

РОБОТА БАЛОК З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ КОСОГО ЗГИНУ

С. Гомон, к. т. н., А. Павлюк, аспірант

Національний університет водного господарства і природокористування

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.084>

Постановка проблеми. Практика проектування та застосування будівельних конструкцій з деревини показує, що згин – один із найпоширеніших видів напружено-деформованого стану. Прямий згин конструкцій на сьогодні вивчено достатньо. Косий згин дерев'яних елементів – один із різновидів згину, і може виникати не тільки у явному вигляді, коли конструкція у проектному положенні перебуває під певним кутом нахилу, а й за рахунок неоднорідності (анізотропії) деревини, її пороків, різних сортів деревини клеєної балки, неточності за виготовлення та монтажу. Косий згин – складний вид напружено-деформованого стану, який потребує детального дослідження і вивчення на різних етапах завантаження конструкцій від початку прикладання навантаження і до руйнування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Косий згин металевих та залізобетонних конструкцій досліджено у працях [1–3]. Стосовно дерев'яних конструкцій, то в більшості приведених на сьогодні експериментальних дослідженнях балок з клеєної деревини вивчали їх роботу за прямого згину [4; 5]. У чинних нормах проектування [6] розрахунок косоного згину базується на правилах опору матеріалів, які дійсні лише у разі, коли напрямок навантаження проходить через геометричний центр поперечного перерізу елемента [7]. Якщо силова площина не проходить через цей центр, виникають кручення та додаткові внутрішні зусилля, які на сьогодні досліджені не повною мірою та, відповідно, потребують збільшення поперечного перерізу елементів, що проектуються. Тому виникає потреба у глибшому вивченні косоного згину зі застосуванням заходів, що обмежують утворення цих додаткових зусиль. Експериментальні дослідження на сьогодні, в час розвитку програм розрахунку як окремих будівельних конструкцій, так і будівель загалом, потребують порівняння з результатами у програмних комплексах, серед яких є ПК «Ліра 9.6».

Постановка завдання. На основі аналізу наявних даних основними завданнями нашого дослідження є:

- розробка моделі дощатоклеєних балок в умовах прямого та косоного згинів для розрахунку в ПК «Ліра»;
- дослідження жорсткості дощатоклеєних балок у ПК «Ліра»;
- аналіз та обробка результатів досліджень;
- порівняння експериментальних та теоретичних даних з даними досліджень у ПК «Ліра».

Виклад основного матеріалу. Модель дослідної дощатоклеєної дерев'яної балки створювали в ПК «Ліра 9.6». Поперечний переріз балки становив 100 x 150 мм, довжина 3,0 м. Опори балки змодельовані як шарнірно рухома та нерухома. Розрахунковий проліт при цьому становив 2,7 м. У третирах прольоту прикладали вузлове навантаження. Значення навантаження обирали на основі експериментальних досліджень [8; 9] дощатоклеєних балок за кутів нахилу 10 та 25°. Сітку вузлів елементів поперечного перерізу балки створювали за допомогою генерації балки – стінки, а власне формування елементів поперечного перерізу дослідної балки – за допомогою створення і триангуляції контурів. Крок сітки вузлів – 0,01. Модель балки створювали зі скінченних елементів розміром 10 x 10 x 10 мм, загальна кількість яких становила 15000.

Для розрахунку в ПК «Ліра» було створено дві моделі дощатоклеєних балок за косоного згину за кутів нахилу 10 і 25° та одну модель балки аналогічних розмірів за прямого згину для порівняння результатів.

Тип жорсткості балок вибирали на основі попередньо проведених досліджень балок з цільної деревини в ПК «Ліра» [10].

Фізико-механічні характеристики дослідної дощатоклеєної балки приймали такими: коефіцієнт Пуассона – 0,45, густина – 510 кг/м³, модуль пружності – 10000 МПа.

Середнє максимальне руйнівне навантаження дощатоклеєної балки за кута нахилу 10°, визначене експериментально, становило $F_{\max} = 38,2$ кН, за кута нахилу 25° – $F_{\max} = 38,94$ кН. У свою чергу середнє руйнівне навантаження для балок, які працювали в умовах прямого згину [5], становило $F_{\max} = 62$ кН. Завантаження балки в ПК «Ліра» проводили з урахуванням цих навантажень із кроком 0,2 F_{\max} . У місцях прикладання наван-

таження косозігнутих балок обмежувалися деформаціями з їх площини, оскільки в експериментальній частині випробувань [8] у цих місцях влаштували в'язі.

