

**УДК 624.011**

**ПОШУК НЕБЕЗПЕЧНОГО МІСЦЯ В ПРИОПОРНИХ ЗОНАХ БАЛОК  
З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ**

**ПОИСК ОПАСНОГО МЕСТА В ПРИОПОРНИХ ЗОНАХ БАЛОК ИЗ  
КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

**SEARCH DANGEROUS PLACE AT THE SUPPORT ZONES OF  
LAMINATED WOOD BEAMS**

**Михайловський Д.В., к.т.н., доцент** (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ), **Буряк А.О., аспірант** (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

**Михайловський Д.В., к.т.н., доцент** (Киевський національний університет строительства и архитектуры, г. Киев), **Буряк А.А., аспірант** (Киевський національний університет строительства и архитектуры, г. Киев)

**Mykhailovskiy D.V., candidate of technical sciences, docent** (Kyiv national University of construction and architecture, Kiev), **Buryak A.A., post-graduate student** (Kyiv national University of construction and architecture, Kiev)

**Проведено аналіз складного напруженого стану приопорних зон балок з клеєної деревини. Приведені рекомендації по пошуку небезпечного місця, де спостерігається особливо небезпечний складний напружений стан.**

**Проведен анализ сложного напряженного состояния приопорных зон балок из клееной древесины. Приведены рекомендации по поиску опасного места, где наблюдается особо опасное сложное напряженное состояние.**

**The analysis of complex stress state at the support zones of laminated wood beams. The recommendations on finding dangerous places, where there is a particularly dangerous complex stress state.**

**Ключові слова:**

Клеєна, деревина, балки, приопорні, зони, складний напружений стан.

Клееная, древесина, балки, приопорные, зоны, сложное напряженное состояние.

Laminated, wood, beams, support, zones, complex stress state.

**Вступ.** Деревина, як один з основних конструкційних матеріалів набуває все ширшого розповсюдження в багатьох країнах Європи та і всього світу [1].

Це стосується не тільки традиційних малоповерхових будівель, з незначною довжиною основних елементів, а і великопрольотних будівель і споруд різноманітного призначення.

Особливого розповсюдження набувають сучасні конструкції з клеєної деревини (ККД). Клеєна деревина ефективно акумулює в собі позитивні властивості деревини як конструкційного матеріалу, насамперед, відносно високу міцність і дозволяє в значній мірі нівелювати недоліки цільної деревини.

**Постановка проблеми.** В зонах вузлових з'єднань ККД спостерігається одночасна дія не тільки нормальних напружень вздовж волокон та дотичних (сколюючих), а й особливо небезпечних для деревини, нормальних напружень поперек волокон. Одночасна дія різних напружень в одному перерізі елемента характеризується як складний напружений стан (СНС) матеріалу. Донедавна, врахування СНС не містилось в жодних нормативних документах по проектуванню дерев'яних конструкцій, за виключенням [2].

**Цілі статті.** Основна мета данної публікації полягає в уточненні методики розрахунку балок з урахуванням дійсного напруженого стану клеєної деревини в зоні, де діють спільно нормальні напруження вздовж і поперек волокон деревини та сколюючі напруження.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі:

1. Простежено еволюцію по питанню розрахунку, випробуванню балочних конструкцій.
2. Встановлено, за чисельними дослідженнями, дійсне місце, де спостерігається СНС і умова міцності не виконується.

**Виклад основного матеріалу.** В сучасному будівництві поряд із залізобетонними, металевими конструкціями, штучними композитами знаходять застосування інженерні конструкції з такого традиційного матеріалу, як деревина. Дерев'яні конструкції в ряді випадків не поступаються своїми технічними властивостями вищевказаним, забезпечують можливість перекриття великих прогонів будівель і споруд, вирізняються технологічністю, а при відповідній обробці мають необхідну вогнетривкість, опір біокорозії й, відповідно, достатню надійність та довговічність. Деревина за своїми властивостями й структурою є природним композиційним матеріалом, і саме її цілеспрямоване використання в сучасних будівельних конструкціях спричинило виникнення теорій їх розрахунку.

Дослідження в галузі дерев'яних конструкцій умовно можна поділити на два напрями: перший – вивчення властивостей деревини як матеріалу; другий – розвиток теоретичних уявлень щодо розрахунку конструкцій із деревини на основі її властивостей.

