DOI:10.33942/sit.nes034 УДК 691.112

ДЕРЕВЯННЫЕ БАЛКИ КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Новицкий Я.Я.(1), Рудая А.Н.(2)

(1) *Магистрант, ГрГУ им. Я. Купалы (Республика Беларусь), novickij_yy@grsu.by*
(2) *Заведующий строительным отделением, Лидский колледж УО ГрГУ им. Я. Купалы (Республика Беларусь), anya.rudaya.zav.stroi@yandex.by*

Резюме. *В современной практике строительства наибольшее применение нашли дощатоклееные балки больших пролетов. Несмотря на их высокую технологичность, применение сдерживается значительным расходом древесины. Поэтому в целях уменьшения расхода материала применяются двутавровые балки, в которых пояса выполняются из цельной или клееной древесины, а стенка – из плоской или волнистой фанеры [1]. В последнее время в строительных конструкциях всё чаще применяются различные композитные материалы, полимеры, пластики. Одним из таких материалов является поликарбонат. Благодаря высоким прочностным характеристикам его можно использовать совместно с древесиной в качестве несущих элементов строительных конструкций. В данной статье проведены теоретические расчёты по применению монолитного поликарбоната в качестве стенки двутавровой балки с поясами из цельной и клееной древесины.*

Ключевые слова: *древесина; поликарбонат; балки; композитный материал.*

WOOD BEAMS OF THE COMBINED DESIGN USING COMPOSITE MATERIALS

Novitski Y., Rudaya A.

In modern construction practice, the most widely used are glued beams of large spans. Despite their high manufacturability, the application is constrained by a significant consumption of wood. Therefore, in order to reduce the consumption of material, I-beams are used, in which the belts are made of solid or glued wood, and the wall is made of flat or wavy plywood [1]. Recently, various composite materials, polymers, and plastics are increasingly being used in building structures. One such material is polycarbonate. Due to its high strength characteristics, it can be used together with wood as load-bearing elements of building structures. In this article, theoretical calculations on the use of monolithic polycarbonate as a wall of an I-beam with belts made of solid and glued wood are carried out.

Keywords: *wood; polycarbonate; beams; composite.*

1. Введение

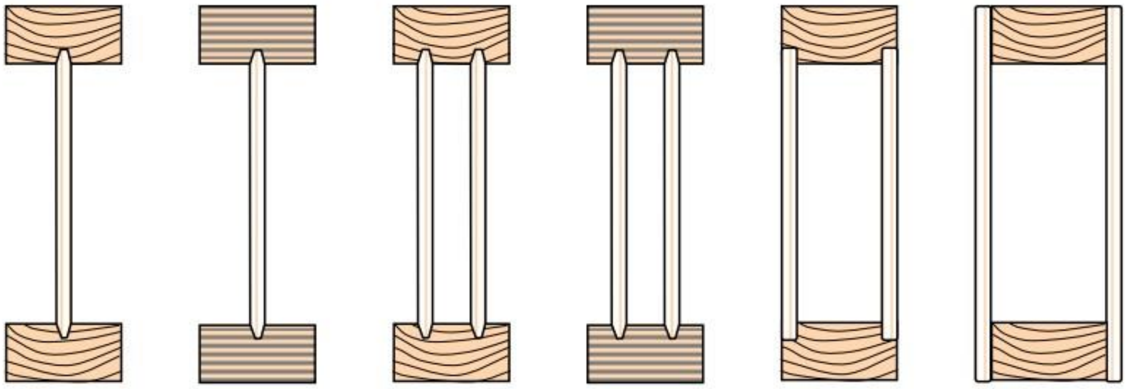
Древесина является строительным материалом, без которого не обходится проектирование и возведение зданий и сооружений. Важными преимуществами деревянных конструкций являются минимальные затраты энергии при их изготовлении, экологически чистая утилизация отходов переработки древесины и дерева, оставшихся после полной эксплуатации конструкций и сооружений без особого влияния на окружающую среду [2]. Но самое важное достоинство древесины – это возобновляемость, что делает её современным, востребованным строительным материалом. Наряду с достоинствами древесины имеются и отрицательные качества, такие как подверженность загниванию, растрескиванию, возникновению продольных усушечных трещин при эксплуатации, небольшая прочность при растяжении. Одним из актуальных вопросов – каким образом улучшить прочностные свойства данного строительного материала. Актуальность древесины как строительного материала заставляет многих ученых заниматься исследованием работы различных конструкций из дерева. В процессе использования натуральных строительных материалов в совокупности с искусственно созданными композитными открывается возможность создания абсолютно новой строительной конструкции с качественно новыми характеристиками. Композиты всё более активно завоевывают строительный рынок. Проведя сравнительный анализ можно выделить следующие достоинства композитных материалов: их прочностные характеристики не уступают характеристикам металлов. Создание комбинированных балок, с применением современных композитных материалов позволяет расширить качественно новые характеристики строительных конструкций.