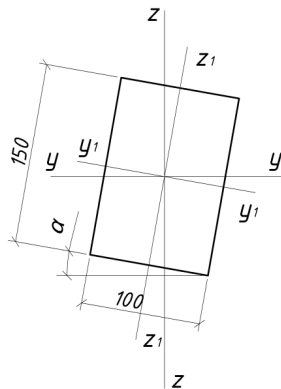


Рис. 1. Розташування осей за визначення прогинів балок

Порівняння експериментальних даних та розрахунків у ПК «Ліра» дощатоклеєних балок проводили на основі значень їх повних прогинів, які обчислювали за формулою:

$$w = \sqrt{w_z^2 + w_y^2}, \quad (1)$$

де w – повний прогин балки, мм; w_z – прогин балки вздовж осі $z-z$, мм; w_y – прогин балки вздовж осі $y-y$, мм.

Розташування осей за визначення прогинів балок показано на рис. 1.

Ізополі переміщень уздовж осі $z-z$ за кутів нахилу 10 та 25°, які отримані в результаті розрахунків у ПК «Ліра 9.6», подані на рис. 2, 3. Рівень завантаження, за якого вказані дані ізополі, становить $0,6 F_{max}$.

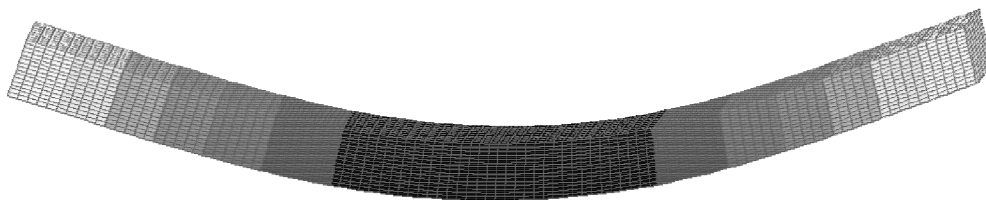
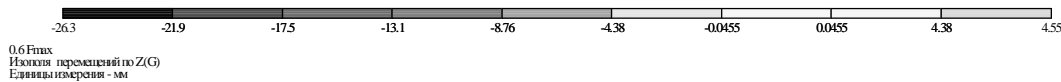


Рис. 2. Ізополі переміщень вздовж осі $z-z$ дощатоклеєної балки за кута нахилу 10° за навантаження $0,6 F_{max}$

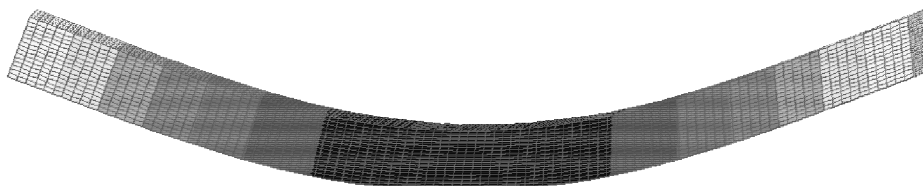
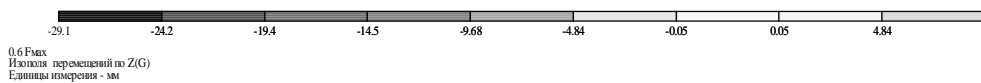


Рис. 3. Ізополі переміщень вздовж осі $z-z$ дощатоклеєної балки за кута нахилу 25° за навантаження $0,6 F_{max}$

Порівняння повних прогинів балок, які були визначені експериментальним шляхом [9] та за допомогою ПК «Ліра», проводили за допомогою побудови графіка залежності повних прогинів від згинальних моментів. Також було порівняно ці дані з теоретичними розрахунками прогинів, які знаходили за формулою

$$Ely = Ely_0 + EI\theta_0x \pm \sum \frac{F(x-b)^3}{3!} \pm \sum \frac{q(x-c)^4}{4!}, \quad (2)$$

де E – модуль пружності деревини; I – момент інерції поперечного перерізу балки; y – переміщення конструкції в характерній точці; y_0 – початкове переміщення конструкції в характерній точці; a – відстань від початку координат до місця прикладання згинального моменту; b – відстань від початку координат до місця прикладання зосередженої сили; c – відстань від початку координат до місця прикладання розподіленого навантаження; θ_0 – початковий кут повороту балки; x – відстань від початку координат до перерізу, в якому визначається прогин.

