

УДК 624.011.01

РОБОТА ДОЩАТОКЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК В УМОВАХ КОСОГО ЗГИНУ ПРИ ДІЇ ОДНОРАЗОВИХ ТА ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

РАБОТА БАЛОК ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ КОСОГО ИЗГИБА ПРИ ДЕЙСТВИИ ОДНОКРАТНЫХ И ПОВТОРНЫХ НАГРУЗКАХ

THE WORKING PECULIARITIES OF THE GLUED WOODEN BEAMS UNDER THE CONDITIONS OF SLANTING BENDING FOR THE EFFECT OF ONE-TIME AND REPEATED LOADS

Гомон С.С., к.т.н., проф., Павлюк А.П., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Гомон С.С., к.т.н., проф., Павлюк А.П., аспирант (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Gomon S.S, candidate of technical sciences, professor, Pavluk A.P., post-graduate student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

Наведені результати експериментальних досліджень міцності та деформативності дерев'яних балок в умовах косоного згину при дії одноразових та повторних навантажень.

Приведенные результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности деревянных балок в условиях косоного изгиба при действии однократных и повторных нагрузок.

The behavior of solid beams as well as glue laminated beams which are under the conditions of slanting bending is currently poorly known. Operative rules and existing studies do not address the real behavior of the beams under the conditions of slanting bending or make it impossible to establish the neutral line position and the stress-strain distribution of the cross section at various stages of loading the construction in general.

The purpose of this research is the study of the working peculiarities of glue laminated beams under the conditions of unsymmetrical bending. Pilot testing of a glue laminated block is the principle method for solving the specified problems.

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 and repeat loads.

The main issues are as follows, the description of research methodology and experimental prototypes, analysis and processing of the research results, working peculiarities of the material as part of the glue laminated wooden beams under the conditions of slanting bending.

Ключові слова:

Деревина, несуча здатність, косий згин, деформації, напруження, жорсткість. Древесина, несущая способность, косой изгиб, деформации, напряжения, жесткость.

Wood, caring capacity, slanting bend, deformation, strain, stiffness.

Вступ. Практика застосування клеєної деревини показує, що клеєні елементи є більш міцними в порівнянні з цільними із того ж самого матеріалу і того ж самого перерізу. Це можна пояснити тим, що клейові шви зупиняють розвиток тріщин, а сам процес склеювання дозволяє зменшити вплив пороків за рахунок їх правильного розташування.

Визначення напружено-деформованого стану при згині на різних етапах завантажень є однією з найважливіших характеристик роботи конструкції, оскільки при даному складному напружено-деформованому стані крайні волокна деревини піддаються різного рівня напруженням стиску та розтягу.

Стан питання та задачі дослідження. У більшості приведених на даний час відомих експериментальних дослідженнях конструкції з деревини [1,2,3,4] вивчалась їх робота за дії короткочасних та тривалих навантажень. Існуючі на сьогоднішній день методики прогнозування міцності та довговічності клеєних дерев'яних конструкцій базуються на побудованій математичній моделі довговічності клейових швів [5], що враховує рівень тривалих навантажень, вологість та температуру навколишнього середовища експлуатації, але не враховує періодичність змінних навантажень. Саме тому для забезпечення надійності будівельних конструкцій необхідно вивчати роботу таких конструкцій в умовах максимально наближено до реальних. В зв'язку з цим на сьогоднішній день великого значення набули дослідження роботи клеєних дерев'яних елементів при дії повторних навантажень [6,7,8]. Вплив малоциклових навантажень на роботу дерев'яних балок, що знаходяться в умовах косоного згину досліджений недостатньо. Тому, метою даної роботи є дослідження несучої здатності та деформативних характеристик дерев'яних балок в умовах косоного згину за дії малоциклових навантажень.

