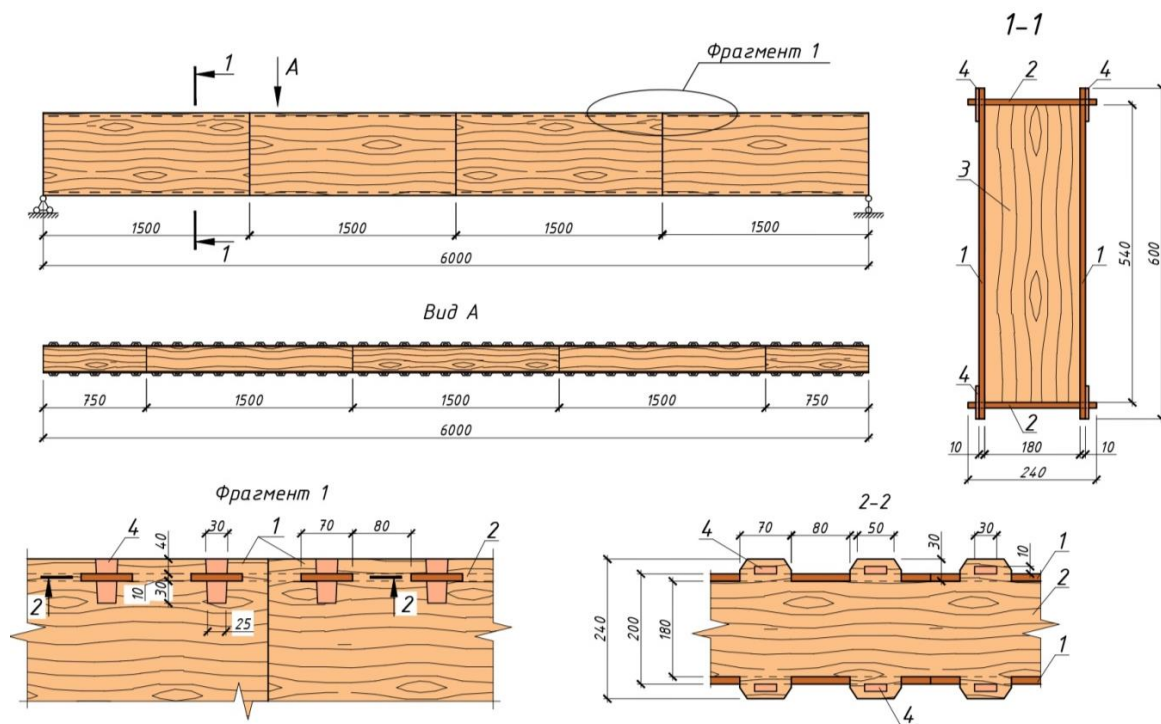


Рис. 1. Конструктивная схема балок на основе фанерных листов:  
1 – стенка; 2 – полка; 3 – диафрагма жёсткости; 4 – фанерные клинья

Fig. 1. Structural scheme of plywood panel beams:  
1 – wall; 2 – shelf; 3 – stiffening diaphragm; 4 – plywood wedges

Все составные элементы балки (стенки, пояса) выполнены на основе фанеры марки ФСФ с размером стандартного листа  $1,5 \times 1,5$  м. Узловые сопряжения выполнены при помощи устройства пазов в стенках и шипов в поясах и диафрагмах жёсткости. Составные части балки изготавливаются на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) с соответствующим раскроем фанерного листа по стандартной компьютерной программе. За счёт этого обеспечиваются как плотность всех сопряжений типа «шип–паз», так и рациональный расход фанеры с точки зрения минимизации отходов производства. Фиксация элементов балки в проект-

ном положении обеспечивается фанерными клиньями, которые устанавливают в пазы, выбранные в шипах с последующим закреплением этих клиньев к стенке при помощи строительного степлера. Особенности разработанных конструкций также отражены в статьях [11–13].

Необходимо отметить, что на основе предложенного типа балки возможен полный монтаж малоэтажного дома, в котором балки из фанерных листов выполняют роль несущих элементов пола, наружных и внутренних стен, междуэтажного и чердачного перекрытий, стропильных конструкций кровли или мансардного этажа (рисунок 2).



