

УСИЛЕННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ ДВУТАВРЫ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Гилодо А.Ю., к.т.н., доцент,
gil@soborka.net ORCID 0000-0001-5387-5538

Арсирый А.Н., к.т.н., доцент,
ORCID 0000-0003-3262-1488

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Китаев А.А., директор
Гуренко В.И., гл. инженер
ООО «ЭКОДВУТАВР»

Аннотация. Каркасное деревянное домостроение с использованием деревянных двутавровых балок из деревянного клееного бруса и плиты OSB (oriental strand board) – новая технология, которая сегодня очень быстро развивается. Высокая механическая прочность и устойчивость к внешним воздействиям (в том числе влаги) позволяет использовать OSB в любой сфере хозяйственной деятельности. Традиционно при использовании подобных балок в перекрытиях используют упрощённую балочную клетку, что связано с ограниченной несущей способностью и шагом балок в пределах 400-500 мм. Для возможности использования балок в составе нормальной балочной клетки с повышенной несущей способностью исследовано напряженно – деформированное состояние металлодеревянных балок с клеевым соединением поясов и стенки и усиленных двухсторонними стальными листовыми накладками на саморезах в местах максимальных усилий и примыкания к другим балкам. Представлено конструктивное решение составной балки и результаты численных исследований ее работы под нагрузкой.

Ключевые слова: составная деревянная балка, пояса из древесины, плита OSB, метод конечных элементов, расчетная модель.

Введение. Клееные деревянные строительные конструкции (КДК) – это комплекс деревянных элементов, соединённых клеевым составом. Они совмещают несущие и теплозащитные функции, что особенно важно при их использовании в конструкциях стен и перекрытий. Проблема огнестойкости на самом деле для таких конструкций не более значительна, чем для стальных или железобетонных, а угроза гниения ликвидируется правильно подобранной химической пропиткой.

Каркасное строительство домов и коттеджей из клееной древесины – новая технология, которая сегодня очень быстро развивается. Широкое распространение она получила в Скандинавских странах, Канаде, Германии. Популярность каркасных домов растет благодаря многим положительным аспектам:

- высокая скорость возведения зданий;
- возможность строительства в любое время года;
- высокие эксплуатационные качества домов;
- возможность осуществления различных архитектурных идей;
- меньшая стоимость, примерно на 30 %, по сравнению с кирпичными домами.

Применяемые в инновационных технологиях строительства материалы экологически безопасны, не деформируются, не изменяют своих свойств, имеют очень долгий срок эксплуатации.

Основа каркаса – деревянная двутавровая балка. Формула «цельный брус + OSB + цельный брус» позволяет избежать недостатков, присущих древесине, а благодаря двутавровому сечению достигаются высокие прочностные характеристики. Конечно, система двутавровых деревянных балок не может в полном объеме заменить бетон и сталь. Тем не

менее, ряд конструктивных характеристик позволяет отнести деревянные двутавровые балки к эффективным и современным строительным конструкциям.

Достоинствами деревянной двутавровой балки являются:

- универсальность применения – каркасное строительство, мансарды, перекрытия, стропильные системы;
- небольшая масса балок позволяет вести работу без привлечения подъемной техники, балка перекрытия длиной 6,5 метра весит не более 40 кг;
- высокая скорость и простота монтажа балок при помощи обычного плотницкого инструмента;
- широкий сортамент конструкций;
- низкая теплопроводность;
- небольшой вес конструкций.

Наиболее наглядно преимущества деревянной балки выглядят в составе комплексной конструкции, например стены. Термическое сопротивление стены по деревянным стойкам из двутавров с утеплителем из минваты толщиной 150 мм и ограждающими панелями из листов OSB составляет $4,83 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, при весе $1 \text{ м}^2 - 29 \text{ кг}$, а оштукатуренной стены из пустотного керамического кирпича толщиной 510 мм – $0,78 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, при весе $1 \text{ м}^2 - 891 \text{ кг}$. Аналогичные результаты даёт сравнительный анализ перекрытия. По деревянным балкам с подшивкой и настилом из OSB и утеплителем толщиной 100 мм термическое сопротивление составляет $6,9 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, при весе $1 \text{ м}^2 - 60 \text{ кг}$, а перекрытие по железобетонным многопустотным панелям пролётом 6 м – $0,39 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ при весе $1 \text{ м}^2 - 440 \text{ кг}$.

