



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2012, ТОМ 8, НОМЕР 2, 99–106

УДК 624.97.014.2

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДЕНОЇ ДЕРЕВ'ЯНОЇ БАЛКИ, ЩО ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ БУДИНКІВ ЗА КАРКАСНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

О. В. Сінцов

*Національна академія природоохоронного і курортного будівництва,
вул. Павленко, 5, м. Сімферополь, АР Крим, Україна, 95006.*

E-mail: sin59@bk.ru

Отримана 12 квітня 2012; прийнята 25 травня 2012.

Анотація. Основою будинків, побудованих за дерев'яно-каркасною технологією, є двотаврова балка, виготовлена в заводських умовах з дерев'яного клеєного бруса і плити OSB (oriental strand board). Висока механічна міцність і стійкість до зовнішніх дій (у тому числі вологи) дозволяє використати OSB у будь-якій сфері господарської діяльності. Складені стержні з деревини є особливим типом конструкцій, характер роботи яких якісно відрізняється від подібних стержнів з інших будівельних матеріалів. Їх специфіка полягає в тому, що механічні зв'язки, що з'єднують окремі шари, є податливими. Це вносить істотні особливості при розрахунку таких конструкцій. Стаття присвячена дослідженням напружено-деформованого стану складених дерев'яних балок із стінкою з орієнтовано-стружкової плити (ВІСПІ). Представлено конструктивні рішення складеної балки і результати експериментальних і чисельних досліджень її роботи під навантаженням.

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

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВНОЙ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ ПО КАРКАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А. В. Синцов

*Национальная академия природоохранный и курортного строительства,
ул. Павленко, 5, г. Симферополь, АР Крым, Украина, 95006.*

E-mail: sin59@bk.ru

Получена 12 апреля 2012; принята 25 мая 2012.

Аннотация. Основой домов, построенных по деревянно-каркасной технологии, является двутавровая балка, изготовленная в заводских условиях из деревянного клееного бруса и плиты OSB (oriental strand board). Высокая механическая прочность и устойчивость к внешним воздействиям (в том числе влаги) позволяет использовать OSB в любой сфере хозяйственной деятельности. Составные стержни из древесины представляют собой особый тип конструкций, характер работы которых качественно отличается от подобных стержней из других строительных материалов. Их специфика заключается в том, что механические связи, соединяющие отдельные слои, являются податливыми. Это вносит существенные особенности при расчете таких конструкций. Статья посвящена исследованиям напряженно-деформированного состояния составных деревянных балок со стенкой из ориентировано-стружечной плиты (ОСП). Представлено конструктивное решение составной балки и результаты экспериментальных и численных исследований ее работы под нагрузкой.

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

NUMERICAL STUDY OF THE ELEMENTS OF COMPOSITE WOODEN BEAMS USED IN CONSTRUCTION OF BUILDINGS ON FRAME TECHNOLOGY

Alexander Sintsov

*National Academy of Environmental Protection and Resort Development,
5, Pavlenko Str., Simferopol, Crimea, Ukraine, 95006.
E-mail: sin59@bk.ru*

Received 12 April 2012; accepted 25 May 2012.

Abstract. Basis of the houses built on wooden-framework technology is the flange beam made in plant terms from the wooden glued squared beam and flag of OSB (oriental strand board). High mechanical durability and stability to external influences (including moistures) allow to use OSB in any sphere of economic activity. Component bars from wood are the special type of constructions, character of work of that qualitatively differs from similar bars from other building materials. Their specific consists in that mechanical connections connecting separate layers are pliable. It brings in substantial features at the calculation of such constructions. The article is sanctified to researches of the tensely-deformed state of component wooden beams with a wall from a ориентировано-стружечной flag (POXES). The structural decision of component beam and results of experimental and numeral researches of her work are presented on-loading.

Keywords: component wooden beam, belts from wood, flag of OSB, method of eventual element, calculation model.

Постановка задачи

Современный опыт малоэтажного строительства в нашей стране и за рубежом показывает, что наибольшим спросом на рынке недвижимости пользуются строительные конструкции, выполненные из экологически чистых материалов, в частности из цельной древесины [3, 12, 18].