**Рис. 2. Малоэтажное здание с мансардным этажом, запроектированное полностью из фанерных несущих и ограждающих элементов без применения клеевых соединений**

**Fig. 2. Low-rise building with an attic floor, designed entirely from plywood load-bearing and enclosing elements without the use of adhesive joints**

Немаловажным преимуществом разработанных конструкций является их сборно-разборность, возможность поставки к месту строительства в удобных транспортных малогабаритных пакетах размерами не более  $1,5 \times 1,5 \times 1,5$  м. Эти преимущества имеют первостепенное

значение при строительстве в труднодоступных и малоосвоенных районах, оперативном размещении строителей, геологов и пограничников, в случаях необходимости ускоренного обустройства спасательных служб МЧС, спецподразделений МВД, ФПС и ФСБ, а также для

обеспечения жильём населения в чрезвычайных ситуациях и быстрого возведения защитных военных сооружений оборонительного назначения.

Несмотря на высокую точность изготовления составных элементов балок на станках с ЧПУ, по гипотезе авторов, все узловые соединения стенок и поясов будут обладать определённой податливостью, которую необходимо учитывать в расчётах как на прочность, так и на жёсткость. В нормативных документах, в частности в СП 64.13330.2017, конкретные указания по расчёту фанерных балок без клеевых соединений с учётом податливости соединений отсутствуют. Для решения этого вопроса был применён наиболее оптимальный способ исследования в виде экспериментально-теоретического метода. Для обеспечения эксплуатационной надёжности предложенных балок необходима разработка ме-

роприятий по обеспечению устойчивости стенок и сжатого фанерного пояса с соответствующим экспериментально-теоретическим обоснованием. Этот вопрос требует отдельного исследования, результаты которого будут опубликованы в следующей части статьи. В материалах настоящей статьи авторы сделали акцент на особенностях расчёта фанерных балок на прочность и деформативность.

Для определения степени влияния податливости соединений типа «шип-паз» на напряжённо-деформированное состояние балки проведены экспериментальные исследования на крупноразмерной модели длиной 3,0 м. Общий вид экспериментальной конструкции, подготовленной к испытаниям, показан на рисунке 3, а расчётная схема, основные параметры опытного образца и схема расстановки измерительных приборов представлены на рисунке 4.



Рис. 3. Общий вид экспериментальной фанерной балки, подготовленной к испытаниям  
Fig. 3. General view of the experimental plywood beam prepared for testing