Одной из первых деревянная двутавровая балка в Украине была выпущена компанией «ЭКО ДВУТАВР» ещё в 2001 г. Её качество соответствует всем международным и украинским стандартам. Продукция производится согласно [1] из высококачественного столярного леса (сосны, влажностью 8%, с применением технологии сращивания древесины), плиты OSB-3, толщиной 10 мм KRONOPOL, клея D3, метизов, антисептиков и антипиренов. Расчетная эксплуатационная равномерно распределенная нагрузка на перекрытие не превышает 3 кН/м^2 . Технологический процесс изготовления балок состоит из следующих этапов:

- переработка древесины сосны (обрезка коры, нарезка на бруски, шипование, склейка бруса, сушка бруса);
- порезка OSB плит на станке;
- обработка антисептиком и антипиреном;
- склеивание в прессе брусков с OSB полосами;
- сушка готовых двутавров в сушильной камере.

Цель и задания. Одним из путей снижения трудовых и материальных затрат является широкое применение в малоэтажном строительстве составных деревянных промышленных конструкций - двутавровых балок. Соединение деревянных поясов со стенкой из OSB выполняется в двух вариантах: на клею и металлическими нагелями – анодированными саморезами. Традиционно при использовании подобных балок в перекрытиях используют упрощённую балочную клетку, что связано с ограниченной несущей способностью и шагом балок в пределах 400-500 мм. Для возможности использования балок в составе нормальной балочной клетки с повышенной несущей способностью, предлагается исследовать напряженно-деформированное состояние металлодеревянных балок с клеевым соединением поясов и стенки и усиленных двухсторонними стальными листовыми пластинами на саморезах, образующих коробчатое сечение в местах максимальных усилий и примыкания к другим балкам. Такие балки, как конструкционный элемент, применяемый для строительства домов по каркасной технологии, могут найти применение при устройстве перекрытий, стропильных систем крыш и мансард.

Анализ существующих публикаций и исследований. Исследованием проблем оптимального проектирования деревянных двутавров занимались: Турков А.В., Коробко В.И., Стоянов В.В., Синцов В.П., Серов Е.Н., Лабудин В.П., Фурсов В.В., Горынин Г.Л.,

Вдовин В.М. та др. В роботі [2] досліджено напружено-деформоване стану трьохшарових двутавров, виконані розрахунки прогинів балки при допомозі різних теорій. В [3] розглянуті питання оптимізації посилення дерев'яних конструкцій послойним армуванням стеклотканою, викладені рекомендації по товщині та жорсткості шарів. В [4] розглянуті питання сучасного стану балочних конструкцій з клеєних дерев'яних елементів, методи їх розрахунку, приведені рішення по виконанню жорстких вузлів балочних елементів.

Описание расчетной модели. Для анализа напружено-деформованого стану двутаврової балки в програмному комплексі «ЛИРА-САПР» була розроблена просторовна комп'ютерна модель балки з дерев'яних брусів – поясів і стінки з полоси OSB, з'єднаних на клею. В середині балки і опорних зонах – місцях максимальних згинаючих моментів і поперечних сил, а також на участках стыковки с балками настила передбачені листові двохсторонні сталеві накладкі, прикріплені к поясам саморезами. Жорсткісні характеристики об'ємним кінцевим елементам задавалися з урахуванням анізотропних властивостей дерева і OSB в відповідності с вимогам [5] і [6].