Составные стержни из древесины представляют собой особый тип конструкций, характер работы которых качественно отличается от подобных стержней из других строительных материалов. Их специфика заключается в том, что механические связи, соединяющие отдельные слои, являются податливыми. Это вносит существенные особенности при расчете таких конструкций [4, 7, 8, 14].

В 80-х годах XX века, когда в Японии только начинали строиться первые деревянно-каркасные дома, консервативное население этой страны неохотно их приобретало. Однако, после крупного землетрясения в Киото, которое обернулось настоящей катастрофой для населения Японии, каркасные дома остались одними из немногих зданий, которые не подверглись разрушению, доказав тем самым полную безопасность для проживающих в них людей и прочность своей конструкции. С тех пор более 75 % населения

Японии выбирают именно деревянно-каркасные дома [18].

Основой домов, построенных по деревянно-каркасной технологии, является двутавровая балка, изготовленная в заводских условиях из деревянного клееного бруса и плиты OSB (oriental strand board) или ОСП (ориентировано-стружечная плита). Высокая механическая прочность и устойчивость к внешним воздействиям (в том числе влаги) позволяет использовать OSB в любой сфере хозяйственной деятельности. Для изготовления OSB используется



Рисунок 1. Двухэтажное здание с деревянным каркасом.

тонкомерная и неделовая древесина хвойных пород, быстрый рост которых обеспечивает получение недорогого сырья [5, 6].

Одним из путей снижения трудовых и материальных затрат является широкое применение в малоэтажном строительстве составных деревянных индустриальных конструкций с использованием нагельных соединений. Для применения в качестве несущих элементов каркаса были разработаны двутавровые и коробчатые деревянные балки, в которых соединение деревянных поясов со стенкой из OSB выполнено металлическими нагелями – анодированными саморезами. Такие деревянные балки – конструкционный элемент, применяемый для строительства домов по каркасной технологии, устройства перекрытий, конструкций крыш и мансард. Формула «дерево + OSB + дерево» позволяет избежать недостатков, присущих древесине, а благодаря двутавровому и коробчатому сечениям достигаются высокие прочностные характеристики элемента [6, 10, 11, 13].

Цель расчета

С целью получения информации о напряженно-деформированном состоянии элементов составной деревянной балки разработана модель двутавровой балки, изготовленной из деревянного бруса – пояса и плиты OSB – стенка, соединение поясов со стенкой – стальные нагели (рис. 2) [1, 2, 10].

Для численных исследований были созданы компьютерные модели составных балок в программном комплексе «Лира», возможности которого позволяют по результатам расчета при отображении напряженно-деформированного состояния объекта произвести детальный анализ полученных данных по полям перемещений и напряжений, по эпюрам усилий и прогибов, по мозаикам разрушения элементов, по главным и эквивалентным напряжениям и по многим другим параметрам [20].

Расчетная модель составной балки (рис. 2) с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах создана из пластинчатых элементов. Жесткостные характеристики элементов балки приняты – для поясов сечением $h_n = 35$ мм и $b = 80$ мм – дерево сосна 2-го сорта, для стенки – плита OSB толщиной $\delta = 10$ мм и

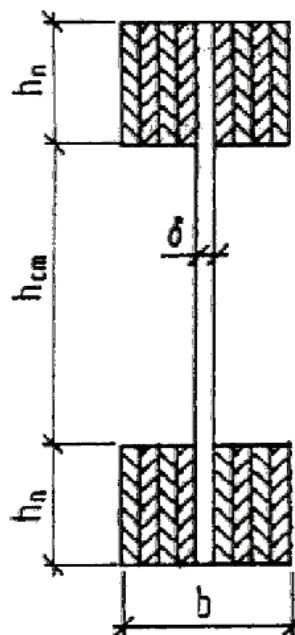


Рисунок 2. Поперечное сечение составной балки.

высотой $h_{cm} = 180$ мм, стальные нагели диаметром 6 мм [9, 7, 15, 19].

Расчетная схема балки – балка на двух опорах нагруженная сосредоточенной силой в середине пролета. Размеры элементов расчётной модели приняты по осям конструктивных элементов [4, 16–18].

Первоначально в качестве основного элемента для создания расчетной модели принят конечный элемент 41 – элемент для создания оболочки и прочих пластинчатых конструкций, металлические нагели также создавались на основе данного конечного элемента [20].

