

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК СО СТЕНКОЙ ИЗ OSB И НАГЕЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ПОЯСОВ СО СТЕНКОЙ.

Владимир Синцов, Александр Синцов

Симферополь Национальная Академия природоохранного и курортного строительства

г. Симферополь, ул. Павленко, 5, корпус 2, к. 301.

E-mail: sintsov\_a.v@mail.ru

**Аннотация.** Представлены рекомендации по проектированию составных деревянных балок со стенкой из OSB и нагельными соединениями поясов со стенкой.

**Ключевые слова.** Плита OSB, деревянные бруски, стальные нагели, механические характеристики.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В Украине активно развивается отрасль строительства - каркасное домостроение малоэтажных зданий с применением деревянных составных двутавровых балок и стоек рис. 1 [1].

Традиционно деревянные составные двутавровые и коробчатые балки – балки из деревянного бруса и строительной фанеры с соединением полок со стенкой на клею или на гвоздях. При производстве фанеры применяют формальдегид. В Европе строительные материалы по уровню излучаемого формальдегида делятся на три класса: Е 1 (до 0,1 ppm), Е 2 (0,1...1,0 ppm) и Е 3 (1,0...2,3 ppm). В Украине и Российской Федерации похожие классификации, только уровни излучения в классах выше. Строительная фанера по уровню эмиссии формальдегида относится к украинскому (российскому) классу Е 2. Применение в составной двутавровой балки в качестве материала для стенки плиты OSB (Oriented Strand Board - ориентированно-стружечная плита) снизит уровень излучаемого формальдегида. Количество формальдегида, излучаемого OSB, составляет менее 0,1 ppm (частей на миллион), что соответствует уровню эмиссии Е 1.

На кафедре МДК НАПКС в течении последних пяти лет проводятся исследования по применению материала OSB [3] в составных двутавровых балках [2, 9-12].

Данный материал, обладающий высокими механическими характеристиками – достаточная высокая прочность, хорошая гвоздимость, водонепроницаемость нашёл широкое применение при изготовлении составных деревянных конструкций.

Применение нагельных соединений в составных деревянных конструкциях из тонкомерной древесины - один из путей снижения материальных затрат в малоэтажном строительстве, становится актуальным в связи с отсутствием определенной технологической базы изготовления клееных деревянных конструкций, относительно высокой цены на клей, а в ряде случаев, с невозможностью использовать другие

виды соединений.

Особенность двутавровой балки со стенкой из плиты OSB с нагельным соединением с полками состоит в том, что в отличие от других плитных материалов OSB обладает способностью удерживать крепёж не связующим, а характером укладки щепы, многочисленными тонкими щепами, ориентированными в плоскости, перпендикулярной к оси крепёжных элементов.



Рис.1. Конструктивное решение дома по каркасной технологии фирмы «АртБуд».

Fig.1. Constructive solution to house framing technology of "ArtBud."

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Провести исследования для определения напряженно – деформированного состояния (НДС) элементов составных деревянных балок со стенкой из OSB и нагельными соединениями поясов из деревянных брусков в лаборатории деревянных конструкций НАПКС [9-12]. Определить несущую способность нагельного соединения OSB и поясов из деревянных брусков. По результатам исследований разработать рекомендации по проектированию данных конструкций.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ.

Используя экспериментально–теоретический метод В.М.Коченова несущую способность соединения определяли по следующим расчетным характеристикам:

- в пределах начального этапа загрузки - расчетным сопротивлением OSB смятию, на этапе разрушения - расчетным сопротивлением OSB растяжению, а для нагеля - расчетным сопротивлением по пределу текучести стали, из которой нагель изготовлен;
- учитывая, что расчетное сопротивление нагеля по пределу текучести многократно превосходит расчетные характеристики листа OSB, несущую способность нагеля будем определять предельной деформацией;
- расчетную предельную деформацию нагеля ограничим отношением полной деформации к «упругой» -  $\delta_{п} / \delta_{уп} = 2$ .

Использование для сплачивания элементов в составной балке стальных нагелей за счет наличия резьбы на них по всей длине позволило получить соединение высокой сплошности по сравнению с гвоздевыми соединениями.

Разработанные образцы с нагельным соединением предназначены для испытания на растяжение, в результате которого в соединении будет происходить сдвиг элементов друг относительно друга.