Графік залежності повних прогинів, визначених різними методами, від згинальних моментів за кута нахилу 10° , показано на рис. 4.

Як видно з графіка (див. рис. 4), теоретичні прогини та прогини, які знайдені за допомогою ПК «Ліра» протягом усього завантаження дощатоклеєної балки, практично збігаються. У місці досягнення граничного прогину, який згідно з [6] становить 18 мм, різниця граничних моментів за таких видів дослідження становить лише 1,64%.

У свою чергу різниця між експериментальними та теоретичними граничними моментами становить 12,52, між експериментальними та ПК «Ліра» – 13,95 %.

Графік залежності повних прогинів від згинальних моментів дощатоклеєних балок за кута нахилу 25° показано на рис. 5.

Повні прогини, обчислені теоретичним шляхом та знайдені за допомогою ПК «Ліра» за кута нахилу 25° протягом усього завантаження від початку до руйнування балки, близькі за своїми значеннями. У точці досягнення граничного прогину різниця граничних моментів становить 13,1%. У свою чергу різниця між експериментальними та теоретичними граничними моментами становить 52,88, між експериментальними та ПК «Ліра» – 45,78%.

Розрахункова схема і тип жорсткості за дослідження роботи дощатоклеєної балки в ПК «Ліра» за прямого згину аналогічна до моделей за косоного згину. Графік залежності повних прогинів від згинальних моментів за прямого згину показано на рис. 6. На цьому графіку експериментальні прогини знайдені як середні між балками аналогічних до створених у моделі розмірів, які досліджені у праці [5].

Як видно з графіка (див. рис. 6), різниця граничних моментів між експериментальними та теоретичними даними становить 42,28 %, між експериментальними та ПК «Ліра» – 45,29 %.

Ізополя переміщень за прямого згину за рівня навантаження $0,6 F_{\max}$ вздовж осі $z-z$ показана на рис. 7.

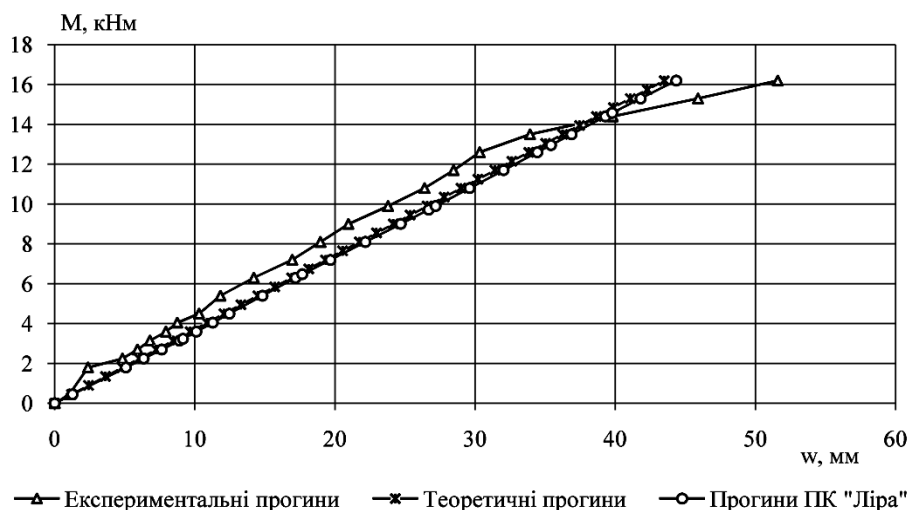


Рис. 4. Повні прогини дощатоклеєної балки за кута нахилу 10° , визначені експериментальним, теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра»