Задача решалась в упругой и нелинейной постановках, при этом элементам 41 присваивалась жесткость 241, которая позволяла учитывать закон деформирования материалов элементов составной двутавровой балки со стенкой из плиты OSB. Для определения характеристик плиты OSB были предварительно проведены экспериментальные исследования по определению механических характеристик – модуля упругости и коэффициента Пуассона по разным направлениям – вдоль волокон, поперек волокон и под углом 45° [5, 9, 15].

Результаты расчета

Результаты численных исследований в виде эпюр и изополей нормальных напряжений s_x

представлены на рис. 3, 4, 5. По величине нормальные продольные напряжения s_x в стенке в месте приложения нагрузки в пролете достигают максимальных сжимающих значений $s_x = 7,987$ МПа у верхнего пояса и максимальных растягивающих значений $s_x = 4,276$ МПа у нижнего пояса. Как видно из мозаики, наибольшие значения напряжений располагаются в стенке вокруг стального нагеля $s_x = -55...-62,7$ МПа, что многократно превышает расчетное сопротивление материала стенки. Вследствие этого в местах расположения стальных нагелей возможно смятие материала стенки и изгиб стальных нагелей.

Результаты численных исследований в виде эпюр и изополей нормальных поперечных напряжений s_y представлены на рис. 5, 6. По величине нормальные поперечные напряжения s_y в стенке

в опорном сечении достигают максимальных сжимающих значений $s_y = -9,929$ МПа в области нижнего пояса, а в месте приложения внешней нагрузки $s_y = -12,77$ МПа.

Касательные напряжения представлены на рис. 7, 8 и имеют максимальные значения в опорном сечении в стенке в нижней ее части у нижнего пояса и достигают величины $\tau_{xy} = -6,087$ МПа. По мере удаления от опорного сечения эпюра касательных напряжений выравнивается и принимает привычный вид и на расстоянии 10 см от опорного сечения величина $\tau_{xy} = -3,44$ МПа, на расстоянии 24 см от опорного сечения величина $\tau_{xy} = -3,08$ МПа.

Результаты численного эксперимента при нелинейном нагружении представлены картиной возможного разрушения и отображены на рис. 9.

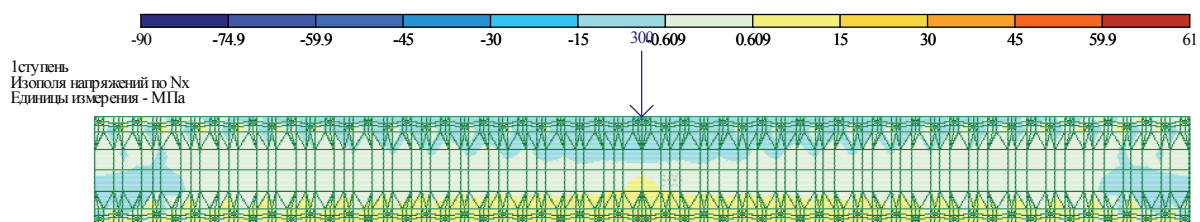


Рисунок 3. Изополя нормальных продольных напряжений s_x в стенке составной балки.

