

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ БАЛОК З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ КОСОГО ЗГИНУ

STUDY OF THE ELASTIC MODULUS OF GLUE LAMINATED BEAMS UNDER CONDITIONS OF SLANTING BENDING

Павлюк А.П., к.т.н., інженер-конструктор, orcid.org/0000-0003-3958-0519, Гомон С.С., д.т.н, проф. orcid.org/0000-0003-2080-5650, Луцько С.І., студент, orcid.org/0000-0003-4887-0972 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Pavluk A.P., Candidate of Technical Sciences, design engineer, Gomon S.S, Doctor of Engineering, professor, Lutsko S.I., student (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

Проведено аналіз існуючих методик визначення модуля пружності згинальних елементів з деревини.

Проведено експериментальні дослідження балок з клеєної деревини в умовах косоного згину за кута нахилу 10°. Визначені величини прогинів та відносних деформацій волокон балки.

За результатами випробувань згідно існуючих методик визначено величини модулів пружності балок з клеєної деревини в умовах косоного згину. Встановлено, що збільшення навантаження призводить до зменшення величини модуля пружності.

Визначено середні величини модуля пружності деревини за косоного згину.

The practice of designing building structures shows that bending is one of the most common types of stress-strain state. The behavior of solid beams as well as glue laminated beams which are under the conditions of slanting bending is currently poorly known. Current rules do not take into account the peculiarities of glue laminated beams under the conditions of slanting bending. In fact, the rules do not consider the real change in the stress-strain behavior of such elements upon the load change from its initial application till fracture under the conditions of slanting bending due to the fact that material (wood) behavior in the construction is currently assumed as nominally elastic. What is more, this issue is not sufficiently studied either theoretically or experimentally. The value of the elastic modulus is one of the main characteristics in the calculations of the limiting states.

This article is devoted to the study of the working peculiarities of glue laminated beams made of glued pine boards under the conditions of slanting bending.

The article analyzes the existing studies of the elasticity modulus of wooden beams in bending. Experimental tests of wooden beams were carried out. Determination of maximum deflections and relative deformations. The article presents the results of experimental studies on the elastic modulus and deformity of glue laminated beams the conditions unsymmetrical bending. It is determined that an increase in the load on the beam leads to a decrease in the elastic modulus of the wood.

New data on the modulus of elasticity of glulam beams under the action of oblique bending were obtained. The average values of the modulus of elasticity of beams according to different methods were determined.

The results will give the opportunity to design wooden constructions taking into account the profound knowledge on material capacity as well as the working peculiarities of its components, which will lead to a more practical cross section of structural components. The article will be useful for students, teachers of technical disciplines, postgraduate students, and scientists.

Ключові слова: Деревина, модуль пружності, несуча здатність, косий згин, відносні деформації, прогини.

Wood, elastic modulus, carrying capacity, slanting bend, relative deformation, deflection.

Вступ. Практика проектування будівельних конструкцій показує, що згин є одним і найбільш поширених видів напружено-деформованого стану. Косий згин є одним з різновидів згину, який потребує глибокого вивчення, так як напружено-деформований стан косозігнутих дерев'яних елементів на сьогодні досліджений не в повній мірі.

Аналіз останніх досліджень. Косий поперечний згин дерев'яних балок - вид деформування, за якого напрямок дії зовнішнього навантаження не співпадає з головними осями перерізу елемента. Складний напружено-деформований стан, який виникає за косоного згину, потребує детального дослідження на різних рівнях завантаження конструкцій від початку прикладання навантаження і до руйнування. Встановлення величин модуля пружності є однією з основних характеристик в розрахунках за граничними станами експлуатаційної придатності [1], тому дане дослідження є актуальним на сьогодні.

Експериментальні та теоретичні дослідження величин модуля пружності деревини наведені у роботах [2,3,4,5,6]. В роботі Деловой М.И. автор пропонує визначати модуль пружності дерев'яних балок, які працюють в умовах чистого прямого згину (навантаження прикладається в третинах прольоту) на основі вимірюваних значень прогинів. Згідно даної методики, прогини визначаються в середині балки та в місці прикладання навантаження. Для визначення модуля пружності використовується наступна формула:

$$E_x = \frac{Fl_p^3}{548I_x(w_c - w_m)}, \quad (1)$$

w_{c} - прогин балки в середині прольоту;
 w_m - прогин балки в місці прикладання навантаження;
 l_p - розрахунковий проліт балки;
 F - навантаження, що діє на балку;
 I_x - момент інерції перерізу балки.