Одним з узагальнених результатів дослідження властивостей деревини є визначення характеристик її анізотропії. Слід зазначити, що розрахунки елементів дерев'яних конструкцій, як основних елементів різноманітних

балкових систем, із використанням теоретичних положень технічної теорії, основаної на гіпотезі плоских перерізів, потребують уточнення, а у деяких випадках виявляються непридатними. Необхідно враховувати анізотропію деревини, яка значно підвищує вплив депланації перерізів унаслідок деформацій поперечних зсувів. Теоретичні моделі, що враховують депланаційні особливості деформування, значною мірою розроблені як загальні положення розрахунку анізотропних штучних композитних брусів.

Розвиток цих моделей та їх використання при дослідженні дерев'яних балкових систем є актуальним завданням в проєктуванні і конструюванні будівельних конструкцій. Відомі методи розрахунку, у тому числі й нормативні, не дають повної відповіді на питання визначення параметрів деформування балок з різноманітною формою перерізу та ускладненою структурною його будовою, зі змінною за довжиною жорсткістю при різних крайових умовах. Широке застосування, особливо за кордоном, обробки поверхонь та модифікації деревини полімерними матеріалами створює неоднорідну композитну структуру деревини з різними фізико-механічними властивостями, що також потребує нових, більш достовірних і надійних методів розрахунку.

З викладеного постає актуальне завдання розроблення методики розв'язування задач поперечного згину дерев'яних балок як із постійною, так і з кусково- й лінійно-змінною за довжиною жорсткістю, оцінки їх деформативності на основі моделі напружено-деформованого стану (НДС), що враховує вплив поперечних сил та як наслідок зсувних депланацій перерізів.

У другій половині XIX ст. в різних країнах світу уточнювалися розрахунки балок. Російські інженери багато зробили для розвитку теорії їх розрахунку і практичного застосування. Так, у 1844-1848 рр. Д. І. Журавський, займаючись будівництвом дерев'яних мостів, зауважив, що в прямокутних балках в зоні нейтральної осі з'являються дотичні напруження, і дав формулу для їх обчислення, яка застосовується і в наш час.

Елементи ККД масового застосування найчастіше працюють на згин або стиск зі згином, тобто знаходяться в умовах складного напружено-деформованого стану (НДС). Тому найбільший практичний інтерес

стан клеєної деревини визначено як складний напружений стан (СНС), який характеризується різним сполученням в небезпечному місці нормальних, дотичних і поперечних напружень, при якому міцність матеріалу різко знижується.

Дослідження [3, 10, 11] показали, що плоский напружений стан в сучасних клеєних балках досягає граничного значення, в першу чергу в приопорних зонах (рис. 1).

Небезпечна зона витягнута вздовж балки і зазвичай починається на відстані від осі опори приблизно на  $0,5h_{оп}$ , закінчується при рівномірно розподіленому навантаженні на координаті  $x \approx 2,7h_{оп}$ . В поперечному напрямі (по осі  $y$ ) вона розвинена у бік розтягнутого краю і має приблизно такі координати:  $y^+ \approx 0,15 \dots 0,2h_{оп}$ ,  $y^- \approx 0,05 \dots 0,1h_{оп}$ . Небезпечка появи граничного стану на початку координат більш вірогідна. Вона плавно зменшується при віддаленні точок від опори і «нейтрального» шару.

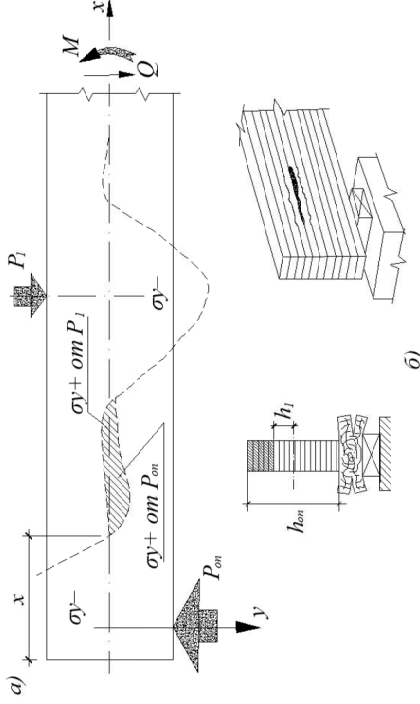


Рис. 1 Приклади виникнення нормальних напружень, розтягуючих деревину поперек волокон: а - схема розподілу  $\sigma_y$  в приопорній зоні балки (на «нейтральному» шарі); б - відрив деревини поперек волокон в околицях зосереджених сил

При зосереджених вантажах зона небезпечної плоского напруженого

до вимог СНІП П-25-80 і Пособника до нього. Іому на сьогоднішні дні оцінку міцності напруженого стану доцільніше виконувати враховуючи квадратичні форми умови міцності за ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012:

- (I) при дії нормальних напружень від згину ( $\sigma_m$ ), сколюючих ( $\tau$ ) та напружень розтягу попереку волокон ( $\sigma_{t,90}$ ):

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,k}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,k}}\right)^2 \cdot A_{m,d} + \left(\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,k}}\right)^2 \cdot B_{m,d} \leq 1,$$

- (II) при дії нормальних напружень від згину ( $\sigma_m$ ), сколюючих ( $\tau$ ) та напружень стиску попереку волокон ( $\sigma_{c,90}$ ):

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,k}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,k}}\right)^2 \cdot A_{m,c} + \left(\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,k}}\right)^2 \cdot B_{m,c} \leq 1,$$

де  $A_{m,t}$ ,  $B_{m,t}$ ,  $A_{m,c}$ ,  $B_{m,c}$  – коефіцієнти, що враховують анізотропію фізико-механічних властивостей деревини.

Дані перевірки виконуємо до того моменту, поки нерівність не буде виконуватись.

Виконавши відповідні розрахунки було визначено, що при довжині балки  $L=4$  м нерівність не виконується на відстані  $h_1=2...3$  см від нейтральної осі і в інтервалі  $x=0...52$  см від краю опори балки. Решта результатів наведена в табл. 1.

Таблиця 1  
Параметри небезпечного місця в приопорних зонах балок з клеєної деревини

$L$ , м	4(6)	8	10(14)	12	16	18	20
$h_1$ , см	2...3(5)	2...4	5...10	7...12	9...26	7...22	15...28
$x$ , м	0...0,52(0,8)	0...1,05	0...2,1(4,2)	0...4,6	0...4,2	0...4,8	0...4,95

$h_1$ , см – відстань від нейтральної осі балки (рис. 1)

$x$ , м – інтервал від краю опори балки (рис. 1)

**Висновки.** Дане дослідження показало, що умова міцності не виконується на досить великому проміжку по довжині балки і поблизу нейтральної осі балки, особливо при збільшенні прольоту конструкції. І саме в цих місцях ми можемо спостерігати руйнування і розслоювання шарів балки. За чисельними даними встановлено дійсне місце, де спостерігається (СНС) і умова міцності не виконується. В подальшому буде доведена імперативність врахування СНС клеєної деревини для забезпечення надійності конструкцій.

А також планується розроблення інженерної методики розрахунку балок з урахуванням дійсного напруженого стану клеєної деревини в зоні, де діють спільно більше двох нормальних напружень (вздовж і поперек волокон деревини).

1. Михайловский Д. В. Деревина - сучасний будівельний матеріал / Д. В. Михайловский, Р. В. Заець, А. Г. Чубарев // Містобудування та територіальне планування. Наук.-техн. збірник / Відпов. ред. М.М. Осетрін. - К., КНУБА, 2014. - Вип. 52. - 489 с. - С.256-264.
2. Справочное руководство по древесине. Пер. с англ. - М., Лесная промышленность, 1979 - 544 с. Wood HANDBOOK. Wood as an engineering material. By Forest Products Laboratory Forest Service. U. S. Department of Agriculture, 1974. - 544 p.
3. Серов Е. Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: дис. ... Д-р техн. наук / Е. Н. Серов. - Л., 1988.-521 с.
4. Халип А. В. Анизотропия в расчетах прочности клееных деревянных конструкций: учеб. пособие ВКГУ / А. В. Халип. - Усть-Каменогорск, 1997. - 105 с.
5. Космоламанский А. С. Изгиб анизотропной балки под действием равномерной нагрузки / А. С. Космоламанский // Учен. зап. Ростовского гос. ун-та, 1955. Вып. 32, № 4. - С. 75-94.
6. Серов Е. Н. Проблемы совершенствования методов оценки прочности клееных деревянных конструкций / Е. Н. Серов // Расчет и компьютерное проектирование деревянных конструкций. Матер. Всесоюзного семинара. - Владимир-Суздаль, 1991. - С. 17-19.
7. Халип А. В. О разрушении клеесодержащих балок увеличенной высоты / А. В. Халип // Конструкции из клееной древесины и пластмасс: межвуз. темат. сборник трудов ЛИИСИ. - Л., 1979 - С. 19-25.
8. Ашкенази Е. К. Анизотропия конструкционных материалов: Справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. - Л.: Машиностроение, 1980.-247 с.
7. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази. - М.: Лесная промышленность, 1978. - 224 с.
9. Светозарова Е. И. Некоторые вопросы совершенствования клееных деревянных конструкций в процессе изготовления / Е. И. Светозарова Е. Н. Серов, Б. В. Лабулин // Изв. вузов Лесной журнал - Архангельск