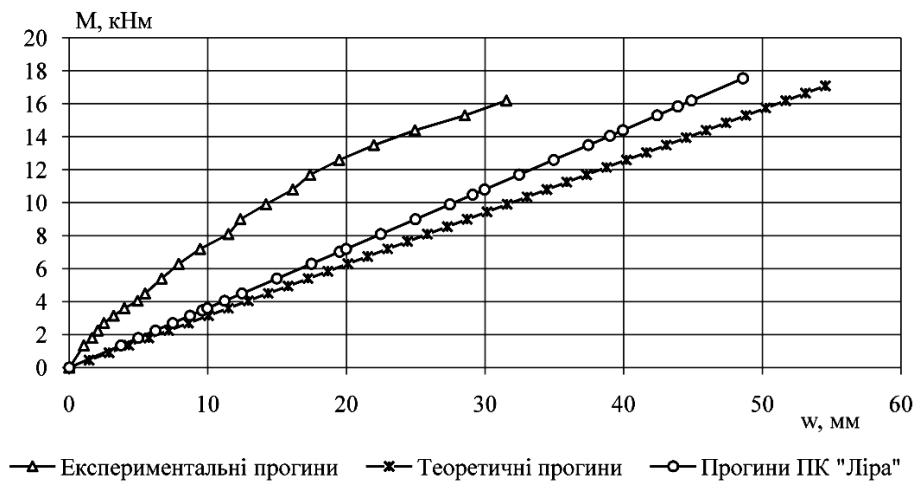


Рис. 5. Повні прогини дощатоклеєної балки за кута нахилу 25° , визначені експериментальним, теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра»

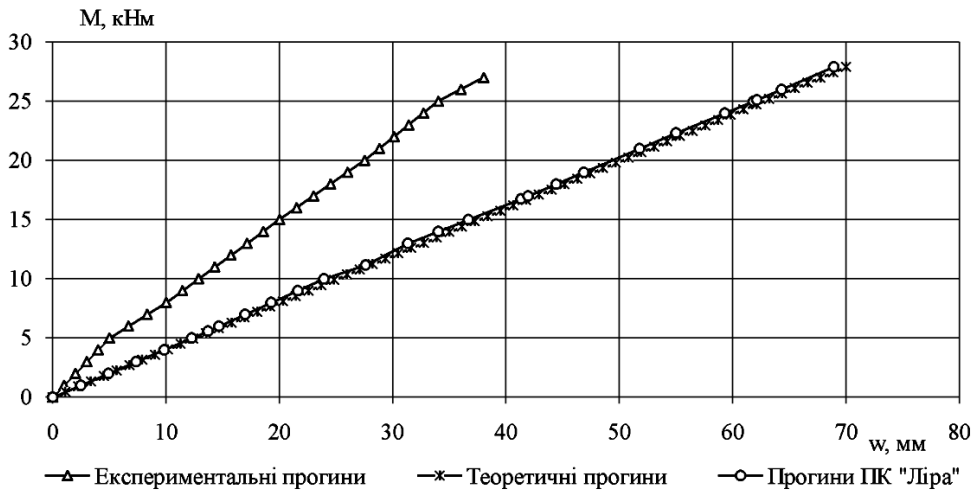


Рис. 6. Повні прогини дощатоклеєної балки за прямого згину, визначені експериментальним, теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра»

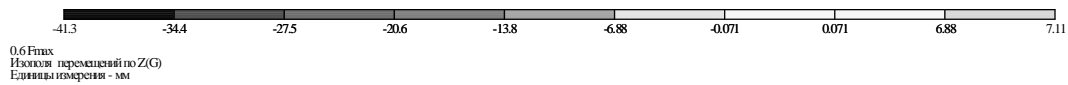


Рис. 7. Ізополя переміщень вздовж осі $z-z$ дощатоклеєної балки за прямого згину за навантаження $0,6 F_{max}$

Граничні значення моментів за різних видів досліджень

Характер випробування	Кут нахилу	Вид дослідження	Граничний момент, M_{fin} , кНм
Косий згин	10°	ПК «Ліра 9.6»	6,60
		Теоретичні	6,71
		Експериментальні	7,67
Косий згин	25°	ПК «Ліра 9.6»	6,49
		Теоретичні	5,64
		Експериментальні	11,97
Прямий згин	–	ПК «Ліра 9.6»	7,44
		Теоретичні	7,17
		Експериментальні	13,60

Порівняння результатів досліджень повних прогинів за прямого та косоного згинів відбувалося в точці досягнення гранично допустимого прогину, який згідно з [6], враховуючи, що розрахунковий проліт – 2,7 м, становить 18 мм. Величини граничних моментів, що відповідають граничним прогинам, подані в таблиці.