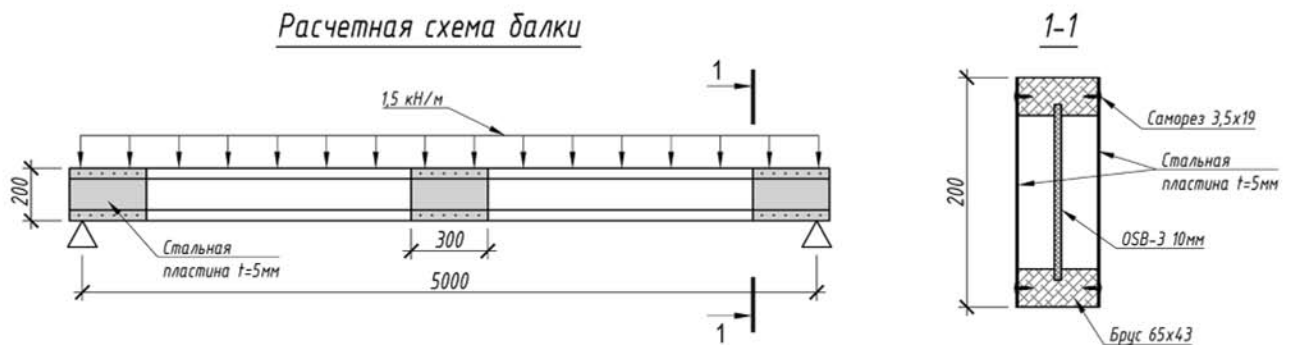


Рис. 1. Расчетная схема двутавровой балки

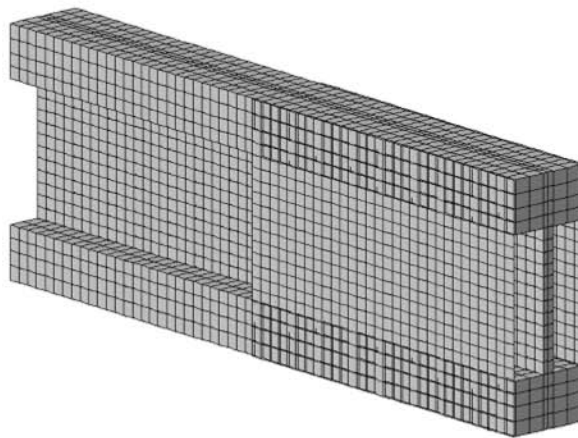


Рис. 2. Фрагмент расчетной модели (опорный участок балки)

Пояса и стінки балки смоделированы универсальными просторовними восьмиузловими изопараметрическими конечными элементами (КЭ №36), металевісні пластини – универсальными четырехугольными пластинчатыми конечными элементами оболочки (КЭ №44), саморезы – стержневыми элементами.

Геометрические характеристики балки: пояс сечением 65x43 мм выполнены из дерева 1 сорта, стінка выполнена из плиты OSB-3 толщиной 10 мм. Пролет балки 5 м, общая высота двутаврового сечения – 200 мм. Толщина стальных пластин – 2 мм, диаметр саморезов – 3,5 мм. Расчетная схема балки – балка на двух опорах, нагруженная равномерно-распределенной нагрузкой 1,5 кН/м.п.

Результаты исследований.

Напряженно – деформированное состояние балки анализировалось по полям перемещений и напряжений, а также по деформациям конструкции. На 1 этапе производился расчет двутавровой балки без усиления стальными пластинами. На 2 этапе с пластинами в опорной зоне, на 3 этапе – с пластинами в опорной зоне и посередине пролета. Результаты расчетов в виде мозаики напряжений представлены на рис. 3, 4.

При усилении двутавровой балки стальными пластинами снижается прогиб балки на 12%, при этом нормальные напряжения в поясах балки снижаются на 15%. Результаты расчетов сведены в таблицу №1.

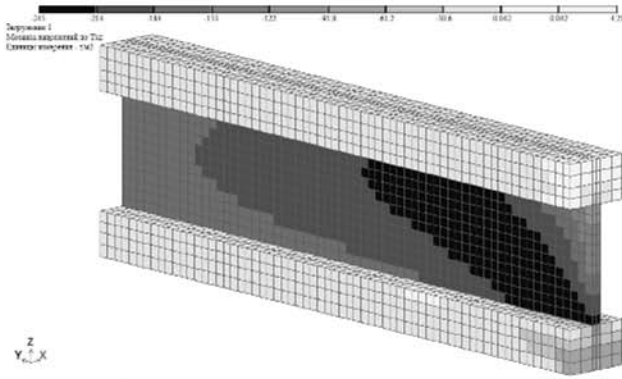


Рис. 3. Касательные напряжения в опорном участке балки без усиления

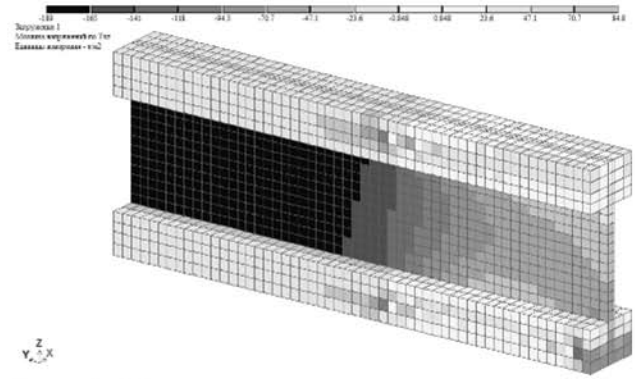


Рис. 4. Касательные напряжения в опорном участке балки, усиленном стальной пластиной