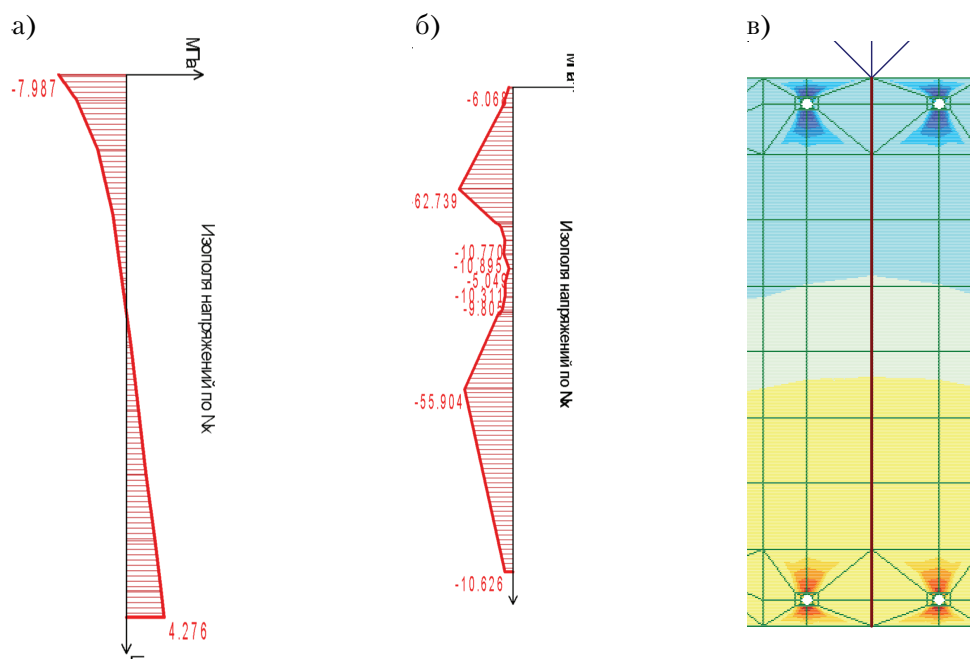


Рисунок 4. Эпюры и изополя нормальных продольных напряжений s_x в стенке балки в сечении, совпадающем с линией действия внешней силы (а, в), в стенке балки на участках, расположенных вокруг стального нагеля (б).

По характеру распределения напряжений в элементах балки можно сказать следующее:

- нормальные продольные напряжения s_x в стенке достигают максимальных сжимающих значений $s_x = -7,987$ МПа у верхнего пояса в месте

приложения нагрузки в пролете, приближаясь по значению к расчетному сопротивлению материала стенки. Однако из эпюр нормальных напряжений наибольшие значения напряжений располагаются в стенке вокруг стального

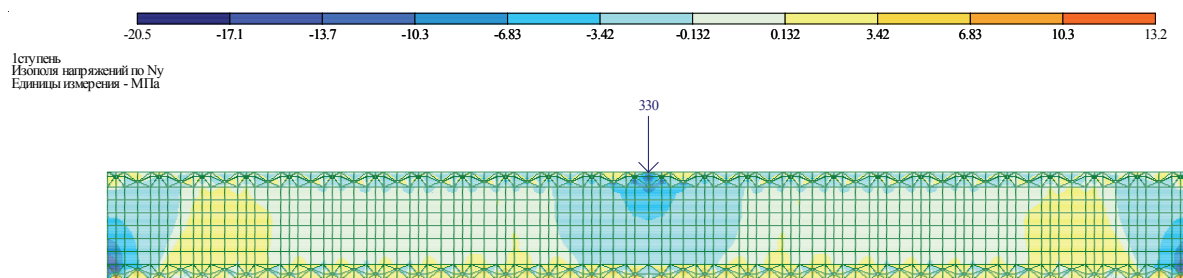


Рисунок 5. Изополюс нормальных поперечных напряжений s_y в стенке составной балки.