2. Эффективные материалы для тонкостенных балок

Традиционно несущие балки изготавливались из цельной древесины, что ограничивало и геометрические размеры балок, и соответственно, воспринимаемые нагрузки. Одним из путей решения данных проблем и снижения массы деревянных балок является использование тонкостенных балок с деревянными поясами (Фиг.1). Такие балки могут быть использованы в качестве основных несущих конструкций, таких как балки перекрытия или покрытия, элементы арок, рам, колонн или стоек.

Тонкостенные балки состоят из стенок, деревянных полок (поясов) и деревянных рёбер жесткости. По конструктивному решению их можно разделить на балки с плоской стенкой (коробчатого или двутаврового сечения) и балки с волнистой стенкой.

Данные профили балок обеспечивают максимальное сопротивление балки на изгиб. Прочность и жесткость комбинированных деревянных балок почти в три раза выше пиленого бруса аналогичного сечения. Благодаря своему сечению она способна выдерживать более высокие нагрузки при меньшем весе и стоимости. Кроме того, они со временем не дают усадку, не рассыхаются и не выкручиваются. Это объясняет высокую её популярность в строительстве.

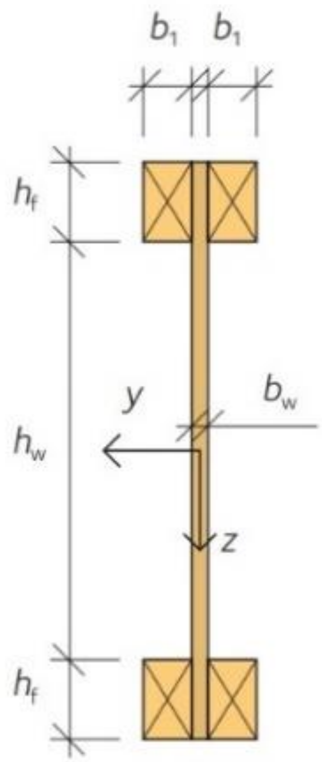


Фиг. 1 – Варианты комбинированных деревянных балок

Эффективными материалами для поперечных стенок двутаврового сечения является фанера, древесные пластики (ДСП, OSB, OSP) или металл. В качестве альтернативных материалов для стенок комбинированных балок могут использоваться композитные материалы – стеклопластик, поликарбонат и другие пластики, появляющиеся в результате развития технологий. Одним из таких материалов является поликарбонат, который в настоящее время выпускается монолитным, волнистым и сотовым. Высокие прочностные характеристики, высокая ударная прочность, огнестойкость, надежность и стойкость к атмосферному воздействию позволяют использовать листы материала на протяжении многих лет. Материал долговечен и не теряет свои характерные эксплуатационные свойства.

3. Теоретические исследования

Для определения эффективного сечения комбинированной двутавровой балки проведены теоретические исследования, определено влияние геометрических параметров на несущую способность балок. Для исследований принят образец исходя из конструктивных требований при проектировании тонкостенных балок [3]: высота балки назначается в пределах $h = (1/8 \div 1/10)\times L$; высота пояса зависит от общей высоты $hf = (1/6 \div 1/10)\times h$. Исследуемый образец представляет собой комбинированную балку двутаврового сечения пролётом 1200 мм со стенкой из монолитного поликарбоната и геометрическими характеристиками поперечного сечения (Фиг.2): hf = 20 мм – высота деревянных поясов, hw = 60 мм – высота стенки, bw = 8 мм – толщина стенки, b1 = 25 мм – ширина поясов. В качестве материала поясов балки используем цельную древесину класса С40.



Фиг. 2 – Конструктивное решение расчетной балки

Расчёт балки проведен в соответствии с методикой расчета комбинированных деревянных балок в соответствии со стандартом стран Евросоюза [5,6,7] и ТКП EN 1995-1-1-2009 [8]. Расчет комбинированных балок производится по методу приведённых коэффициентов:

$$\mu_{w,\mathrm{SLS,inst}} = \frac{E_{w,mean}}{E_{0,mean}} \tag{1}$$

где $E_{w,mean}$ – модуль упругости материала стенки; $E_{0,mean}$ – модуль упругости материала полок.

Проверка прочностных свойств материалов стенки и полок осуществляется по следующим формулам:

$$\begin{cases} \sigma_{f,t,d} = \dfrac{M_{y,\mathrm{Ed}}}{I_{\mathrm{y},S\,\mathrm{LS,fin}}} z_{flange,centre} \le f_{t,0,d} \\ \sigma_{f,t,\max,d} = \dfrac{M_{y,\mathrm{Ed}}}{I_{\mathrm{y},S\,\mathrm{LS,fin}}} z_{flange,edge} \le f_{m,d} \\ \sigma_{w,t,\max,d} = \mu_{w,SLS,inst} \dfrac{M_{y,\mathrm{Ed}}}{I_{\mathrm{y},S\,\mathrm{LS,inst}}} z_{flange,edge} \le f_{t,\mathrm{w},d} \end{cases} \tag{2}$$