Таблица 1 – Результаты расчетов

Расчетная модель балки	Максимальный прогиб, мм	Нормальные напряжения в поясах, т/м ²	Касательные напряжения в стенке, т/м ²
Без усиления	36	1250	245
Балка усиленная стальными пластинами в опорной зоне	34	1200	225
Балка усиленная стальными пластинами в опорной зоне и в середине пролета	32	1050	210

Выводы

1. Анализ распределения напряжений в элементах балки по длине и по сечению составной двутавровой деревянной балки показал эффективность конструктивного решения клееных деревянных двутавровых балок, усиленных стальными пластинами, для малоэтажного строительства.

2. Усиление балок стальными пластинами приводит к снижению нормальных и касательных напряжений на 15%.

3. Усиление балок стальными пластинами в пролёте, с образованием коробчатого сечения, позволит реализовать балочную клетку нормального типа с соединением балок в одном уровне.

4. Усиление балок стальными пластинами с образованием коробчатых сечений, на участках с максимальными усилиями, повышает их жесткость и пространственную устойчивость балочной клетки.

Литература

1. ТУ УВ 2.7_22794685_001.2005. Двутаєровые дерев'янные балки. Технические условия [Текст]. – Одесса : ООО «ПОЛ и К», 2005. – 35 с.
2. Горынин Г.Л. Исследование напряженно-деформируемого состояния трехслойного двутавра в пространственной постановке [Текст] / Горынин Г.Л., Горынина О.Г. // Вестник СибАДИ. – Омск, 2012, - вып. 5 (27) – С. 49–53.
3. Стоянов, В. В. Экспериментальные исследования двутаєровых дерев'янных балок [Текст] / В. В. Стоянов // Современные строительные конструкции из металла и древесины : Сб. научных трудов / Одес. гос. акад. стр_ва и архитектуры. – Одесса : ОГАСА, 2005. – Ч. 1. – С. 208–213.
4. Серов Е.Н. Клееные дерев'янные конструкции : состояние и проблемы развития / Е.Н. Серов, Б.В. Лабудин // Лесной журнал. – 2013. – № 2. – С. 72–78
5. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Основні положення / Мінрегіон України. – Київ, 2017. – 111 с.
6. ДСТУ EN 300:2008. Плиты древесностружечные с ориентированной стружкой (OSB). Термины и определения понятий, классификация и технические требования (EN 300:2006, IDT) / Держспоживстандарт України. – Київ, 2011. – 11 с.

References

1. TU UV 2.7_22794685_001.2005. Dvutavrovyye derevyannyye balki. Tekhnicheskiye usloviya [Tekst]. – Odessa : ООО «POL i K», 2005. – 35 s.
2. Gorynin G.L. Issledovaniye napryazhenno-deformiruyemogo sostoyaniya trekhsloynogo dvutavra v prostranstvennoy postanovke [Tekst] / Gorynin G.L., Gorynina O.G. // Vestnik SibADI. – OMSK, 2012, - vyp. 5 (27) – С. 49–53.
3. Stoyanov, V. V. Eksperimental'nyye issledovaniya dvutavrovyykh derevyannykh balok [Tekst] / V. V. Stoyanov // Sovremennyye stroitel'nyye konstruksii iz metalla i drevesiny : Sb. nauchnykh trudov / Odes. gos. akad. str_va i arkhitektury. – Odessa : OGASA, 2005. – CH. 1. – С. 208–213.
4. Serov Ye.N. Kleyenyeye derevyannyye konstruksii : sostoyaniye i problemy razvitiya / Ye.N. Serov, B.V. Labudin // Lesnoy zhurnal. – 2013. – № 2. – S. 72–78
5. DBN V.2.6-161:2017 Derev`yani konstruksii. Osnovni polozhennya / Minregion Ukraini. – Kiiv, 2017. – 111 s.
6. DSTU EN 300:2008. Plity drevesnostruzhechnyye s oriyentirovannoy struzhkoy (OSB). Terminy i opredeleniya ponyatiy, klassifikatsiya i tekhnicheskiye trebovaniya (EN 300:2006, IDT) / Derzhspozhivstandart Ukraini. – Kiiv, 2011. – 11 s.