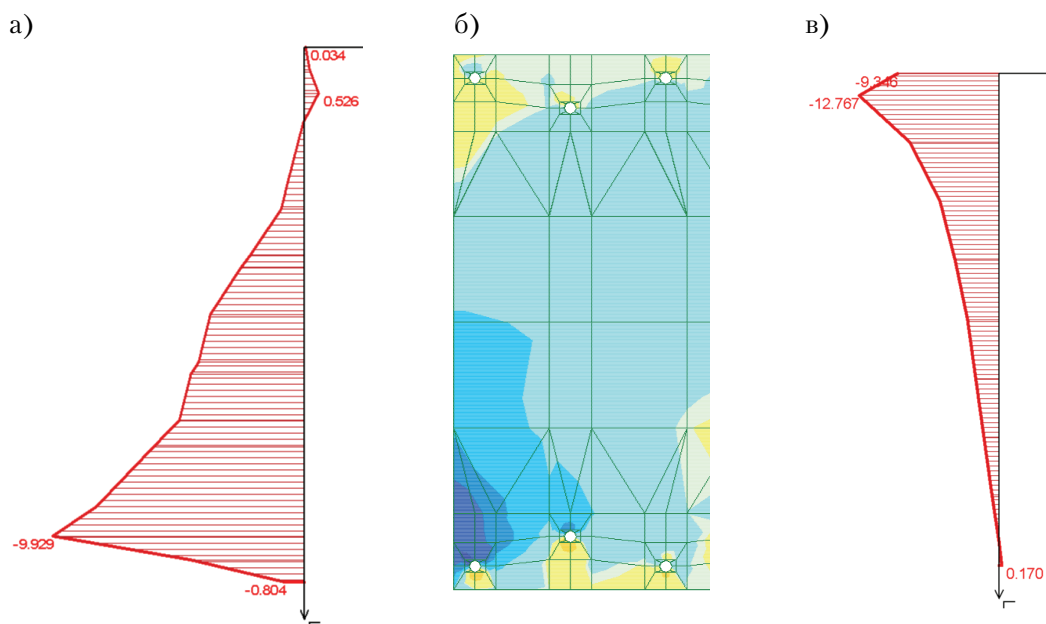


Рисунок 6. Эпюры и изополюс нормальных поперечных напряжений s_y в опорном сечении стенки балки (а, б), а также в пролете в сечении, совпадающем с линией действия внешней силы (в).

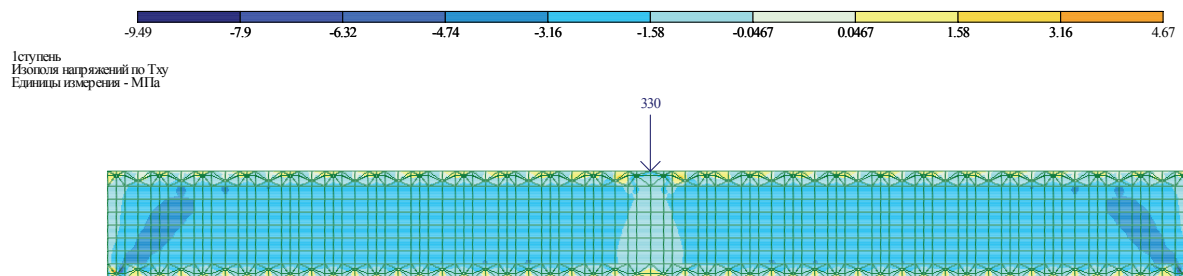


Рисунок 7. Изополюс касательных напряжений τ_{xy} в стенке составной балки.

нагеля и составляют $s_x = -55 \dots -62,7$ мПа, что многократно превышает расчетное сопротивление материала стенки;

- нормальные поперечные напряжения s_y в стенке достигают в опорном сечении максимальных сжимающих значений $s_y = -9,929$ мПа в области нижнего пояса, а в месте прило-

внешней нагрузки $s_y = -12,77$ мПа, приближаясь по значению к расчетному сопротивлению материала стенки;

- касательные напряжения достигают максимального значения $\tau_{xy} = -6,087$ мПа в опорном сечении в стенке в нижней ее части у нижнего пояса. По мере удаления от опорного сечения