Таблица 1. Данные по образцам  
Table 1. Data on samples

№ п.п	Составные элементы образца	К-во шт	Сечения элементов	Вид соединения
1	Лист OSB+лист OSB	10	10x35x300 10x35x80	Нагельное (один нагель)
2	Лист OSB+лист OSB	10	10x35x300 10x35x80	Нагельное (два нагеля)
3	Лист OSB+дер. брусок	10	10x35x300 35x35x80	Нагельное (один нагель)
4	Лист OSB+дер. брусок	10	10x35x300 35x35x80	Нагельное (два нагеля, шаг 37,5 мм)
5	Лист OSB+дер. брусок	10	10x35x300 35x35x80	Нагельное (два нагеля, шаг 50 мм)
6	Лист OSB+дер. брусок	10	10x35x300 35x35x80	Нагельное (два нагеля, шаг 100 мм)

В качестве выходных параметров – разрушающее усилие, верхняя граница упругой стадии деформации, относительное перемещение элементов соединения при достижении  $F_{I-II}$ .

Анализ работы нагельного соединения с одним шурупом (тип соединения №3):

- при росте нагрузки на соединение до 80 кг, в соединении наблюдалась относительно упругая работа элементов, составляющих

соединение. При  $F = 80$  кг абсолютная деформация растяжения составила  $\delta = 2,5$  мм;

- с увеличением нагрузки появились деформации смятия в элементах соединения, произошло изменение угла наклона участка диаграммы «нагрузка – деформации». При нагрузке  $F = 140$  кг абсолютная деформация составила  $\delta = 5$  мм;

- при дальнейшем увеличении нагрузки появились деформации нагелей в поперечном направлении приложению нагрузки – изгиб нагеля и продолжался рост деформаций смятия. При нагрузке  $F = 180$  кг абсолютные деформации растяжения составили  $\delta = 9$  мм;

- дальнейшее увеличение нагрузки до  $F = 220$  кг привело к росту абсолютных деформаций и появлению в листе OSB трещин от растягивающих усилий. Величина абсолютной деформации составила  $\delta = 11$  мм;

- дальнейшее увеличение нагрузки привело к росту трещин в листе OSB и разрушению образца. Разрушение лист OSB нагельного соединения представлено на рис. 2.а.

- разрушения образцов с нагельным соединением (тип 1,2,3) сопровождалось значительными абсолютными деформациями, достигавшими в отдельных образцах значения  $\delta_{max} = 13...16$  мм.

Определение верхних границ упругих деформаций, перемещений и максимальной нагрузки производилось графоаналитическим методом профессора В.М. Коченова по построенным зависимостям «нагрузка - деформация».

Для каждого образца были получены значения несущей способности нагелей  $F_{I-II}$  и верхней границы упругих деформаций  $\delta_{I-II}$ . Значения максимальной  $F_{I-II}$  нагрузки определялись в момент появления трещин или характерного треска.

Учет длительности действия внешней нагрузки был произведен приведением фактической средней несущей способности  $F_{I-II}$ , соответствующей верхней границе упругих деформаций, к длительной в соответствии с [16]:

$$\bar{T} = \overline{F_{I-II}} / K_{уд} \quad (1)$$

где:  $K_{уд} = 2,04$  коэффициент безопасности, учитывающий длительность действия нагрузки (по источнику [16]).

а)



6

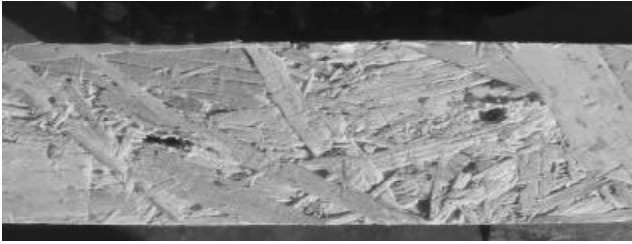


Рис. 2. Элементы образцов из листа OSB после разрушения:

- а – разрушение элемента OSB с одиночными нагелями от растяжения;
- б – разрушение элемента OSB с двумя нагелями (шаг 100 мм) от смятия.

Fig. 2. Elements of the samples after the destruction of OSB sheet:  
and - the destruction element OSB with single pegs from stretching;  
b - the destruction element OSB with two pegs (step 100 mm) of the shear.

Для определения НДС элементов составных деревянных балок проведены численные и экспериментальные исследования.