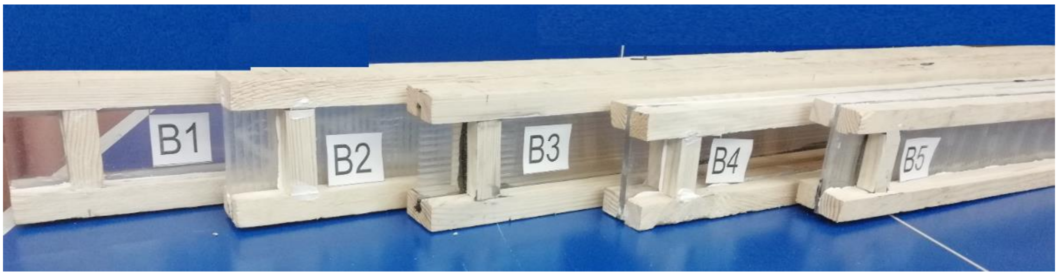
В соответствии с расчетом определены значения разрушающего момента в полке (на границе полки и стенки), (в растянутой зоне), в стенке балки (в растянутой зоне) соответственно, в качестве расчетного момента принимаем наименьшее из значений:

$$M_{y,Ed} = \min \begin{cases} M_{y,\mathrm{Ed},t,f} = 1{,}939\,кНм \\ M_{y,\mathrm{Ed},m} = 1{,}456\,кНм \\ M_{y,\mathrm{Ed},t,w} = 17{,}784\,кНм \end{cases} \qquad (3)$$

Данная методика расчета разрушающего момента в соответствии со стандартом стран Евросоюза позволяет подобрать оптимальное сечение комбинированных деревянных балок.

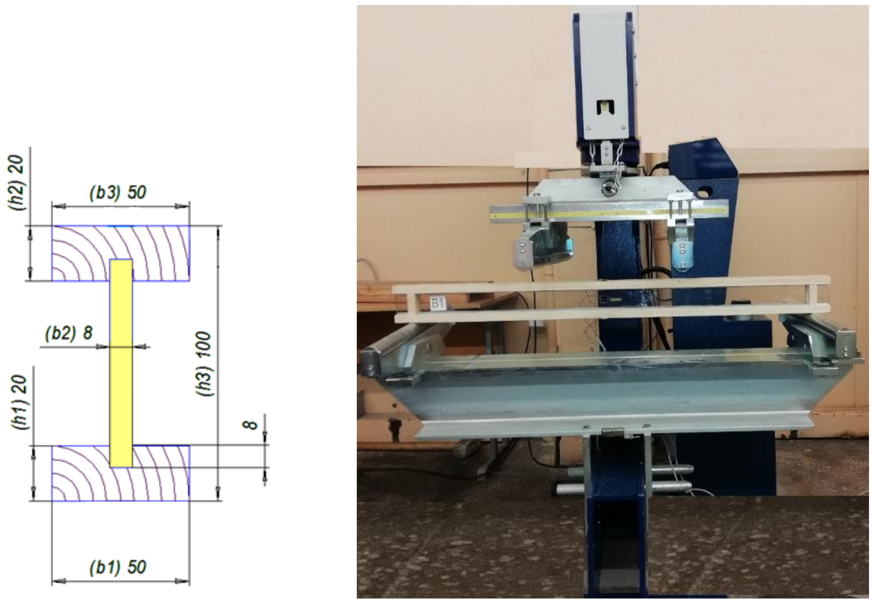
4. Экспериментальные исследования

Для исследования работы комбинированных балок были изготовлены две серии экспериментальных балок (Фиг.3): 1 серия – балки со стенкой из монолитного поликарбоната; 2 серия – со стенками из сотового поликарбоната [4].