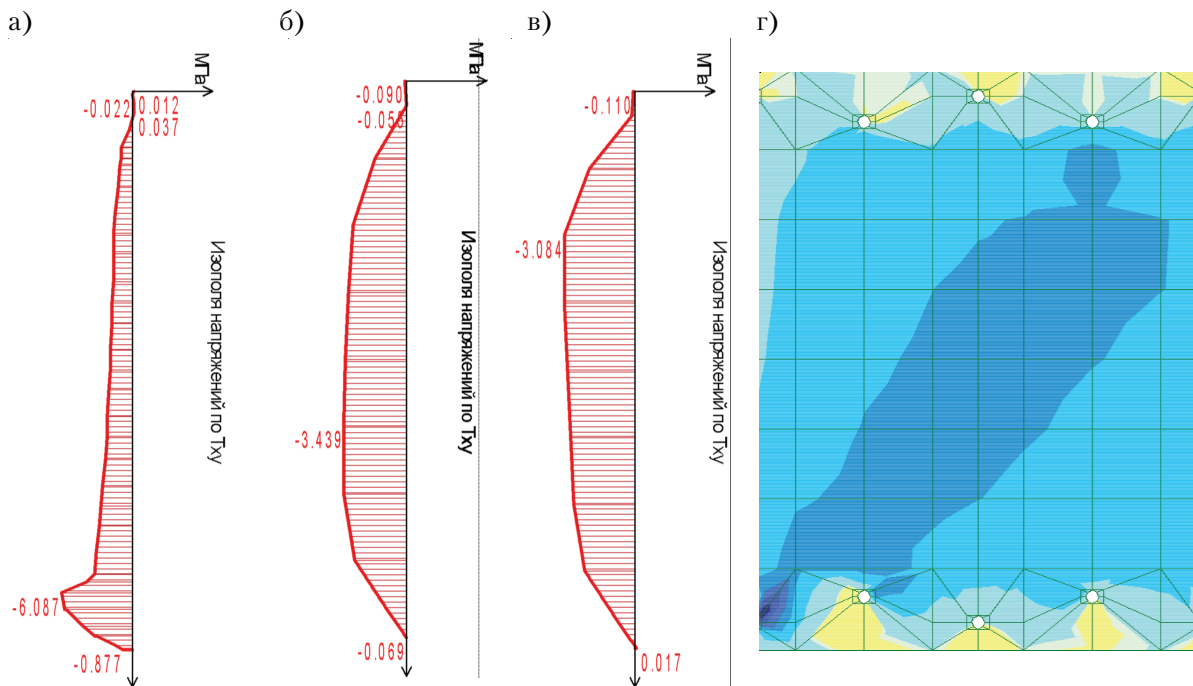


Рисунок 8. Эпюры касательных напряжений τ_{xy} в опорном сечении стенки (а), на расстоянии 10 см от опорного сечения (б), на расстоянии 24 см от опорного сечения (в), изополя напряжений τ_{xy} в стенке балки в приопорном отсеке (г).

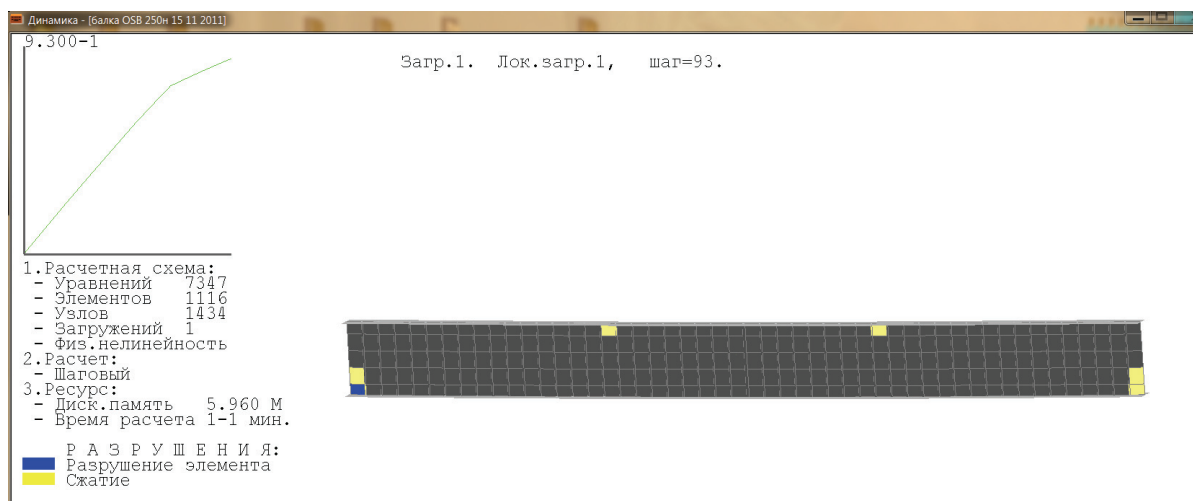


Рисунок 9. Картина возможного разрушения стенки в местах приложения внешней нагрузки (случай нагружения двумя силами) и опорных сечениях.

эпюра касательных напряжений выравнивается, величина напряжений составляет $\tau_{xy} = -3,44... - 3,08$ МПа, что ниже уровня продольных и поперечных нормальных напряжений в элементах стенки в 2–4 раза.

Вывод

Численные исследования показали распределение напряжений в элементах балки по длине и

по сечению, а также возможные участки разрушения одного из элементов составной деревянной балки – стенки из OSB, соединенной с поясами металлическими нагелями. Учитывая, что прочность стенки из OSB несколько ниже прочности полок, выполненных из древесины, при расчете и конструировании балок такого типа необходимо усилить опасные участки стенки введением деревянных ребер либо увеличением толщины стенки наклейкой дополнительных листов OSB.