Методика досліджень. Дослідження проводились на балках з клеєної деревини перерізом 100x150 мм та довжиною 3,0 м. Розрахунковий проліт становив 2,7 м. Балки складались з пакету в сім дощок, склеєних між собою

по пласті. Балки для випробувань були встановлені з кутом нахилу 10^0 . Всі дослідження проводилися в лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд НУВГП, на спеціально виготовленій дослідній установці [9,10,11,12]. Зосереджене навантаження прикладалось в третинах прольоту. В місцях прикладання навантаження для обмеження впливу крутного моменту влаштовувались в'язі [13,14,15]. Для вимірювання відносних деформацій волокон деревини балки були наклеєні тензодатчики, які розташовувались посередині прольоту по периметру перерізу [16]. Покази з тензодатчиків знімалися за допомогою тензометричної системи СИИТ-3. Крім цього, посередині прольоту, на опорах та в місцях прикладання навантаження влаштовувались прогиноміри 6 ПАО, для вимірювання переміщень в горизонтальній та вертикальних площинах дослідних дерев'яних балок протягом випробувань.

Результати дослідження. Дослідні балки були умовно поділені на дві серії. Дощатоклеєні балки першої серії випробовувались при дії одноразового навантаження, яке прикладалось ступенями від нуля до моменту руйнування. На основі даних випробувань визначено середній руйнівний момент. Дерев'яні балки з клеєної деревини другої серії випробовувались за дії малоциклових навантажень. Режими роботи балок другої серії склалися враховуючи середнє значення руйнівного моменту дослідних зразків першої серії, який становив 18,68 кНм. Режими роботи дослідних зразків наведені в таблиці 1.

Таблиця. 1

Режими роботи дослідних балок

Серія	Назва балки	Режим роботи	Кількість циклів	Руйнівний момент, кНм
1	БДК-1	Одноразове	-	17,28
	БДК-2	Одноразове	-	17,1
	БДК-3	Одноразове	-	20,52
2	БДК-4	$(0,2-0,45) M_{\max}$	30	20,4
		$(0,2-0,65) M_{\max}$	500	
	БДК-5	$(0,2-0,85) M_{\max}$	250	19,8
	БДК-6	$(0,2-0,95) M_{\max}$	103	Руйнування на 103 циклі

Деформування різних шарів балки БДК- 3 в зоні чистого згину наведені на рис. 1.

Як видно з графіка, максимальні відносні деформації стиснутої зони при дії одноразового навантаження, які вдалося зафіксувати, становили $u_{c,d} = 36,1 \cdot 10^{-4}$. В розтягнутій зоні вони були дещо меншими і становили $u_{t,d} = 32,7 \cdot 10^{-4}$.