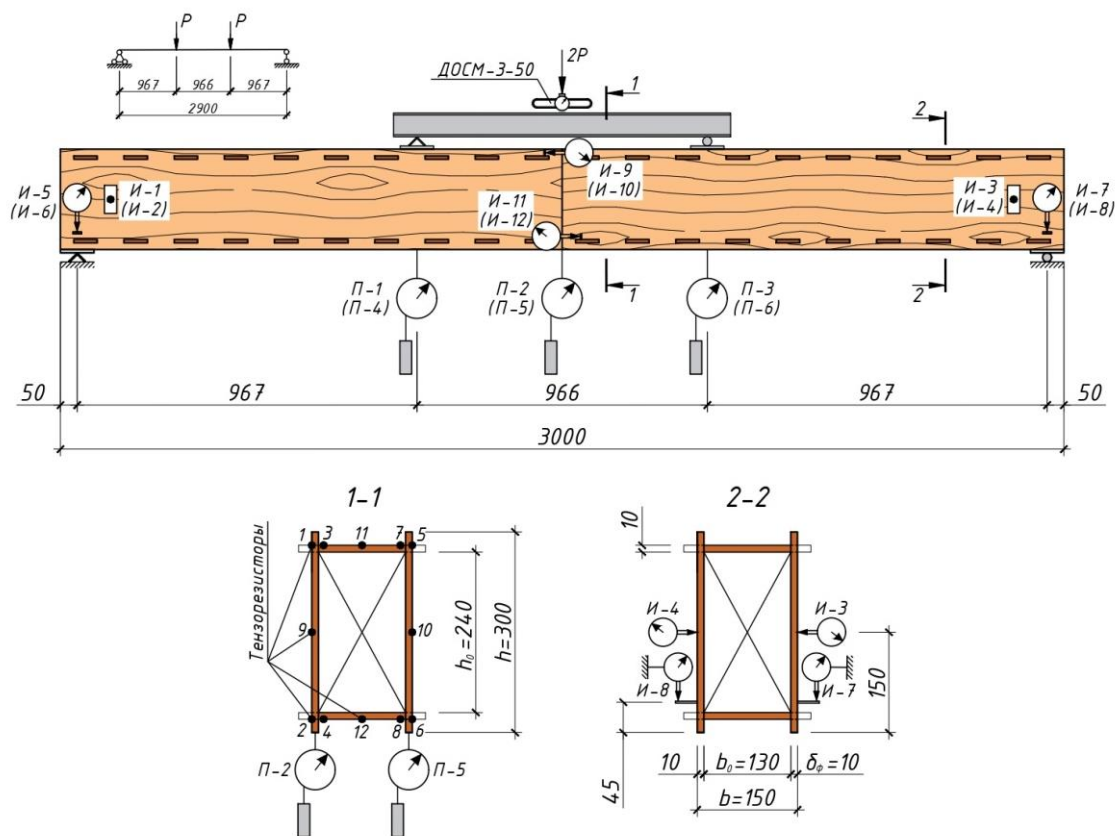


Рис. 4. Расчётная схема, основные размеры опытного образца и схема расстановки измерительных приборов

Fig. 4. Design scheme, main dimensions of the prototype and layout of measuring instruments

В результате проведённого эксперимента, выполненного с соблюдением рекомендаций [14], а также требований ГОСТ 57790-2017 «Конструкции деревянные несущие. Методы испытаний на прочность и деформативность» до расчётной нагрузки, установлено следующее.

1. При нормативной нагрузке 7,0 кН, принятой как 0,7 от значения расчётной нагрузки 10,0 кН, прогиб балки в середине пролёта составил 10,68 мм, или 1/272 от расчётного пролёта при предельно допустимом прогибе в 1/150L. При расчётной величине нагрузки значение этого прогиба составило 15,26 мм, или 1/190L. При этом по всем ступеням загрузки увеличение прогибов происходило пропорционально росту нагрузки, что свидетельствует об упругом характере деформирования балки в пределах расчётных величин прикладываемых усилий.

Отметим, что теоретическое значение прогиба экспериментальной балки коробчатого поперечного сечения, определённое для случая жёсткого соединения стенок с поясами (например, при помощи клея) при фактической схеме загрузки и нормативной нагрузке (рис. 4), составило 8,12 мм, что на 24 % меньше экспериментальной величины. Этот факт позволяет констатировать, что, несмотря на достаточно высокую плотность соединений типа «шип–паз», выполненных на станках с ЧПУ, на деформативность балки повлияла податливость названных соединений, которую необходимо учитывать в практических алгоритмах расчёта.

2. В результате выполненного тензометрирования также выявлено влияние податливости соединений стенок с поясами на напряжённое состояние балки в целом. На основе анализа полученных экс-

периментальных величин напряжений установлены следующие факты:

– фанерные стенки полностью участвуют в общей работе балки на восприятие внешних нагрузок по всей длине балки, за исключением сечений, в которых расположены стыки стенки;

– в местах расположения стыков стенок, выполненных без каких-либо накладок лобовым упором торец в торец, нормальные напряжения воспринимаются поясами, стык которых, в свою очередь, смещен относительно стыков стенки на половину длины её отдельных листов;

– величина максимальных нормальных напряжений при расчётной нагрузке в сжатой и растянутой зонах в стенках в середине пролёта балки (по линии установки тензорезисторов) составила 16,17 МПа и 15,46 МПа соответственно; в этих же сечениях, в которых отсутствуют как стыки стенок, так и стыки поясов, максимальные нормальные напряжения в полках составляли при сжатии 11,64 МПа, растяжении – 11,15 МПа;

– фактическая эпюра распределения нормальных напряжений в стенках имеет прямолинейное треугольное очертание, что соответствует элементарной теории изгиба.