Литература

1. ДБН В.2.6.-161:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення [Текст]. – На заміну СНиП II-25-80 ; чинні від 2011-09-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 106 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 61 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів).
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
4. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст]: Учебное пособие для вузов / Под редакцией проф. В. А. Иванова. – К.: Высшая школа, 1981. – 392 с.
5. EN 300:2006. Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications [Текст]. – London: British Standards Institution, 2006. – 24 p. – ISBN 0-580-49105-6.
6. ТУ УВ 2.7-22794685-001.2005. Двухтавровые деревянные балки. Технические условия [Текст]. – Одесса: ООО «ПОЛ и К», 2005. – 35 с.
7. Турков, А. В. Анализ работы составной балки при усилении строительных конструкций [Текст] / А. В. Турков, П. А. Гвозков // Изв. ОрелГТУ. Сер. «Стр.-во. Транспорт». – 2007. – № 1/13 (529). – С. 26–28.
8. Коробко, В. И. Коэффициент жесткости составных балок, имеющих возможность свободного сдвига по контактной поверхности [Текст] / В. И. Коробко, А. В. Турков, П. А. Гвозков // Проблемы обеспечения безопасности строительного фонда России: материалы III международных академических чтений 20–22 мая 2004 г. / Под ред. С. И. Меркулова. – Курск: КГТУ, 2004. – С. 116–120.
9. Стоянов, В. В. Экспериментальные исследования двухтавровых деревянных 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.
10. Пат. на корисну модель № 42078 Україна, МПК E04C 3/12 (2006.01). Балка складена [Текст] / В. П. Сінцов, В. О. Митрофанов, О. В. Сінцов ;

References

1. DBN B.2.6.-161:2010. The constructions of buildings and structures. Design of timber structures. Common rules. Kyiv: Ministry of Regional Civil Engineering of Ukraine, 2011. 106 p. (in Ukrainian)
2. DBN B.1.2-2:2006. National Building Specifications. Reliability guarantee system and safety of structural objects. Load and effect. Designing standards: Kyiv: Ministry of Regional Civil Engineering of Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
3. Textbook in structural timber design. (to SNiP II-25-80). Moscow: Stroizdat, 1986. 216 p. (in Russian)
4. Ivanov, V. A. (Ed.). Wood and plastic constructions. Textbook. Kyiv: High school, 1981. 392 p. (in Russian)
5. EN 300:2006. Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications. London: British Standards Institution, 2006. 24 p. ISBN 0-580-49105-6. (in Russian)
6. TU UV 2.7-22794685-001.2005. Wood beams. Odessa: ООО «POLiK», 2005. 35 p. (in Russian)
7. Turkov, A. V.; Gvozkov, P. A. Operational analysis of built-up beam in the process of building constructions strengthening. In: *News OrelGTU Series «Construction and Transport»*, 2007, No. 1/13 (529), p. 26–28. (in Russian)
8. Korobko, V. I.; Turkov, A. V.; Gvozkov, P. A. Stiffness ratio of built beams, having free to slide possibility along contact point. In: *«Safety measures problems of engineering fund of Russia»*. Materials of the third international academic readings 20–22nd of May, 2004. Kursk: KSTU, 2004, p. 116–120. (in Russian)
9. Stoianov, V. V. Field researches of standard wood beam. In: *Collection of scientific papers «Modern wood and steel building constructions»*. Odessa: OSASEA, 2005, part 1, p. 208–213. (in Russian)
10. Sintsov, V. P.; Mitrofanov, V. O.; Sintsov, O. V. Well-made beam. Patent No. 42078 Ukraine. No. u 200815149; declaration 29.12.2008; published 25.06.2009, Bul. No. 12. 2 p. (in Ukrainian)
11. GOST 9622-87. Laminated glued wood. Methods for determination of ultimate strenght and modulus of elasticity in tension. Moscow: IPK, 1988. 6 p. (in Russian)
12. Lisenko, L. M. Wood in architecture. Moscow: Stroizdat, 1984. 176 p. (in Russian)