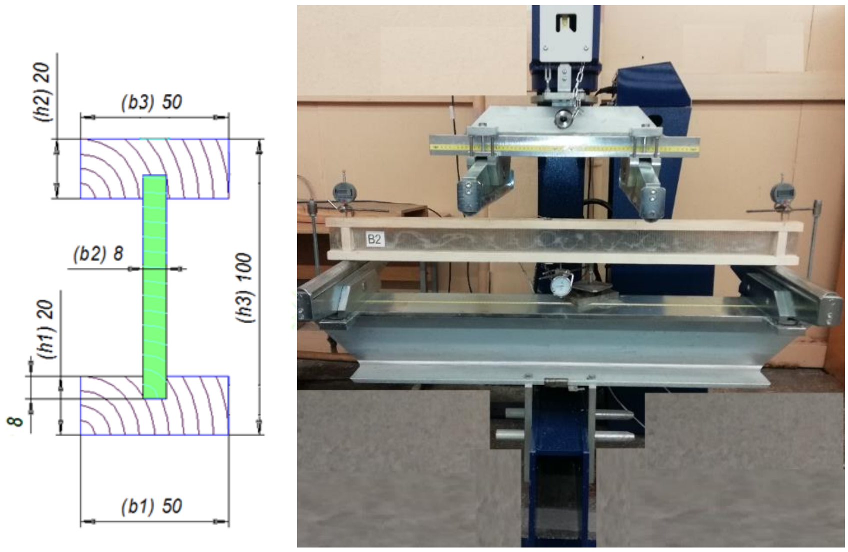


Фиг. 3 – Экспериментальные образцы комбинированных балок

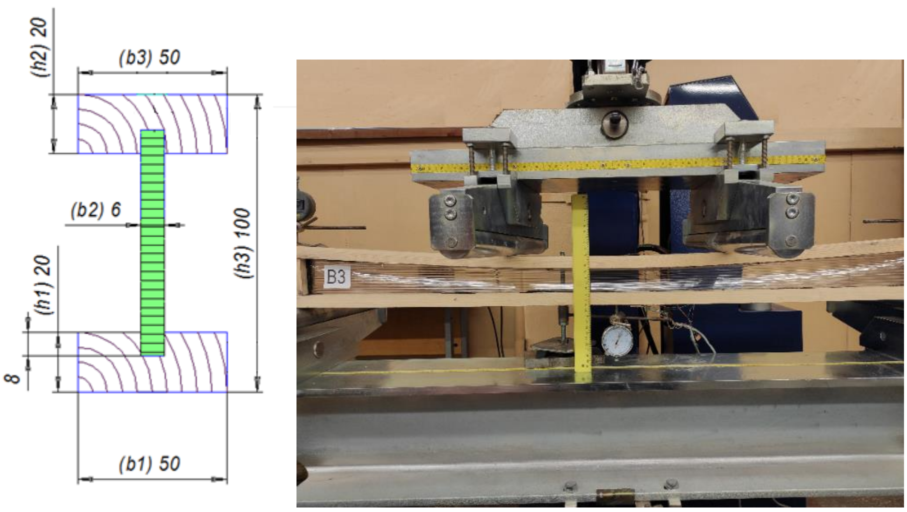
Все экспериментальные балки имели двутавровое поперечное сечение с постоянной по длине высотой (Фиг.4-8). Пояса балок изготовлены из цельной древесины хвойных пород. Поликарбонатная стенка имеет прямоугольную форму по длине. В каждой серии предусмотрены были два варианта клеевого соединения стенки и поясов: поликарбонатная стенка вклеивается в прямоугольные пазы поясов или вклеивается по кромке. Для обеспечения устойчивости в опорных частях балок были установлены ребра жесткости [4].