Отметим, что в поясах балки напряжения в среднем на 28 % меньше в сравнении с напряжениями в стенках, причём выявленная величина уменьшения сохраняется по всем ступеням загрузки как в растянутой, так и в сжатой зонах. Снижение эффективности участия поясов в общей работе балки можно объяснить наличием частичной податливости шиповых соединений стенки с поясами. В этом случае представляется логичным при определении геометрических характеристик расчётных поперечных сечений балки долю участия поясов учитывать с введением в расчёт снижающих коэффициентов, учитывающих эту податливость.

3. В ходе проведения испытаний до расчётных нагрузок потери устойчивости

фанерных стенок и сжатого верхнего пояса не выявлено. Максимальная величина горизонтальной деформации стенки в контролируемых точках составила 0,08 мм, или 1/125 от толщины стенки, при пропорциональном нарастании этих деформаций величине увеличения нагрузки. При этом необходимо отметить, что вопросы обеспечения устойчивости относительно тонких изгибаемых стенок и сжатых поясов являются темой отдельного дополнительного исследования и полученный результат нельзя применять к аналогичным балкам с другими отношениями их высоты к пролёту, с различными соотношениями толщины применённой фанеры к расчётным длинам рассчитываемых элементов, с фактическими расстояниями между рёбрами жёсткости и т.п. Как отмечалось выше, результаты таких исследований будут опубликованы в следующей части статьи.

4. Нарастание деформаций сдвига в соединениях стенок с шипами поясов происходило прямо пропорционально росту нагрузки в растянутой и сжатой зонах. Максимальный сдвиг шипов поясов относительно пазов в стенках при расчётной нагрузке составил 0,118 мм в растянутой зоне и 0,142 мм в сжатой зоне. Несомненно, полученные значения сдвиговых деформаций необходимо учитывать при формулировке алгоритмов практического расчёта предложенного типа конструкций. О необходимости такого учёта свидетельствуют и эксперименты других авторов, занимающихся исследованием балок с податливыми типами связей [15–18].

Вышеизложенные результаты экспериментальных исследований позволили авторам констатировать, что предложенный тип конструкций следует в целом рассчитывать как изгибаемый элемент составного сечения по методике, приведённой в СП 64.13330.2017, но с учётом фактического напряжённо-деформированного состояния балки. Особенности алгоритма расчёта предложенного типа балок из фа-

нерных листов без применения клеевых соединений заключаются в следующем.

1. При сборе нагрузок собственный вес предложенного типа балок допускается определять по формуле

$$q_{с.в}^H = \frac{q_{H+P_H}}{\frac{1000}{k_{с.в} \cdot l} - 1} \quad (1)$$

с учётом коэффициента собственного веса  $k_{с.в} = 4...5$ .

2. В качестве геометрических характеристик поперечного сечения необходимо определить три величины: момент инерции стенок  $J_{ст}$ , момент инерции поясов  $J_{п}$ , момент инерции балки в целом  $J_{б}$ :

$$J_{ст} = 2 \cdot \frac{\delta_{\phi} \cdot h^3}{12}, \quad (2)$$

$$J_{п} = \left[ 2 \cdot \frac{b_0 \cdot \delta_{\phi}^3}{12} + 2 \cdot b_0 \cdot \delta_{\phi} \left( \frac{h_0 + \delta_{\phi}}{2} \right)^2 \right], \quad (3)$$

$$J_{б} = J_{ст} + J_{п} \cdot k_w. \quad (4)$$

Обозначения членов вышеприведённых формул (1)–(3) приняты по рисунку 4. В формуле (4)  $k_w$  – снижающий коэффициент, учитывающий влияние податливости соединений на величину краевых нормальных напряжений. С учётом фактических значений напряжений в поясах и стенках, полученных при проведении эксперимента, для опытной балки значение этого коэффициента будет равно 0,72. Отметим, что значение коэффициента податливости  $k_w$ , несомненно, зависит от пролёта балки по аналогии с расчётом деревянных балок составного сечения. Для его определения потребуются дополнительные экспериментальные работы, что входит в план дальнейших исследований авторов.