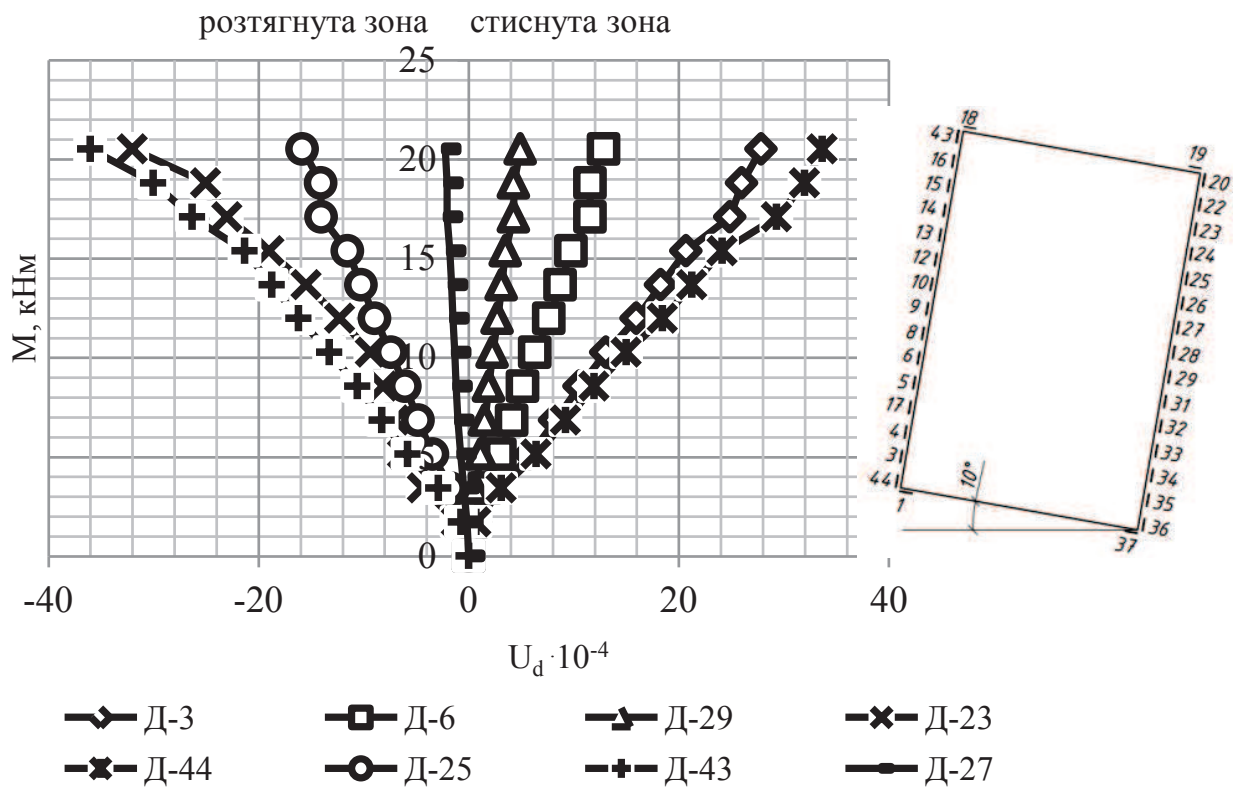


Рис. 1 Діаграма деформування різних шарів деревини балки БДК-3 при одноразовому навантаженні

При малоциклових випробуваннях протягом дії навантаження відбувалось фіксування прогинів та відносних деформацій на першому, другому, п'ятому, двадцятому, п'ятдесятому і далі через кожні п'ятдесят циклів навантаження – розвантаження. Балка БДК-4 спочатку випробовувалась при режимі роботи $(0,2-0,45) M_{\max}$. Графіки деформування найбільш віддалених шарів деревини балки БДК-4 при режимі роботи $(0,2-0,45) M_{\max}$ на різних циклах випробування наведені на рисунку 2.

Як видно з графіків, максимальні значення відносних деформацій стиснутої та розтягнутої зон балки БДК-4 при режимі роботи $(0,2-0,45) M_{\max}$ значно менші максимальних величин деформацій при руйнівному значенні моментів балок БДК-1...БДК-3.