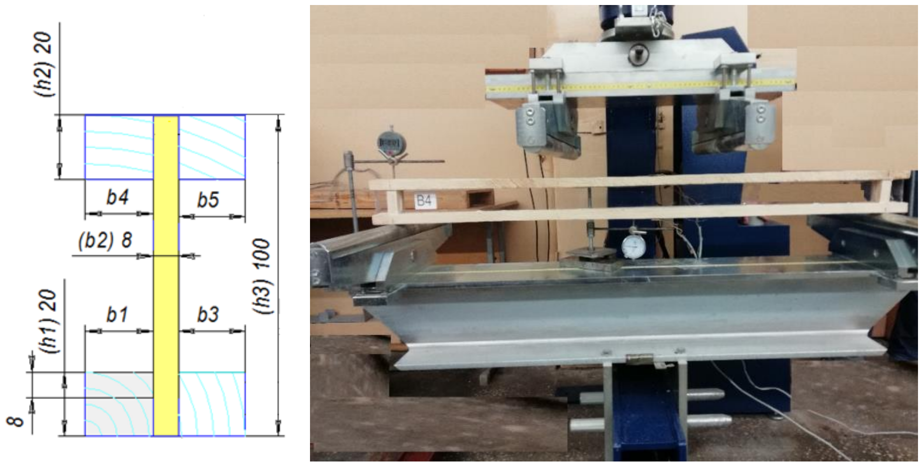
Фиг. 4 – Экспериментальная балка B1



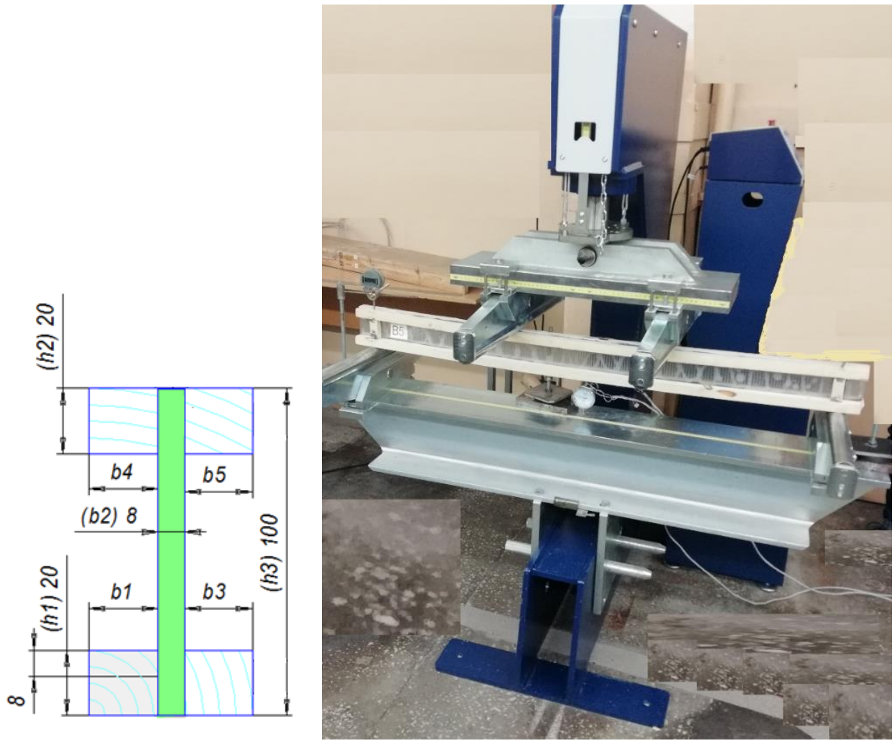
Фиг. 5 – Экспериментальная балка B2



Фиг. 6 – Экспериментальная балка B3

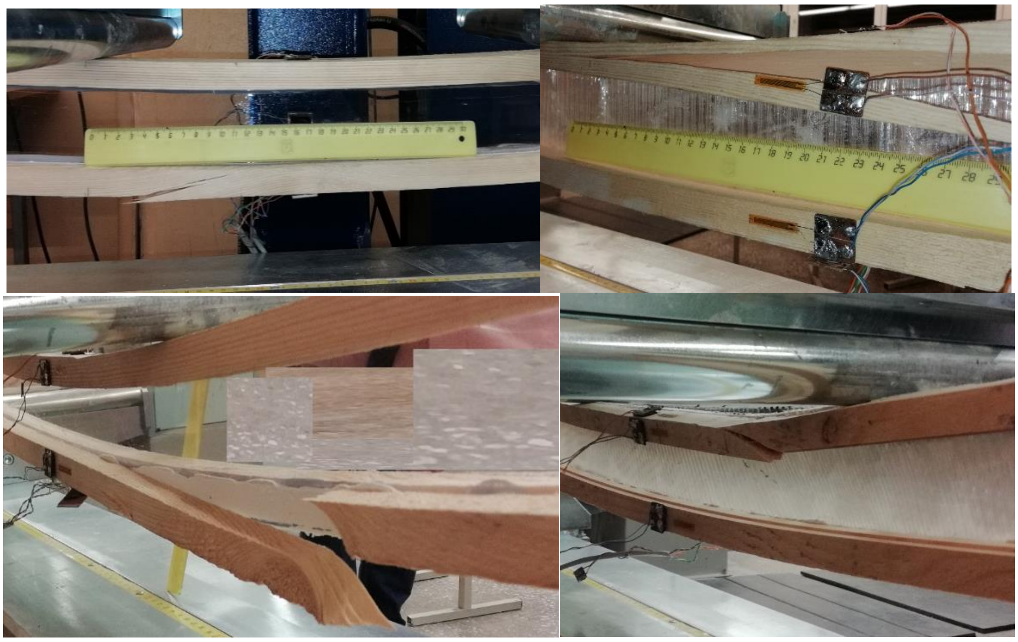


Фиг. 7 – Экспериментальная балка В4



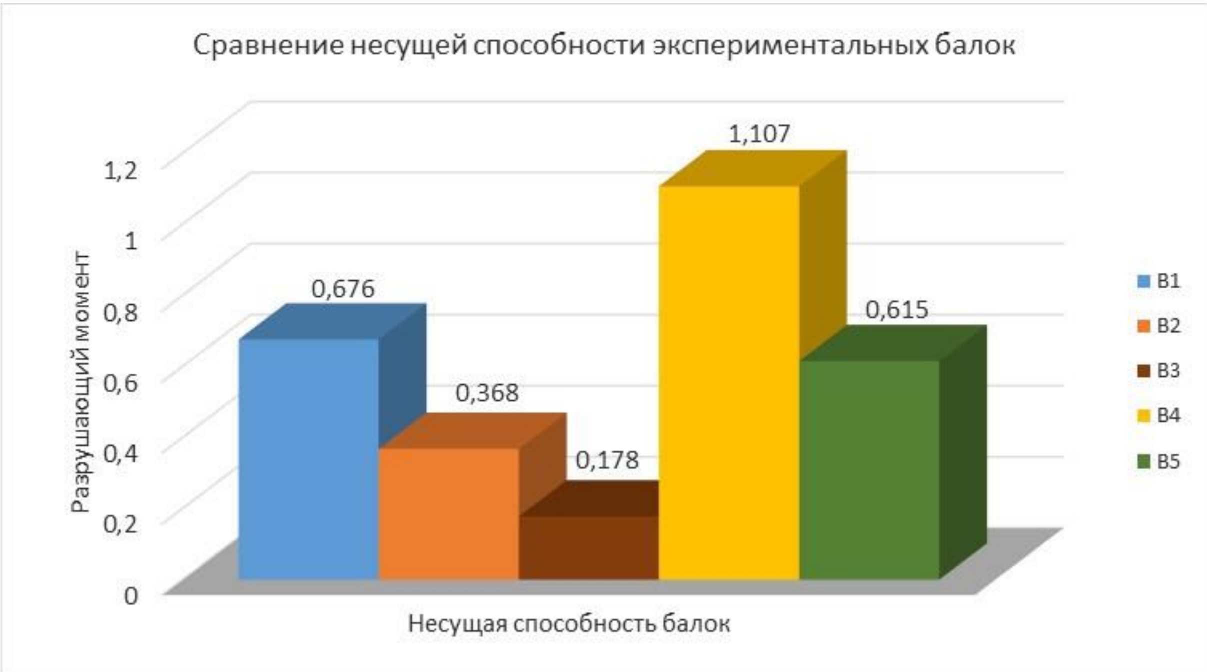
Фиг. 8 – Экспериментальная балка В5

Все опытные образцы балок были разрушены по древесине в зоне чистого изгиба(Фиг.9). При этом по нижнему поясу разрушились образцы 1 серии (балки В1 и В4). По верхнему поясу разрушились балки 