Визначення модуля пружності в згинальних елементах з деревини Сухарев І.П. пропонував визначати для стиснутої та розтягнутої зон на основі визначення величин відносних деформацій крайніх фібрових волокон. Модуль пружності автори[6] пропонують визначати наступними формулами:

$$E_x^- = \frac{M}{W} \left(\frac{\varepsilon_t + \varepsilon_c}{2\varepsilon_c^2} \right), \quad (2)$$

$$E_x^+ = \frac{M}{W} \left(\frac{\varepsilon_t + \varepsilon_c}{2\varepsilon_t^2} \right), \quad (3)$$

M - руйнівний момент балки від зовнішніх навантажень;
 W - момент опору поперечного перерізу балки;
 $\varepsilon_t, \varepsilon_c$ - фіброві відносні деформації в розтягнутій та стиснутій зонах відповідно за одного рівня навантаження;
 E_x^- - модуль пружності стиснутої зони балки;
 E_x^+ - модуль пружності розтягнутої зони балки.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є визначення модуля пружності балок з клеєної деревини в умовах косоного згину.

Основними задачами даного дослідження є :

- дослідження роботи балок з клеєної деревини в умовах косоного згину;
- визначення максимальних відносних деформацій крайніх волокон балки з клеєної деревини на основі проведення експериментальних досліджень;
- визначення модуля пружності балки.

Методика досліджень. Для проведення випробувань дерев'яних балок в умовах косоного згину у науково-дослідній лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд НУВГП було виготовлено дослідну установку, яка задовольняла всі умови проведення досліджень.

Для визначення величин модулів пружності згідно формул 1...3 необхідно експериментальним шляхом визначити прогини та відносні деформації. Вимірювання відносних деформацій балок проводилось за допомогою тензодатчиків та тензометричної системи СІИТ. Тензодатчики для балок були базою 50 мм. Дані з тензометричних систем передавались на комп'ютер, де в подальшому оброблялися.

Визначення прогинів балок з клеєної деревини проводилось в двох напрямках їх деформування (в напрямку осей у-ута z-z) за допомогою прогиномірів 6-ПАО з ціною поділки 0,01 мм. Прогиноміри влаштовувались в середині прольоту балки, в місцях прикладання навантаження та на опорах.

Для прикладання навантаження на балки використовувався гідравлічний домкрат ДОСМ-5. Величина навантаження на балки контролювалась за допомогою динамометра, який був попередньо протарований. Розподіл

навантаження виконувався через металеву траверсу.. Для повороту балок на необхідні кути нахилу були виготовлені металеві пластини з листового металу, які влаштовувались в місцях прикладання навантаження та на опорах. Схема розташування вимірювальних приладів на балці наведена на рис.1. Детальніше методика досліджень балок, які знаходяться в умовах косоного згину, наведена в роботах [7,8].