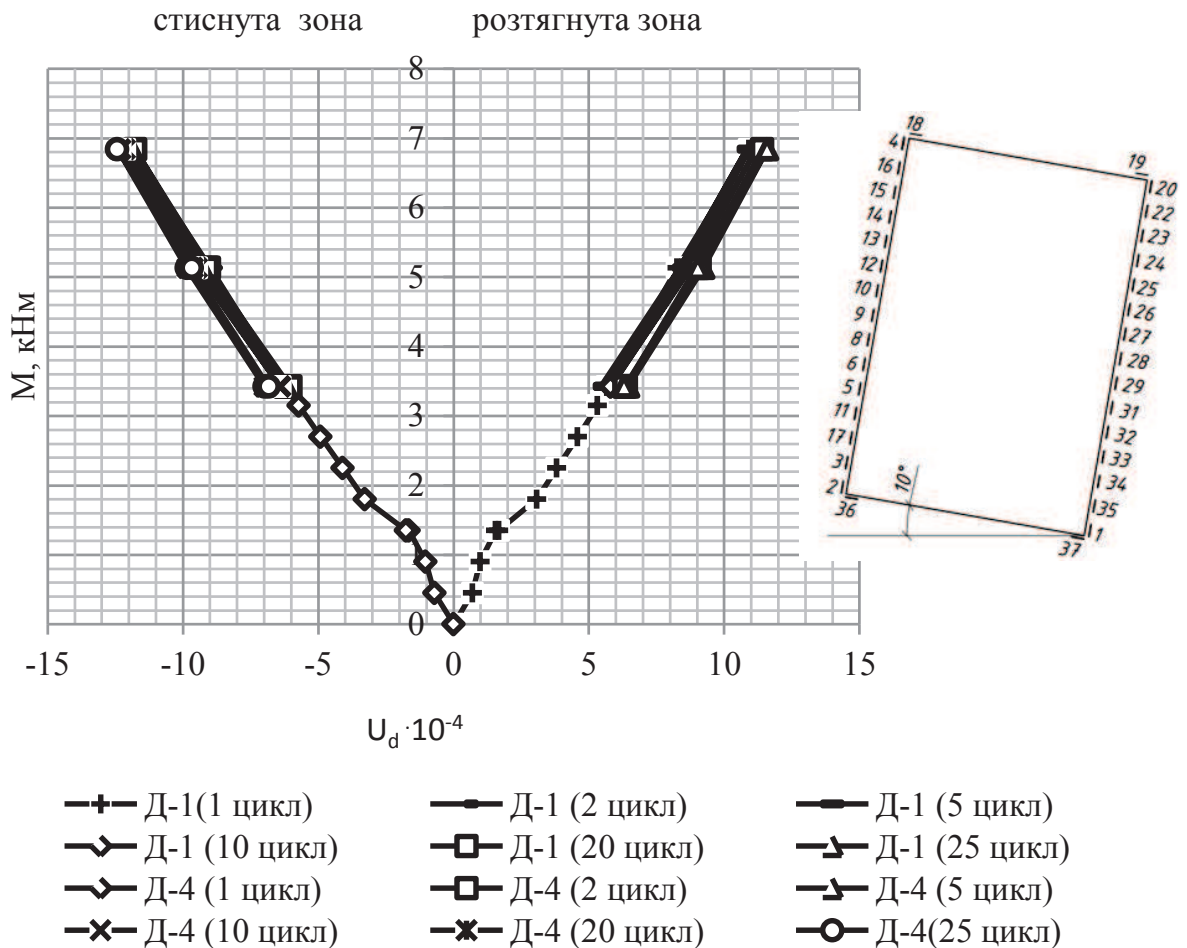


Рис. 2 Діаграма деформування найбільш віддалених шарів деревини балки БДК-4 при режимі роботи (0,2-0,45) M_{\max}

Деформації крайніх волокон розтягнутої зони на першому циклі становили $u_{t,d,cyc,1} = 10,93 \cdot 10^{-4}$. До 20 цикла спостерігалось незначне збільшення деформацій до $u_{t,d,cyc,20} = 11,4 \cdot 10^{-4}$. Після 20 цикла пройшла стабілізація деформацій розтягнутої зони і на 30 циклі вони становили $u_{t,d,cyc,30} = 11,5 \cdot 10^{-4}$. В стиснутій зоні на першому циклі деформації становили $u_{c,d,cyc,1} = 11,9 \cdot 10^{-4}$. Приріст відбувався до 21 цикла і становив $u_{c,d,cyc,21} = 12,3 \cdot 10^{-4}$. На наступних циклах деформації стабілізувались і на 30 циклі становили $u_{c,d,cyc,30} = 12,31 \cdot 10^{-4}$. Враховуючи незначний рівень навантажень і відсутність значних приростів як прогинів, так і відносних деформацій подальше випробування балки БДК-4 проводилось при режимі роботи (0,2-0,65) M_{\max} . Графіки деформування найбільш віддалених шарів деревини балки БДК-4 при режимі роботи (0,2-0,65) M_{\max} на різних циклах випробування наведені на рисунку 3.