2 серии (В2 и В5). Опытная балка В3 со стенкой из сотового поликарбоната с продольным размещением ячеек не обеспечила необходимую жесткость и разрушение происходило с первых этапов нагружения. Конструктивное решение данного образца требует дальнейших изменений.



Фиг. 9 – Разрушение образцов

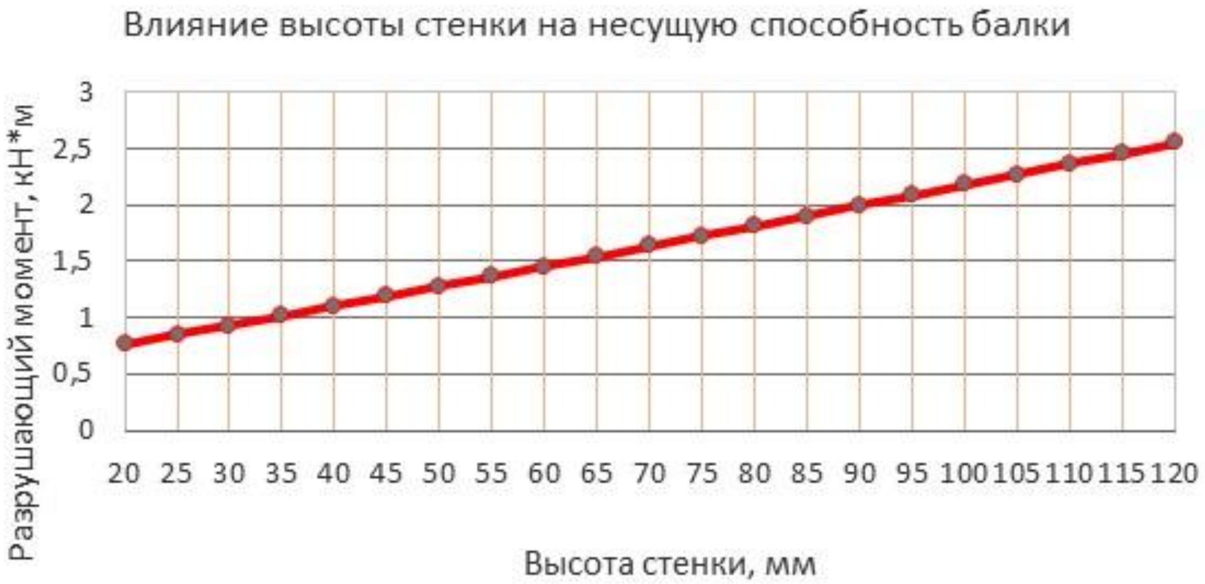
Максимальную несущую способность показала балка В4 (Фиг.10).



Фиг. 10 – Разрушающие моменты экспериментальных балок

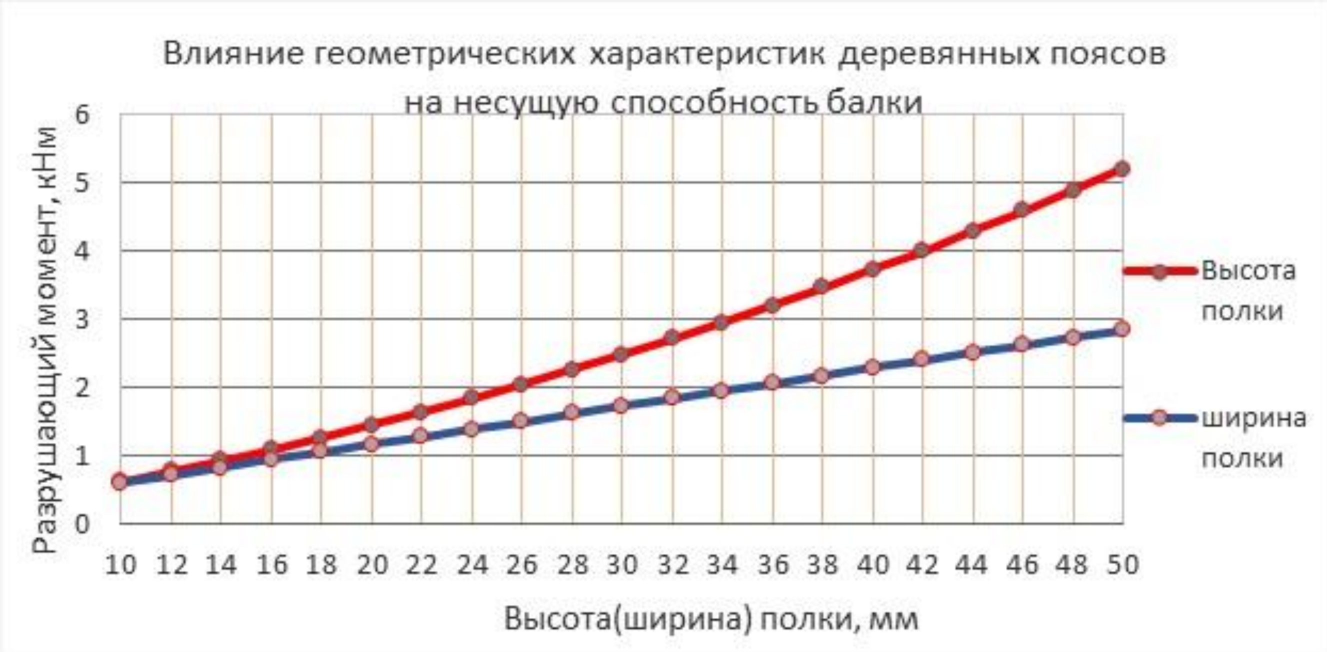
5. Подбор эффективного сечения комбинированной балки