3. Прочность наиболее напряжённых поперечных сечений балки по нормальным напряжениям проверяем:

– в местах расположения стыка стенки (нормальные напряжения воспринимаются только поясами):

$$\sigma_p = \frac{M}{J_{п}} \cdot \left( h_0 + \frac{\delta_{\phi}}{2} \right) \leq R_{\phi.p}, \quad (5)$$

где  $M$  – изгибающий момент в расчётном сечении;

$R_{\phi.p}$  – расчётное сопротивление фанеры растяжению вдоль волокон;

– в местах расположения стыка поясов (нормальные напряжения воспринимаются только стенками):

$$\sigma_{и} = \frac{M}{J_{ст}} \cdot 0,5 \cdot h \leq R_{\phi.и}, \quad (6)$$

где  $R_{\phi.и}$  – расчётное сопротивление фанеры изгибу в плоскости листа;

– в местах отсутствия стыков стенок и поясов:

$$\sigma_{и} = \frac{M}{J_{б}} \cdot 0,5 \cdot h \leq R_{\phi.и}. \quad (7)$$

4. Проверка по прогибам выполняется с учётом влияния деформаций сдвига от поперечной силы как для балок с постоянной высотой поперечного сечения в соответствии с формулой (61) СП 64.133330.2017, при этом при определении  $f_0$  в расчёт необходимо вводить момент инерции балки  $J_{б}$ , определенный по формуле (4), но с заменой коэффициента  $k_w$  на коэффициент  $k_{ж}$ , который учитывает влияние податливости связей на величину прогибов балки. При условии равенства теоретического и фактического прогибов значение коэффициента  $k_{ж}$  для экспериментальной балки будет равно 0,76. Авторы отмечают, что и выполнение инженерных расчётов предложенного типа балок по деформативности, как и по прочности, требует также проведения серии испытаний балок различных пролётов, в том числе при длительном действии нормативных нагрузок.

5. Проверка прочности фанеры в соединении «шип–паз» на смятие фанеры в пазе и её скалывание в шипе должна выполняться в соответствии с рекомендациями СП 64.133330.2017 на усилие  $N$ , которое можно определить по формуле

$$N = \frac{M_{\max}}{h_0 + \delta_{\phi}}. \quad (8)$$

В случае невыполнения проверок рекомендуется увеличить высоту балок или толщину применяемых фанерных листов.

6. Прочность фанерной стенки на срез необходимо проверить в опорном сечении по формуле (53) СП 64.13330.2017, вводя в расчёт  $J_6$ , суммарную толщину фанерных стенок и расчётное сопротивление фанеры срезу  $R_{\phi, \text{ср}}$ .

7. В рассматриваемом классе конструкций необходимо выполнить проверку верхнего сжатого пояса в середине пролёта и стенок в опорной зоне на устойчивость. Результаты исследований авторов и рекомендации по этим расчётам будут приведены в части 2.

#### Выводы

1. Предложенный тип фанерных балок без применения клеевых соединений возможно рассчитывать как составную конструкцию на податливых связях на основе методики, приведенной в СП 64.13330.2017 с учётом вышеприведенных особенностей.

2. Для разработки обоснованной практической методики расчёта рассматриваемого класса несущих конструкций требуется проведение комплекса экспериментальных исследований балок различных пролётов, в том числе при действии длительных нагрузок.

3. С учётом полученных экспериментально-теоретических результатов целесообразно рекомендовать разработанные

конструкции балок для массового быстро-возводимого малоэтажного строительства, в том числе в малоосвоенных районах, в случаях необходимости ускоренного обустройства спасательных служб, а также для обеспечения жильём населения в чрезвычайных ситуациях и быстрого возведения защитных военных сооружений оборонительного назначения.

4. Материал статьи следует рассматривать как первый этап исследования нового типа конструкций из древесины и древесных материалов для малоэтажных зданий. Авторы надеются, что для читателей изложенные результаты послужат толчком к дальнейшим конструкторским разработкам деревянных конструкций, к их экспериментально-теоретическим исследованиям, благодаря которым будет расширена номенклатура малоэтажных зданий и сооружений и повышена конкурентоспособность таких объектов, выполненных на основе древесины и древесных материалов. Приведённые в статье результаты подтверждают работоспособность и возможность широкого применения в строительной практике рассматриваемых несущих элементов. Несомненно, предложенные балки из фанерных листов без применения клеевых соединений не исчерпывают все возможности их совершенствования. В этом отношении открыто широкое поле деятельности для молодых учёных, которые могут использовать приведённые выше данные как исходный материал для своей творческой работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костоев Б. М., Ульбиева И. С. Преимущества и недостатки использования деревянных конструкций в строительстве // Научный лидер. 2024. № 4(154). URL: <https://scilead.ru/article/5879-preimushchestva-i-nedostatki-ispolzovaniya-de>

2. Атлас деревянных конструкций: пер. с нем. / К.-Г. Гётц, Д. Хоор, К. Мёлер, Ю. Наттерер. Москва: Стройиздат, 1985. 272 с.