Як видно з таблиці, за роботи дощато-клеєної балки в умовах прямого та косоного згинів повні прогини, обчислені в ПК «Ліра» та теоретичним шляхом за формулою 2, дуже близькі за своїми значеннями з максимальною похибкою граничних моментів 13,1%. Експериментальна величина граничного моменту вказує на те, що теоретичні розрахунки та ПК «Ліра» дещо занижують несучу здатність балки за другою групою граничних станів порівняно з реальними (експериментальними) даними, тобто дають запас міцності.

Висновки. Унаслідок експериментальних та теоретичних досліджень дощатоклеєних балок в умовах косоного та прямого згинів отримані нові експериментальні та теоретичні дані їх жорсткості. На основі цього можна дійти таких висновків:

- за косоного згину за кутів нахилу 10° та 25° теоретичні граничні моменти та граничні моменти в ПК «Ліра 9.6» близькі за своїми значеннями, різниця між ними перебуває в допустимих межах і становить 1,64 та 13,1 % відповідно;

- за прямого згину різниця між теоретичними та обчисленими в ПК «Ліра» граничними моментами перебуває у допустимих межах похибки і становить 3,63 %;

- за косоного згину за кута нахилу 10° несуча здатність за другою групою граничних станів, яка знайдена теоретичним шляхом та за допомогою

ПК «Ліра», забезпечує запас порівняно з реальними експериментальними даними на 12,52 та 13,95% відповідно;

- за косоного згину за кута нахилу 25° несуча здатність за другою групою граничних станів, яка знайдена теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра», забезпечує запас порівняно з реальними експериментальними даними на 52,88 та 45,78% відповідно;

- за прямого згину несуча здатність за другою групою граничних станів, яка знайдена теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра», забезпечує запас порівняно з реальними експериментальними даними на 42,28 та 45,29% відповідно.

Бібліографічний список

1. Василенко В. Б. Напружено-деформований стан перфорованих прогонів Z-подібного профілю в умовах косоного згину: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2015. 207 с.
2. Федоров Д. Ф. Деформативність і тріщностійкість косозігнутих залізобетонних елементів прямокутного профілю з урахуванням нелінійних властивостей бетону: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Полтава, 2012. 199 с.
3. Ромашко В. М. Деформаційно-силова модель опору бетону та залізобетону: монографія. Рівне, 2016. 424 с.
4. Деловая М. И. Деформирование изгибаемых клееных деревянных элементов при статическом нагружении: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Курск, 2001. 165 с.
5. Сасовський Т. А. Напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за дії малоциклових навантажень: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2016. 209 с.
6. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: ДП Укрархбудінфо, 2017. 111 с.

7. Гомон С. С., Павлюк А. П. Робота дерев'яних балок в умовах косоного згину. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2015. Вип. 31. Рівне, НУВГП, 2015. С. 422-428.

8. Гомон С. С., Павлюк А. П. Робота дощатоклеєних дерев'яних балок в умовах косоного згину при дії одноразових та повторних навантажень. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2017. Рівне, НУВГП, 2017. Вип. 34. С.118-128.

9. Gomon S. S., Pavluk A. P. Study on working peculiarities of glue laminated beams under conditions of

slanting bending. *Underwater technology*. Kyiv, 2017. Vol. 7. P. 42-48.

10. Гомон С. С., Павлюк А. П. Жорсткість балок з цільної деревини в умовах прямого та косоного згину. *Ресурсозберігаючі технології в проектуванні, землевпорядкуванні та будівництві*: матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. з міжнар. участю. Кременчук: КрНУ, 2017. С. 191-202.

11. Сухарев И. П. Экспериментальные методы исследования деформаций и прочности. Москва: Машиностроение, 1987. 212 с.