Исходя из расчёта и экспериментальных исследований, разрушение балок происходит в деревянных поясах, где разрушающий момент значительно меньше, чем в стенке, поэтому, для увеличения несущей способности балок следует изменять геометрические характеристики деревянных поясов. Характеристики стенки на несущую способность влияют незначительно (Фиг.11,12). Более значительное влияние на несущую способность оказывает увеличение геометрических параметров деревянных поясов, наибольшее влияние оказывает увеличение высоты (Фиг.13). При увеличении ширины полки на 17% мм, значение разрушающего момента увеличивается в среднем на 8%, а при увеличении высоты полки на 25% – в среднем на 16%.



Фиг. 11 – График зависимости разрушающего момента от высоты стенки

Фиг. 12 – График зависимости разрушающего момента от толщины стенки



Фиг. 13 – График зависимости разрушающего момента от ширины и высоты полки

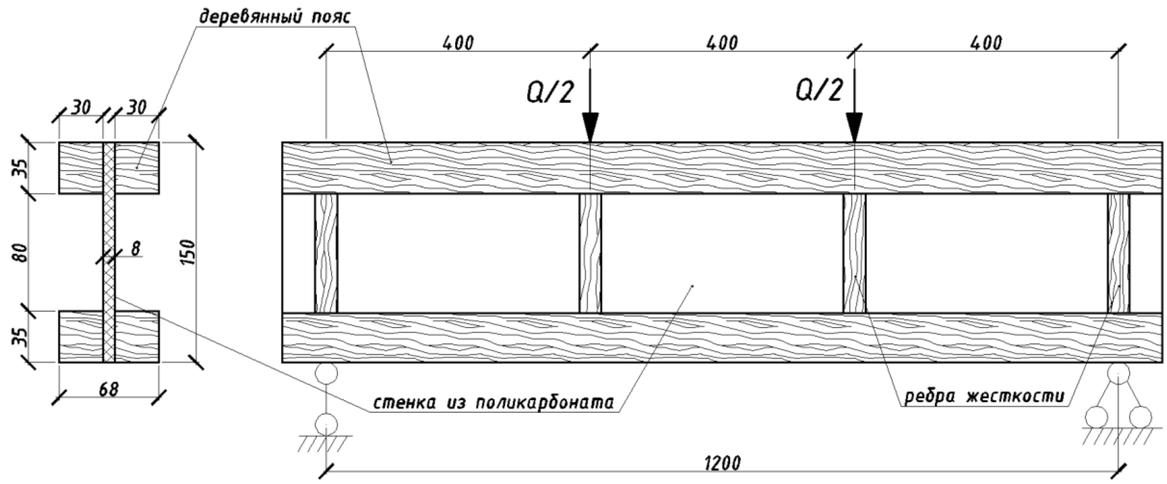
Для увеличения несущей способности комбинированных балок со стенкой из поликарбоната и деревянных поясов, необходимо увеличивать геометрические параметры поясов балки.

В качестве материала поясов балки будем использовать клееную древесину класса GL36h и цельную древесину класса С40.

Следует учитывать конструктивные требования при проектировании балок таврового сечения [3]:

- высота балки назначается в пределах $h = (1/8 \div 1/10)\times L$;
- высота пояса зависит от общей высоты $h_f = (1/6 \div 1/10)\times h$;

Учитывая конструктивные требования и проведенные теоретические исследования, оптимальное поперечное сечение комбинированной балки пролётом $L = 1200$ мм со стенкой из поликарбоната, представляет собой (Фиг.14): общая высота балки – $h_{тр} = 1200/8 = 150$ мм, высота пояса – $h_{f,тр} = 150/6 = 35$ мм, хотя по конструктивным требованиям данная высота ограничена 25 мм.