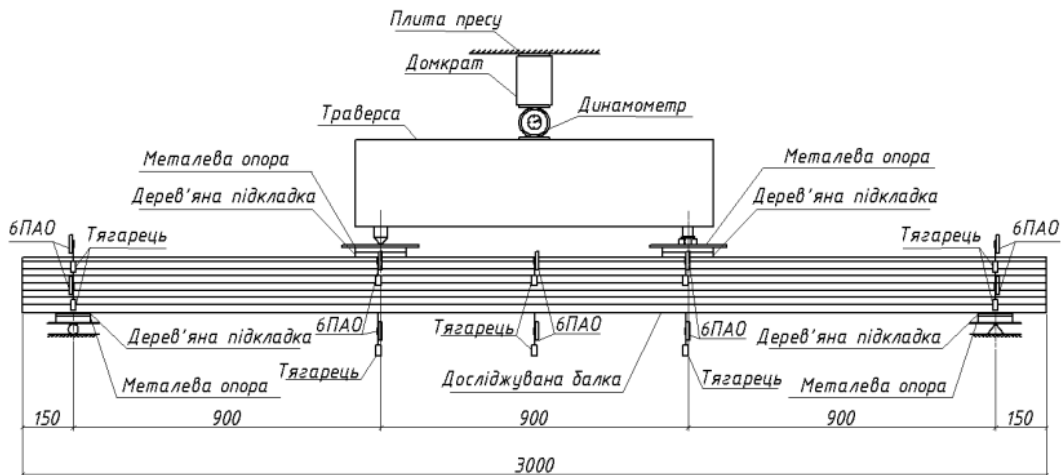


Рис. 1 Схема розташування вимірювальних приладів на дощатоклеєній балці

Результати досліджень. Балки випробовувались за кута нахилу 10° . Поперечний переріз балок - 100x150 мм. Загальна довжина балки - 3000 мм, розрахунковий проліт - 2700 мм. В третинах розрахункового прольоту прикладались два зосереджених навантаження. Навантаження відбувалось з кроком 200 кг. На кожному рівні навантаження фіксувались прогини та відносні деформації.

Було випробувано дві дощатоклеєні балки. Обробка результатів, а саме визначення величин модулів пружності, проводилась на рівнях навантаження $\eta=0,2M$, $\eta=0,4M$, $\eta=0,6M$ та $\eta=0,8M$ (де M - максимальний згинаючий момент, що сприйняла балка в момент руйнування). Модуль пружності визначали за двома методиками: перша - за формулою 1, друга - за формулами 2 та 3. Для другої методики модуль пружності визначався як середнє значення в стиснутій та розтягнутій зонах.

Результати розрахунків наведені в табл.1.

Таблиця 1

Модулі пружності балок

Назва балки	Рівень навантаження	Модуль пружності, Е, МПа (згідно формули 1)	Модуль пружності, Е, МПа (згідно формул 2,3)
БДК-1	0,2	18476	20413
	0,4	14105	17443
	0,6	12091	16711
	0,8	10585	15412

БДК-2	продовження		
	0,2	18363	20261
	0,4	14367	16124
	0,6	12364	14485
	0,8	10689	14368

Протягом збільшення навантаження відбувалось поступове зменшення величини модуля пружності балок як за першою, так і за другою методиками. Згідно першої методики (формула 1) на рівні навантаження $\eta=0,2M$ модуль пружності становив 18476 МПа та 18363 МПа для балок БДК-1 та БДК-2 відповідно, тоді як на рівні навантаження $\eta=0,8M$ - 10585 МПа та 10689 МПа відповідно. Згідно другої методики (формули 2,3) на рівні навантаження $\eta=0,2M$ модуль пружності становив 20413 МПа та 20261 МПа для балок БДК-1 та БДК-2 відповідно, тоді як на рівні навантаження $\eta=0,8M$ - 15412 МПа та 14368 МПа відповідно.

Як видно з таблиці 1, значення модулів пружності, визначених за різними методиками, відрізняються. За результатами випробувань було побудована залежність модулів пружності від рівня навантаження балки, яка наведена у формі графіка на рис. 2.

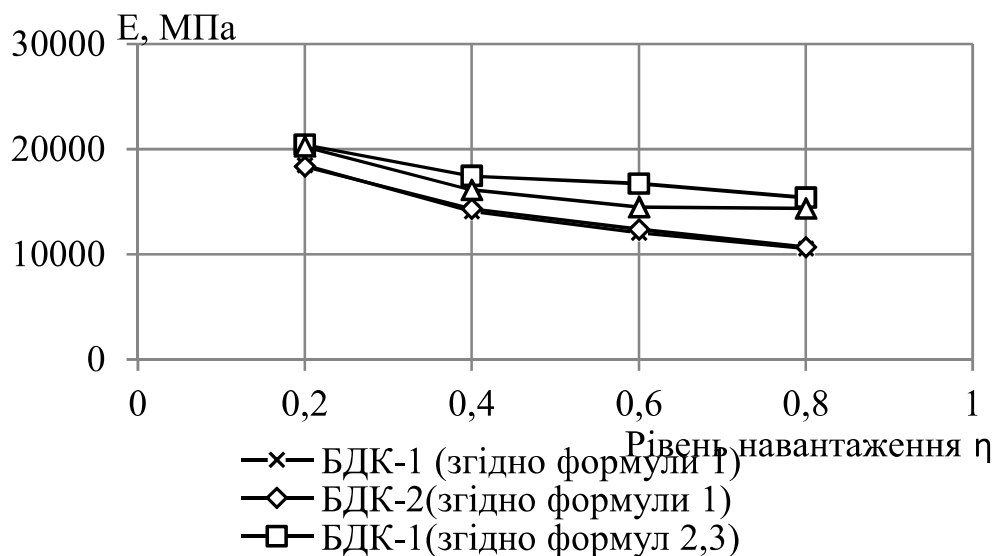


Рис. 2 Модуль пружності балок на різних рівнях навантаження

Висновки. На підставі проведеного дослідження роботи балок за косою згину можна зробити наступні висновки:

1. Отримані нові дані щодо зміни величини модуля пружності балок з клеєної деревини за дії косою згину в залежності від рівня навантаження.
2. Встановлено, що збільшення навантаження на балку призводить до зменшення модуля пружності деревини в середньому з 18420 МПа (рівень навантаження $\eta=0,2M$) до 10637 МПа (рівень навантаження $\eta=0,8M$) за першою методикою.
3. Встановлено, що збільшення навантаження на балку призводить до зменшення модуля пружності деревини в середньому з 20337 МПа (рівень

навантаження $\eta=0,2M$) до 14890 МПа (рівень навантаження $\eta=0,8M$) за другою методикою.

1. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіон України, 2017. 111 с.

DBN V.2.6-161:2017. Konstrukciyibudy`nkiv i sporud. Derev'yanikonstrukciyi. Osnovnipolozhennya. K.: MinregionUkrayiny`, 2017. 111 s.

2. Деловая М. И. Деформирование изгибаемых клееных деревянных элементов при статическом нагружении: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Курск, 2001. 166 с.

Delovaia M. Y. Deformuvannya uzghybaemykh kleenykh dereviannykh elementov pry statycheskom nahruzhenyu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Kursk, 2001. 166 s.

3. Ясній П.В., Гомон С.С. Дослідження січних модулів листяних та хвойних порід деревини з різним показником вологості. Вісник ВПІ. Вінниця, 2020. Вип. 4, С.125-130.

Yasnii P.V., Homon S.S. Doslidzhennia sichnykh moduliv lystianykh ta khvoinykh porid derevyny z riznym pokaznykom volohosti. Visnyk VPI. Vinnytsia, 2020. Vyp. 4, S.125-130.

4. Гомон С.С., Полищук Н.В. Способ определения упруго-пластических характеристик цельной и клееной древесины на образцах конструкционных размеров при сжатии. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, Budapest, VI(21), Issue: 179, 2018. pp. 17-20.

Homon S. S., Polyshchuk N. V. Spособ opredeleniya upruho-plastycheskykh kharakterystyk tselnoi y kleenoi drevesyny na obraztsakh konstruktsonnykh razmerov pry szhatyy. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, Budapest, VI(21), Issue: 179, 2018. pp. 17-20.

5. Гомон С.С. Поліпшення міцнісних та деформівних властивостей суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі: дис. докт. техн. наук: 01.02.04. Тернопіль, 2021. 387с.

Homon S.S. Polipshennia mitsnisnykh ta deformivnykh vlastyvostei sutsilnoi derevyny ta kompozytsiinykh materialiv na yii osnovi: dys. dokt. tekhn. nauk: 01.02.04. Ternopil, 2021. 387s.

6. Гомон С. С., Полищук М. В. Експериментально-статистичні дослідження січного модуля пружності дерева незалежно від тривалості її насичення водою. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип. 36. Рівне, 2018. с. 96-101.

Homon S. S., Polishchuk M. V. Eksperymentalno-statystychni doslidzhennia sichnoho modulia pruzhnosti derevy nyzalezno vid tryvalosti yii nasychennia vodoiu. Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. Vyp. 36. Rivne, 2018. s. 96-101.

7. Павлюк А.П., Гомон С.С. Методика дослідження балок з цільної та клеєної деревини в умовах дії косоного згину. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип. 32. Рівне, 2016. с. 231-236.

Pavliuk A.P., Homon S.S. Metodyka doslidzhenniabalok z tsilnoi ta kleienoi derevyny v umovakhdiikosozhynu. Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. Vyp. 32. Rivne, 2016. s. 231-236.

8. Павлюк А.П. Напружено-деформований стан елементів з клеєної деревини в умовах косоного згину: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2019. 238 с.

Pavliuk A.P. Napruzhenodeformovanyi stan elementiv z kleienoi derevyny v umovakh kosozhynu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Rivne, 2019. 238 s.