Численные исследования проводились с применением ПК версии «ЛИРА-W9.6». Данный ПК п

редоставляет возможность производить расчеты объектов с учетом физической и геометрической нелинейностей, моделировать процесс разрушения конструкции.

В качестве основного элемента для создания расчетной модели составной балки приняты конечные элементы 41, 42 – элементы для создания оболочки, которые использованы для элементов стенки и полки, металлические нагели моделировались двумя способами – с использованием конечного элемента – стержневой элемент и конечного элемента – элемент оболочки.

Расчет компьютерных моделей проводился с моделированием линейных и нелинейных нагружений. При моделировании нелинейных нагружений конечные элементы КЭ 41 и КЭ 42 заменялись на конечные элементы КЭ 241 и КЭ 242 – физически нелинейные универсальные прямоугольные и треугольные элементы оболочки. В таких элементах материал конструкции подчиняется нелинейному закону деформирования с различными пределами сопротивления растяжению и сжатию.

По характеру распределения напряжений в элементах компьютерной модели балки (первый вариант) можно сказать следующее:

- нормальные продольные напряжения  $s_x$  в стенке достигают максимальных сжимающих значений  $s_x = -11,7$  МПа у верхнего пояса в месте приложения нагрузки, в пролете незначительно превышая значение расчетного сопротивления сжатию материала стенки. А максимальные

растягивающие продольные напряжения  $s_x$  в стенке в этом сечении равны  $s_x = 10,92$  МПа у нижнего пояса также незначительно превышая значение расчетного сопротивления растяжению материала стенки;

- нормальные поперечные напряжения  $s_y$  в стенке достигают максимальных сжимающих значений  $s_y = -4,233$  МПа в месте приложении внешней нагрузки в области верхнего пояса, составляя примерно 45 % от расчетного сопротивления сжатию материала стенки, а нормальные поперечные напряжения  $s_y$  в поясе в месте приложения внешней нагрузки составляют величину  $s_y = 7,567$  МПа, составляя примерно 55 % от расчетного сопротивления на растяжение – сжатие материала пояса;

- касательные напряжения в стенке достигают максимального значения  $\tau_{xy} = -4,47$  МПа в сечении, удаленном от опоры на расстоянии 10 см в средней ее части. По мере приближения к сечению, в котором приложена внешняя нагрузка, величина напряжений снижается и составляет  $\tau_{xy} = -3,078...-3,082$  МПа, что ниже уровня продольных и поперечных нормальных напряжений в элементах стенки в 2-3 раза, и близко к расчетному сопротивлению на срез материала стенки.



Рис. 3. Картина разрушения стенки в местах приложения внешней нагрузки (случай нагружения двумя силами) и опорных сечениях.

Fig. 3. Painting wall destruction in places external forces (loading case the two forces) and reference sections.

Конструкция составной двутавровой балки, в которой в качестве стенки применен материал OSB [2], а пояса соединены со стенкой на стальных нагелях, представляет собой строительную конструкцию, в которой необходимо учитывать разномодульности составляющих ее элементов и податливость связей в соединении элементов [4-8,12].

При компоновке составной балки данной конструкции (рис. 4) рекомендуем выполнить следующие действия:

Высоту сечения балки принимаем в пределах 1/10...1/14 пролета балки;

Пояса балок выполняем из мелкогабаритного деревянного бруса.

Высоту поясов принимаем в пределах  $h_n \geq h_0/6$  (сечение – от 35\*35 мм при пролетах балки 2-3 м, до 60\*60 при пролетах 4-6 м). Полки примыкают к стенке из OSB по бокам. Древесина поясов – сосна II сорта;

Для стенок использовать водостойкую ориентировано - стружечную плиту OSB толщиной от 8 до 16 мм (в пределах от 250x8...250x10мм при пролетах балки 2...3 м, до 350x12...450x16 - при пролетах 4-8 м.);

- Соединение полок со стенкой выполняем на нагелях. Расстояние между нагелями, предварительно принимаем равным ширине полки плюс 1...3 см, далее уточняем расчетом;
- Ширину опорного ребра принимаем равной высоте сечения поясного бруска.
- В местах передачи сосредоточенной нагрузки на балку на верхний пояс устанавливаем поперечные ребра.