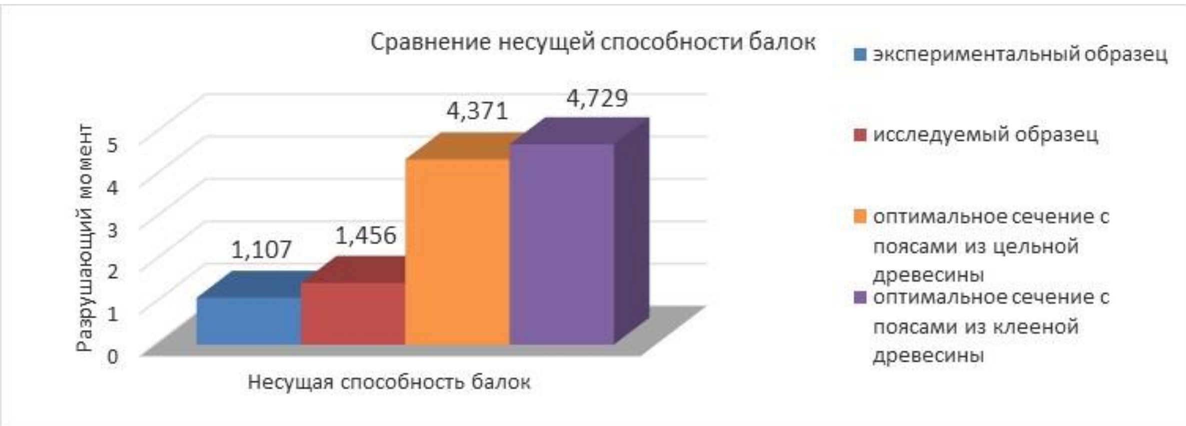
Фиг. 14 – Оптимальное сечение двутавровой комбинированной балки со стенкой из поликарбоната

6. Анализ результатов

Определим несущую способность балок с оптимальным сечением. Разрушающий момент балки с поясами из цельной древесины равен $M_d = 4{,}371$ кНм, что больше на 200,6%, чем у расчётной балки ($M_d = 1{,}454$ кНм). Разрушающий момент балки с поясами из клееной древесины равен $M_d = 4{,}729$ кНм, что больше на 225,2%, чем у расчётной балки ($M_d = 1{,}454$ кНм).

Сравним полученные значения несущей способности с экспериментальным значением несущей способности комбинированной балки со стенкой из поликарбоната и деревянными поясами [4]. Разрушающий момент балки M=1,107 кНм.

Сравнение полученных результатов экспериментальной и расчетных балок (Фиг.15).



Фиг. 15 – Сравнение разрушающих моментов экспериментальной и расчетных балок

7. Заключение

Значение расчетного момента балки с поясами из цельной древесины класса С40 меньше, чем с поясами из клееной древесины класса GL36h, а также клееная древесина обладает рядом преимуществ в сравнении с цельной древесиной: прочность выше до 50…70%, неизменяемые со временем и изменением влажности размеры, отсутствие дефектов, увеличенная способность к воздействиям нагрузок [9]. Эти факторы позволяют сделать вывод, что балки с поясами из клееной древесины являются более прочными, однако, для определения фактической несущей способности требуются дальнейшие экспериментальные исследования.

8. Использованная литература

[1] *Атлас деревянных конструкций /* ***К.-Г Гётц, Д. Хоор, К. Мёлер, Ю. Наттерер****, пер. с нем. Н.И. Александровой, под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с., ил. – Перевод изд.: Holzabu Atlas / K-H Gųtz, D. Hoor, K. Mųhjer, J. Natterer. – Munchen, 1978.*

[2] ***Серов, Е. Н.*** *Клееные деревянные конструкции: состояния и проблемы развития / Е. Н. Серов, Б. В. Лабудин // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2013. – № 2 (332). – С. 56–62.*

[3] ***Калугин, А. В.*** *Деревянные конструкции / А. В. Калугин. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2003. – 223 с.*

[4] ***Рудая А.Н.*** */ Исследование работы комбинированных балок с деревянными поясами: магистерская диссертация / А.Н. Рудая – ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, 2020. – 41 с.*

[5] *Design of timer structures. Structural aspects of timber construction. Volume 1, Swedish Forest Industration, 2016*

[6] *Design of timer structures. Rules and formulas according to Eurocode 5. Volume 2, Swedish Forest Industration, 2016*

[7] *Design of timer structures. Examples. Volume 3, Swedish Forest Industration, 2016*

[8] *ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250). Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий [Текст]; введ. 10.12.2009. - Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь: Минстройархитектуры, 2009. - 106 с.*

[9] ***Никифоров Е.П.*** *Клееная древесина: технология изготовления, свойства, преимущества и недостатки, области применения // Современные научные исследования и инновации. 2019. № 7 [Электронный ресурс]. URL: http://web.snauka.ru/issues/2019/07/89933 (дата обращения: 19.05.2020)*

[10] ***Blyberg, L.*** *Timber-Glass adhesively bonded i-beams / L. Blyberg, E. Serrano / Linnaæus University, School of engineering. – 2010. – P. 10.*