Гомон С., Павлюк А.

РОБОТА БАЛОК З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ КОСОГО ЗГИНУ

Проаналізовано особливості роботи клеєних дерев'яних балок за косоного та прямого згинів. Описано методи теоретичних досліджень дослідних зразків у ПК «Ліра», проаналізовано та оброблено отримані результати досліджень, порівняно теоретичні дані розрахунків з експериментальними.

Проведено експериментальні та теоретичні дослідження дощатоклеєних балок в умовах косоного та прямого згинів, отримано нові експериментальні та теоретичні дані їх жорсткості. На основі цього можна дійти таких висновків: за косоного згину за кутів нахилу 10° та 25° теоретичні граничні моменти та граничні моменти в ПК «Ліра 9.6» близькі за своїми значеннями, різниця між ними перебуває в допустимих межах і становить 1,64 та 13,1 % відповідно; за прямого згину різниця між теоретичними та обчисленими в ПК «Ліра» граничними моментами знаходить у допустимих межах похибки і становить 3,63 %; за косоного згину за кута нахилу 10° несуча здатність за другою групою граничних станів, яка знайдена теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра», забезпечує запас порівняно з реальними експериментальними даними на 12,52 та 13,95 % відповідно; за косоного згину за кута нахилу 25° несуча здатність за другою групою граничних станів, яка знайдена теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра», забезпечує запас порівняно з реальними експериментальними даними на 52,88 та 45,78 % відповідно; за прямого згину несуча здатність за другою групою граничних станів, яка знайдена теоретичним шляхом та за допомогою ПК «Ліра», забезпечує запас порівняно з реальними експериментальними даними на 42,28 та 45,29 % відповідно.

Подано результати експериментальних та теоретичних досліджень несучої здатності та деформативності балок з клеєної деревини в умовах косоного та прямого згинів. Результати дають змогу проектувати конструкції з деревини, використовуючи повніший обсяг можливостей матеріалу та особливостей роботи елементів, що приведе до економічнішого вибору поперечного перерізу елементів конструкцій.

Ключові слова: деревина, несуча здатність, косий згин, деформації, напруження, жорсткість.

Gomon S., Pavluk A.

THE WORKING PECULIARITIES OF THE GLUED WOODEN BEAMS UNDER THE CONDITIONS OF SLANTING BEND

The article presents the results of experimental studies on the bearing capacity and deformity of glue laminated beams under the conditions of straight and unsymmetrical bending. The main issues are as follows, the description of research methodology and theoretic prototypes in PC "Lira 9.6", analysis and processing of the research results, comparison of theoretical data with experimental calculations.

Experimental and theoretical studies of rain-fed beams under conditions of oblique and direct bends were made, new experimental and theoretical data of their stiffness were obtained. Here on the following conclusions can be drawn: at unsymmetrical bending with the slope angles of 10° and 25° , the theoretical boundary moments and boundary moments in «Lira 9.6» software suite are close in their values, with the estimated difference between them of 1,64 % and 13,1 % respectively; at direct bending the difference between the theoretical boundary moments and those calculated with the use of «Lira 9.6» software suite stays within the permissible limits and amounts to 3,63 %; at unsymmetrical bending with the slope angle of 10° beam strength within the second group of boundary moments, discovered theoretically and determined with the help of «Lira 9.6» software suite, gives a margin of 12,52 % and 13,95 % respectively, in comparison with the actual experimental data; at unsymmetrical bending with the slope angle of 25° beam strength within the second group of boundary moments, discovered theoretically and determined with the help of «Lira 9.6» software suite, gives a margin of 52,88 % and 45,78 % respectively, in comparison with the actual experimental data; at direct bending, beam strength within the second group of boundary moments, discovered theoretically and determined with the help of «Lira 9.6» software suite, gives a margin of 42,28 % and 45,29 % respectively, in comparison with the actual experimental data.

The article presents the results of experimental studies on the bearing capacity and deformity of glue laminated beams the conditions of straight and unsymmetrical bending. 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.

Key words: wood, caring capacity, slanting bend, deformation, strain, stiffness.

Стаття надійшла 20.03.2018.