- Національна академія природоохоронного та курортного будівництва. – № у 200815149 ; заявл. 29.12.2008 ; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12. – 2 с.
11. ГОСТ 9622-87. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при растяжении [Текст]. – Взамен ГОСТ 9622-72 ; введ. 1988-01-01. – М. : ИПК, 1988. – 6 с.
 12. Лисенко, Л. М. Дерево в архитектуре [Текст] / Л. М. Лисенко. – М. : Стройиздат, 1984. – 176 с.
 13. Деревянные конструкции и детали [Текст] / В. М. Хрулев, К. Я. Мартынов, С. В. Лукачев, Г. М. Шутов. – М. : Строительство, 1995. – 384 с.
 14. Ржаницын, А. Р. Расчет составных стержней из неупругого материала с неупругими связями сдвига [Текст] / А. Р. Ржаницын, В. М. Захаров // Строительная механика и расчет сооружений. – 1974. – № 1. – С. 16–18.
 15. Синцов, В. П. К вопросу о работе соединений деревянных брусков с листами OSB [Текст] / В. П. Синцов // Современные строительные конструкции из металла и древесины : Сб. науч. трудов / Одес. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Одесса : ОГАСА, 2011. – № 15, Ч. 3. – С. 203–208.
 16. Lewicki, B. Budynki mieszkalne z prefabrykatow wielkowy miarowych [Текст] / B. Lewicki. – Warszawa : [s. n.], 1964. – 602 s.
 17. Rosman, R. Statics of Non-symmetric Shearwall Structures [Текст] / R. Rosman // Proc. Inst. of Civil Eng. – 1971. – Volume 49, Issue 3. – P. 211–244.
 18. Ярцев, В. П. Построечные деревянные конструкции [Текст] : Учеб. пособие / В. П. Ярцев. – М. : МИХМ, ТИХМ, 1988. – 88 с.
 19. Бондин, В. Ф. О прочности на сдвиг клеевых соединений стальных стержней с древесиной [Текст] / В. Ф. Бондин, Ю. Б. Вылегжанин // Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1976. – № 11. – С. 20–24.
 20. Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций [Текст] / М. С. Барабаш, Ю. Д. Гераймович, А. Н. Кекух [и др.] ; Под ред. Академика РААСН А. С. Горюцкого. – К. : Факт, 2006. – 112 с.
 21. Hrulev, V. M.; Martynov, K. Ya.; Lukachev, S. V.; Shutov, G. M. Wood constructions and materials. Moscow: Construction, 1995. 384 p. (in Russian)
 22. Rzhantsyn, A. R.; Zaharov, V. M. Analysis of compound rods made of rigid material with rigid bracing of offsetting. In: *Building mechanics and construction analysis*, 1974, No. 1, p. 16–18. (in Russian)
 23. Sintsov, V. P. On the question about blocking lumber bondings. In: *Collection of scientific papers «Modern wood and steel building construction»*. Odessa: OSASEA, 2011, No. 15, part 3, p. 203–208. (in Russian)
 24. Lewicki, B. Budynki mieszkalne z prefabrykatow wielkowy miarowych. Warszawa, 1964. 602 s.
 25. Rosman, R. Statics of Non-symmetric Shearwall Structures. In: *Proc. Inst. of Civil Eng.*, 1971, Volume 49, Issue 3, p. 211–244.
 26. Yartsev, V. P. Building wood constructions. Textbook. Moscow: MIHM, TIHM. 1988. 88 p. (in Russian)
 27. Bondin, V. F.; Vylegzhanin, Yu. B. About reliability to offsetting of adhesive joint of steel rods with felled timber. In: *Institute news. Series. Civil engineering and architecture*, 1976, No. 11, p. 20–24. (in Russian)
 28. Barabash, M. S.; Geraimovich, Yu. D.; Kekuh, A. N. et al. Ed. A. S. Gorodetskii. Application programs for automated engineering of constructions. Kyiv: Fakt, 2006. 112 p. (in Russian)

Синцов Олександр Володимирович – асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Національної академії природоохоронного і курортного будівництва. Наукові інтереси: складені балки, каркаси малоповерхових будівель при сейсмостійкому будівництві, опорні конструкції морських сталевих стаціонарних платформ.

Синцов Александр Владимирович – ассистент кафедры металлических и деревянных конструкций Национальной академии природоохранного и курортного строительства. Научные интересы: составные балки, каркасы малоэтажных зданий при сейсмостойком строительстве, опорные конструкции морских стальных стационарных платформ.

Alexander Sintsov – an assistant of Metallic and the Wooden Constructions Department of the National Academy of Environmental Protection and Resort Development. Scientific interests: composite beams, frames with low-rise buildings earthquake engineering, steel support structures offshore stationary platforms.