3. Штевко Й., Райнпрехт Л. Современное деревянное строительство: пер. со словац. Москва: Ниола-Пресс, 2006. 184 с.

4. Шмидт А. Б., Дмитриев П. А. Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры. Москва: Ассоциация строительных вузов, 2001. 292 с.

5. Дмитриев П. А. Деревянные балки и балочные клетки. Новосибирск: Изд-во ППО «Печать», 1989. 160 с.

6. Лисов С. В. Применение фанеры в несущих конструкциях для малоэтажного строительства // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы

Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2024. С. 3148-3152.

7. Житушкин В. Г. Клефанерные конструкции. Москва: Ассоциация строительных вузов, 2011. 200 с.

8. Вдовин В. М. Конструкции из дерева и пластмасс. Проектирование клеодошчатых и клефанерных конструкций, балок и рам. Пенза: ПГУАС, 2016. 208 с.

9. Кузнецов И. Л., Гимранов Л. Р., Крайнов И. В. Разработка и исследование клефанерной двутавровой балки // Известия КГАСУ. 2013. № 2. С. 108-112.

10. Клефанерные панели на деревянном каркасе / В. И. Жаданов, Д. А. Украинченко, М. А. Аркаев, И. В. Руднев. Оренбург: Университет, 2021. 142 с.

11. Лисов С. В., Жаданов В. И., Новиньков А. Ю. Опыт-но-конструкторские разработки балок на основе фанерных листов // Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территорий и повышения качества жизни населения: материалы XIV Международной научно-практической конференции. Томск: ТГАСУ, 2024. Ч. 2. С. 406-411.

12. Жаданов В. И., Лисов С. В., Пинайкин И. П. Экспериментальные исследования балок на основе фанерных листов при поперечном изгибе // Известия высших учебных заведений. Строительство.

2024. № 4. С. 56-67.

13. Жаданов В. И., Лисов С. В., Новиньков А. Ю. Сборно-разборные фанерные несущие элементы для быстровозводимых зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 5. С. 19-26.

14. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Москва: Стройиздат, 1976. 28 с.

15. Клеван В. И. Расчёт составных деревянных элементов с учётом нелинейной работы // Инженерный вестник Дона. 2023. № 9. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8695>

16. Турков А. В., Гвоздов П. А. Анализ работы составной балки при усилении строительных конструкций // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство. Транспорт. 2007. № 1. С. 26-28.

17. О работе составных двутавровых балок со стенкой из профилированного стального листа и поясами из однонаправленного клееного шпона / П. С. Коваль, А. Г. Черных, Е. В. Данилов, В. И. Клёван, В. В. Белов // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 6(95). С. 5-9.

18. Особенности напряжённо-деформированного состояния деревометаллических балок со стенкой из стальных профилированных листов / С. В. Калинин, В. И. Жаданов, Д. А. Украинченко, С. В. Лисов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 9. С. 184-190.

Статья поступила в редакцию 24.08.2024; одобрена после рецензирования 27.08.2024; принята к публикации 28.08.2024

### Информация об авторах

*ЖАДАНОВ Виктор Иванович* – советник РААСН, заслуженный строитель России, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург. Область научных интересов – совершенствование строительных конструкций зданий и сооружений. E-mail: organ-2003@bk.ru

*ЛИСОВ Сергей Вячеславович* – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург. Область научных интересов – совершенствование быстровозводимых сборно-разборных строительных конструкций зданий и сооружений на основе древесины. E-mail: lisovsv@mail.ru

*ГАВРИЛОВ Александр Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург. Область научных интересов – теоретические расчёты строительных конструкций на основе древесины с учётом их пространственной работы и фактических физико-механических характеристик. E-mail: pialex@bk.ru

*ПИНАЙКИН Игорь Петрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства, Иркутский национальный исследовательский технический универ-

ситет, г. Иркутск. Область научных интересов – разработка новых типов объёмно-планировочных и конструктивных решений малоэтажных зданий и сооружений, выполняемых на основе древесины и древесных материалов. E-mail: pinaykin@bk.ru.