ПІДСИЛЕНІ ДЕРЕВ'ЯНІ ДВОТАВРИ В МАЛОПОВЕРХОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

Гілодо О.Ю., к.т.н., доцент,
gil@soborka.net ORCID 0000-0001-5387-5538

Арсірій А.М., к.т.н., доцент,
ORCID 0000-0003-3262-1488

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Кітасв А.А., директор

Гуренко В.І., гол. інженер
ТОВ «ЕКОДВУТАВР»

Анотація. Каркасне дерев'яне житлове будівництво з використанням дерев'яних двутаєрових балок з дерев'яного клеєного бруса і плити OSB (oriental strand board) - нова технологія, яка сьогодні дуже швидко розвивається. Висока механічна міцність і стійкість до

зовнішніх впливів (в тому числі вологи) дозволяє використовувати OSB в будь-якій сфері господарської діяльності. Традиційно при використанні подібних балок в перекриттях використовують спрощену балочну клітку, що пов'язано з обмеженою несучою здатністю і кроком балок в межах 400-500 мм. Для можливості використання балок в складі нормальної балочної клітки пропонується посилення балок двосторонніми сталевими листовими накладками на саморізах в місцях максимальних зусиль і примикання до інших балок. Для аналізу напружено-деформованого стану двотаврової балки в програмному комплексі «ЛІРА-САПР» була розроблена просторова комп'ютерна модель. Напружено - деформований стан балки аналізувалося по полях переміщень і напружень, а також за деформаціями конструкції. На 1 етапі проводився розрахунок двотаврової балки без посилення сталевими пластинами. На 2 етапі з пластинами в опорній зоні, на 3 етапі - з пластинами в опорній зоні і посередині прольоту. Аналіз розподілу напружень в елементах балки по довжині і по перетину складовою двотаврової дерев'яної балки показав ефективність конструктивного рішення клеєних дерев'яних двотаврових балок, посиленних сталевими пластинами, для малоповерхового будівництва. Посилення балок сталевими пластинами в прольоті, з утворенням коробчастого перетину, дозволить реалізувати балочну клітку нормального типу з з'єднанням балок в одному рівні. Посилення балок сталевими пластинами з утворенням коробчастих перерізів, на ділянках з максимальними зусиллями, підвищує їх жорсткість і просторову стійкість балочної клітки.

Ключові слова: складена дерев'яна балка, пояси з деревини, плита OSB, метод скінченних елементів, розрахункова модель.

STRENGTHENED WOODEN DOUBLE-T IN A LOW-HEIGHT BUILDING

Gilodo A.Y., Ph.D., Assistant Professor,

Arsirii A.M., Ph.D., Assistant Professor,

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Kitayev A.A., director

Gurenko V.I., ch. engineer

LLC "ECODVUTAVR"

Abstract. Prefabricated wooden housing with the use of wooden double-T beams made of wooden glued laminated lumber and OSB board (oriental strand board) - a new technology that is developing very fast today. High mechanical strength and resistance to external influences (including moisture) allows using OSB in any area of activities. Traditionally, when using such beams in the overlappings, a simplified beam framing is used, which is associated with limited bearing capacity and the pitch of beams within 400-500 mm. For the possibility of using beams as part of a normal beam framing, it is proposed to reinforce the beams with double-sided steel sheet linings on the screws in places of maximum effort and to adhere to other beams. To analyze the stress-strain state of the double-T beam in the software complex "LIRA-SAPR" a spatial computer model was developed. The stress-strain state of the beam was analyzed by displacement and stress fields, as well as by deformations of the structure. At the 1st stage, the double-T beam was calculated without steel plates reinforcing. At the 2nd stage with plates in the index zone, at the 3rd stage - with plates in the index zone and in the middle of the span. Analysis of pressure distribution in beam elements along the length and intersection of a component of a double-T beam has shown the effectiveness of a structural solution of glued wooden double-T beams reinforced with steel plates for low-height construction. The reinforcement of beams with steel plates in the span, with the formation of a box section, will allow realizing the beam framing of the normal type with the connection of beams in one level. Strengthening of beams with steel plates with the formation of box sections, in areas of maximum effort, increases their rigidity and spatial stability of the beam framing.

Keywords: stacked wooden beam, timber belts, OSB board, finite element method.