Закомпонованное сечение составной балки рассчитываем по следующему алгоритму:

Определяем приведенные геометрические характеристики составного сечения:

- Момент инерции брутто приведенных поперечных сечений относительно нейтральной оси по формуле 1,

$$J_x = \frac{\delta \cdot H^3}{I^2} \cdot \frac{E_{OSB}}{E_1} + \gamma \cdot \sum_{i=1}^n n \cdot A_i \cdot a_i^2 \quad (2)$$

Проводим проверку принятого сечения составной балки по нормальным и касательным напряжениям:

- Максимальное напряжение по сечению в сжатой зоне в стенке по формуле 2;
- Максимальное напряжение в сжатой зоне поясных брусков по формуле 3;
- Максимальные нормальные напряжения в растянутой зоне (по оси, проходящей через центр тяжести растянутого пояса) по формуле 4;
- Максимальные касательные напряжения с стенкой по формуле 5.

$$\sigma_{rs} = \frac{M}{J_x} \left( \frac{h - 2t_f}{2} \right) \quad (3)$$

Рис. 4. Данные к расчету.

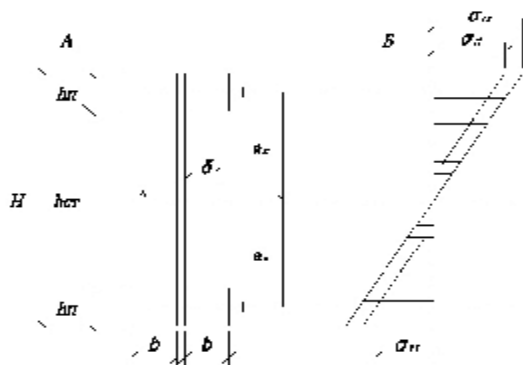


Fig. 4. Data for calculation.

A - поперечное сечение составной двутавровой балки;

Б - эпюра нормальных напряжений в поперечном сечении составной двутавровой балки.

$$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{J_x} \left( \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \pm \frac{t_f}{2} \cdot \frac{J_1}{J_x} \right) \quad (4)$$

$$\sigma_{s1} = \frac{M}{J_x} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \quad (5)$$

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max}}{J_x \cdot \delta} (\gamma \cdot S_1 + S_3) \quad (6)$$

Проверку прочности соединения пояса со стенкой на стальных нагелях из условия сопротивления сдвигу проводим по формулам:

$$\tau = \frac{Q_{max} \cdot \gamma \cdot S_1}{t_w \cdot J_x} \quad (7)$$

$$N_\tau = \tau \cdot \delta = \frac{Q_{max} \cdot \gamma \cdot S_1}{J_x} \quad (8)$$

Шаг стальных нагелей уточняем по формуле

$$S = \frac{n \cdot T_{min}}{N_\tau} \quad (9)$$

Несущую способность нагеля для элементов крепления при простом сдвиге из условия изгиба нагеля по формуле 10 или из условия смятия наименее прочного из соединяемых элементов по формуле 11

$$T_1 = K_u \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{R_u} \cdot \sqrt{R_{cm}^{ocn}} \quad (10)$$

$$T_2 = k_1 \cdot t_w \cdot d_n \cdot R_{cm}^{ocn} \quad (11)$$

В качестве расчетного значения принимаем минимальное из полученных значений

$$T_{расч} = T_{min} (T_1, T_2) \quad (12)$$

Проверку деформативности составного двутаврового сечения проводим по формуле 13. При этом модули упругости рекомендуется принимать с понижающим коэффициентом  $K=0,8$ , который позволит учесть длительность эксплуатации конструкции.

$$f_n = f_m + f_a \leq [f] \quad (13)$$

Приведенная методика проектирования составной двутавровой балки со стенкой из OSB и с нагельными соединениями поясов со стенкой позволяет подобрать сечение составных балок с учетом разномодульности элементов балки и податливости нагельных соединений поясов со стенкой для разных пролетов и нагрузок для перекрытий жилых и общественных зданий. Результаты подбора сечений балок при определенных пролетах с указанием предельных расчетных внутренних усилий приведены в таблицах 2 и 3.