**Вклад авторов:** авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

---

Scientific article

UDC 624.011.14:624.072.2

DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.2.45>

EDN: TUBJUX

## Algorithms for calculating plywood beam load without using adhesive joints Part 1

V. I. Zhadanov<sup>1✉</sup>, S. V. Lisov<sup>1</sup>, A. A. Gavrilov<sup>1</sup>, I. P. Pinaikin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Orenburg State University (Orenburg)

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk)  
organ-2003@bk.ru✉

**Abstract.** *Introduction.* Beam constructions produced from plywood panels without adhesive joints can be extensively used in low-rise prefabricated buildings. They enable disassembling the constructed components. In addition to providing housing for the populace in emergency situations, these structures are most useful for accelerated standard construction in hard-to-reach and underdeveloped areas, prompt accommodation of builders, geologists, and border guards, and accelerated accommodation of rescue teams of the Ministry of Emergency Situations, special units of the Ministry of Internal Affairs, the Federal Fire Service, and the Federal Security Service. Research on the class of structures under consideration is relevant as it allows developing an engineering approach to calculation, which is currently lacking in the regulatory guidelines.

*The aim of research* is to develop algorithms for calculating plywood beam load without using adhesive joints.

*Materials and methods.* The research was conducted in stages, with experimental design developments of plywood-based load-bearing building elements, experimental studies of the pilot structure, processing of the experimental data to derive the parameters required for plywood beam engineering calculations, and development of calculation algorithms for the developed structures as the foundation for the work methodology.

*Research outcomes.* Achieving the set goal requires taking into account the characteristics of the stress-strain condition of beams where the connectors between plywood walls and chords are constructed with rather flexible tenon joints. It is suggested and empirically tested to construct pilot structures using numerically controlled machinery in order to guarantee the tongue-and-groove joints' density. It is advised to use the reduction factors " $k_w$ " and " $k_{ж}$ " to account for the impact of joint flexibility on the values of boundary normal stresses and beam deflections. These factors require that the geometric properties of the calculated cross-sections be multiplied in order to determine the strength and deformability, respectively. It is also recommended to determine the initial geometric characteristics of the cross-sections as for beams with rigid connections of the walls and chords. The standard methodology for calculating composite section beams given in SP 64.13330.2017 "Wooden structures" is generally in line with the suggested method for accounting for the flexibility of the connections.

*Conclusions.* The report presents the findings from experimental analyses of the developed beams' experimental designs. The tests were carried out on a power stand using short-term step loading and weights applied in thirds of the calculated span. It has been demonstrated that chords are incorporated into the overall work of the beams because of the density of their tenon connections with the walls, which increases the computed geometric characteristics by 50–60 %. The experimental outcomes are compared to the theoretical data obtained when determining the experimental beams using the suggested algorithm.

**Keywords:** beam; plywood sheet; wall; belt; collapsible structure; low-rise construction; calculation algorithms; engineering methodology; transverse bending; strength; deformability; stresses.

**Funding:** this research received no external funding.

---

**For citation:** Zhadanov V. I., Lisov S. V., Gavrilov A. A., Pinaikin I. P. Algorithms for calculating plywood beam load without using adhesive joints. Part 1. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2024;(2):45–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.2.45>; EDN: TUBJUX

---

## REFERENCES

1. Kostoev B. M., Ulbieva I. S. Advantages and disadvantages of using wooden structures in construction. *Scientific leader.* 2024;(4). Available from: <https://scilead.ru/article/5879-preimushchestva-i-nedostatki-ispolzovaniya-de> (In Russ.).
2. Götz K.-H., Hoor D., Möhler K., Natterer J. Atlas of wooden structures: trans. from German. Moscow: Stroyizdat; 1985. 272 p. (In Russ.).
3. Števkó J., Reinprecht L. Modern wooden construction: trans. from Slovak. Moscow: Niola-Press; 2006. 184 p. (In Russ.).
4. Schmidt A. B., Dmitriev P. A. Atlas of building structures made of glued timber and waterproof plywood. Moscow: Association of construction universities; 2001. 292 p. (In Russ.).
5. Dmitriev P. A. Wooden beams and beam cages. Novosibirsk: PPO "Pechat"; 1989. 160 p. (In Russ.).
6. Lisov S. V. Application of plywood in load-bearing structures for low-rise construction. *University complex as a regional center of education, science and culture: materials of the All-Russian scientific and methodological conference.* Orenburg: Orenburg State University; 2024. P. 3148-3152. (In Russ.).
7. Zhitushkin V. G. Glued plywood structures. Moscow: Association of construction universities; 2011. 200 p. (In Russ.).
8. Vdovin V. M. Wood and plastic structures. Design of glued board and glued plywood structures, beams and frames. Penza: PSUAS; 2016. 208 p. (In Russ.).
9. Kuznetsov I. L., Gimranov L. R., Kraynov I. V. Development and research of glue-laminated plywood I-beam. *News KSUAE.* 2013;(2):108-112. (In Russ.).
10. Zhadanov V. I., Ukrainchenko D. A., Arkayev M. A., Rudnev I. V. Glued plywood panels on a wooden frame. Orenburg: University; 2021. 142 p. (In Russ.).
11. Lisov S. V., Zhadanov V. I., Novinkov A. Yu. Experimental design development of beams based on plywood sheets. *Investments, urban planning, technologies as drivers of socio-economic development of territories and improving the quality of life of the population: materials of the XIV International scientific and practical conference.* Tomsk: TGASU; 2024. Part 2. P. 406-411. (In Russ.).
12. Zhadanov V. I., Lisov S. V., Pinaykin I. P. Experimental studies of beams based on plywood sheets with transverse bending. *News of higher educational institutions. Construction.* 2024;(4):56-67. (In Russ.).
13. Zhadanov V. I., Lisov S. V., Novinkov A. Yu. Collapsible plywood bearing elements for prefabricated buildings and structures. *Industrial and civil engineering.* 2024;(5):19-26. (In Russ.).
14. Recommendations for testing wooden structures. TsNIISK named after V.A. Kucherenko. Moscow: Stroyizdat, 1976. 28 p. (In Russ.).
15. Klevan V. I. Calculation of composite bending wooden elements taking into account non-linear work. *Engineering journal of Don.* 2023;(9). Available from: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8695> (In Russ.).
16. Turkov A. V., Gvozkov P. A. Analysis of the work of a composite beam in strengthening building structures. *Bulletin of the Oryol State Technical University. Series: Construction. Transport.* 2007;(1):26-28. (In Russ.).
17. Koval P. S., Chernykh A. G., Danilov E. V., Klevan V. I., Belov V. V. Regarding the performance of composite metal and timber I-beams with a wall of corrugated steel sheet and belts of laminated veneer lumber. *Bulletin of civil engineers.* 2022;(6):5-9. (In Russ.).
18. Kalinin S. V., Zhadanov V. I., Ukrainchenko D. A., Lisov S. V. Features intense the deformed conditions woodmetall of beams with the wall from steel profilid of sheets. *Vestnik of the Orenburg State University.* 2012;(9):184-190.

The manuscript was submitted on 24.08.2024; reviewed on 27.08.2024; adopted for publication on 28.08.2024

### Information about the authors

*ZHADANOV Viktor Ivanovich* – Advisor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Honored Builder of Russia, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Building Structures, Orenburg State University, Orenburg. Research interests – improvement of building constructions. E-mail: organ-2003@bk.ru.

*LISOV Sergei Viacheslavovich* – senior lecturer of the Department of Building Structures, Orenburg State University, Orenburg. Research interests – improvement of quickly erected prefabricated wood-based buildings. E-mail: lisovsv@mail.ru.

*GAVRILOV Aleksandr Aleksandrovich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production Technology, Orenburg State University, Orenburg. Research interests – theoretical calculations of wood-based buildings, taking into account their spatial operation and actual physical and mechanical characteristics. E-mail: pialex@bk.ru.

*PINAIKIN Igor Petrovich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk. Research interests – development of new types of space-planning and design solutions for low-rise wood-based buildings and structures. E-mail: pinaykin@bk.ru.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this paper.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.