Приведенные в таблицах данные имеют ориентировочный характер и не могут быть рекомендованы для конкретных проектных решений. Указанные в таблицах значения предназначены для предварительных расчетов.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК

Таблица 2 Пределные нагрузки на составные балки  
Table 2 Limit loads on composite beams

Марка балки	Сечение стенки, мм	Сечение полок, мм	Диаметр и шаг нагелей, мм	M <sub>max</sub> КН*м	Q <sub>max</sub> , кН	A <sub>прив.</sub> , см <sup>2</sup>	J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>
Б-200	200x10	35x35	4/60	4,35	2,75	57,7	2094
Б-250	250x10	38x38	4/65	6,5	3,45	68,64	4807
Б-400	400x12	38x38	4/50	13,50	7,45	78,64	19200

Таблица 3. Допустимые пролеты составных балок  
Table 3. Allowable spans composite beams

Б-200			
Постоянная нагрузка, кПа	1,00		
Полезная нагрузка, кПа	1,5	2,00	2,50
Шаг балок, м	Допускаемый пролет, м		
0,4	4,75	4,45	4,10
0,5	4,35	3,95	3,67
0,6	3,95	3,65	3,35
Б-250			
Постоянная нагрузка, кПа	1,00		
Полезная нагрузка, кПа	1,5	2,00	2,50
Шаг балок, м	Допускаемый пролет, м		
0,4	5,95	5,55	5,25
0,5	5,45	4,97	4,85
0,6	5,10	4,71	4,53
Б-400			
Постоянная нагрузка, кПа	1,00		
Полезная нагрузка, кПа	1,5	2,00	2,50
Шаг балок, м	Допускаемый пролет, м		
0,4	9,30	8,90	8,40
0,5	8,70	8,30	7,75
0,6	8,30	7,65	7,10

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивец В. Доклад председателя Государственного агентства лесных ресурсов Украины на интернет-конференции на портале ЛІГА.net/ЛІГАБізнесІнформ/ Інформаційне агентство/[www.liga.net](http://www.liga.net)
2. Балка складена. Патент № 42078 от 25.06.2009, бюл.№12, 2009.
3. Oriented Strand Board in Wood Frame Construction. Structural Board Association./ Representing the OSB Industry /U.S. Edition, 2005. 34 с
4. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. М.: Стройиздат 1996.
5. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1986.
6. Конструкции из дерева и пластмасс., 1986. Учебник для вузов /Под редакцией проф. Карлсена Г.Г. / – М.: Стройиздат.-543.
7. Стоянов В.В., 2005. «Экспериментальные исследования двутавровых деревянных балок». Сб. научных трудов 5, Ч.1. –208-213.
8. Синцов А.В., 2009. Исследование напряженно-деформированного состояния элементов составных балок /Сб. научных трудов «Актуальные проблемы архитектуры, строительства и энергосбережения» Вып. №3 Ч. I. – Симферополь:Таврия. - 153-160.
9. Синцов В.П., 2010. О работе составной деревянной балки со стенкой из OSB/Синцов В.П., Синцов А.В.// Сб. научных трудов. Строительные конструкции и техногенная безопасность. - Вып.31, 68 - 72.
10. Синцов В.П., 2011. К вопросу о работе соединений деревянных брусков с листами OSB/Синцов В.П., Синцов А.В. Сб. научных трудов «Современные строительные конструкции из металла и древесины». - Том 3 (15), 203-208.
11. Синцов А.В., 2012. К расчету составных деревянных двутавровых балок со стенкой из OSB и нагельными соединениями поясов со стенкой// Сб. научных трудов «Современные строительные конструкции из металла и древесины». - Том 4 (16), 199 - 206.
12. «Les poutres bois profilees a ame contreplaque» Conception, 1987. SÉRIE: TECHNIQUE GÉNÉRALE DE LA CONSTRUCTION 104. DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS. № 454, 129-144.
13. Кириленко В.Ф. 2009. Механическое оборудование и технологические линии по изготовлению деревоферных балок. // MOTROL. - Вып. 11А, 183 - 190.
14. Сукач М., 2009. Проблемы добычи твердых полезных ископаемых со дна мирового дна.// MOTROL. - Вып. 11А, 116 - 123.
15. Синцов А.В., 2012. Расчет составных двутавровых балок со стенкой из OSB и нагельными соединениями поясов со стенкой.// MOTROL. - Vol. 14, №6, 99-105.
16. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1981. - 40

RECOMMENDATIONS FOR DESIGN OF COMPOSITE BEAMS WITH WOODEN WALL OF OSB AND CONNECTIONS DOWEL WITH A BELT.

**Summary.** Provides recommendations on the design of composite wood beams to the wall of the OSB and dowel joints zones with a wall.

**Key words:** Plate OSB, wood blocks, steel pins, the mechanical characteristics.