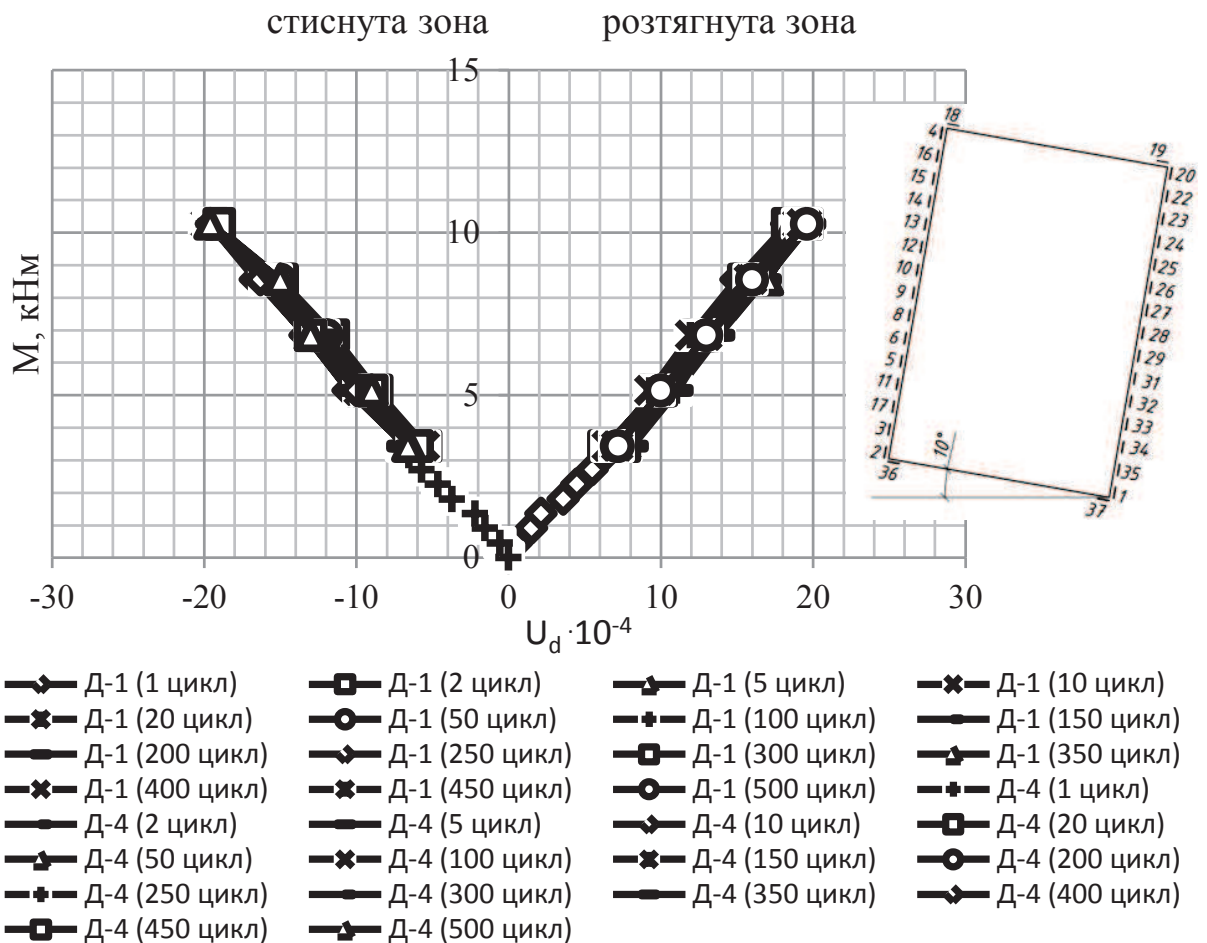


Рис. 3 Діаграма деформування найбільш віддалених шарів деревини балки БДК-4 при режимі роботи $(0,2-0,65) M_{\max}$

При даному режимі роботи деформації стиснутої зони на першому циклі становили $u_{c,d,cyc,1} = 19,07 \cdot 10^{-4}$. Стабілізація пройшла після 150 цикла, деформації на якому становили $u_{c,d,cyc,150} = 19,86 \cdot 10^{-4}$. Подальші завантаження-розвантаження дослідної балки не призвели до значних приростів деформацій стиснутої зони. На 500 циклі вони становили $u_{c,d,cyc,500} = 20,1 \cdot 10^{-4}$. В розтягнутій зоні починаючи з першого до сотого циклу деформації поступово зростали від $u_{t,d,cyc,1} = 18,27 \cdot 10^{-4}$ до $u_{t,d,cyc,100} = 19,82 \cdot 10^{-4}$. Далі пройшла стабілізація приросту і на 500 циклі деформації становили $u_{t,d,cyc,500} = 19,9 \cdot 10^{-4}$. При даному режимі роботи враховуючи незначний приріст деформацій найбільш віддалених волокон дослідного зразка в стиснутій та розтягнутій зонах після 500 циклів випробування балку повністю розвантажено та, після цього, доведено до руйнування поступовим одноразовим навантаженням. Графік деформування різних шарів деревини при цьому наведено на рис. 4.

Дошатовклеєна балка БДК-5 випробовувалась при режимі роботи $(0,2-0,85) M_{\max}$. Деформації найбільш віддалених волокон наведені на рисунку 5.

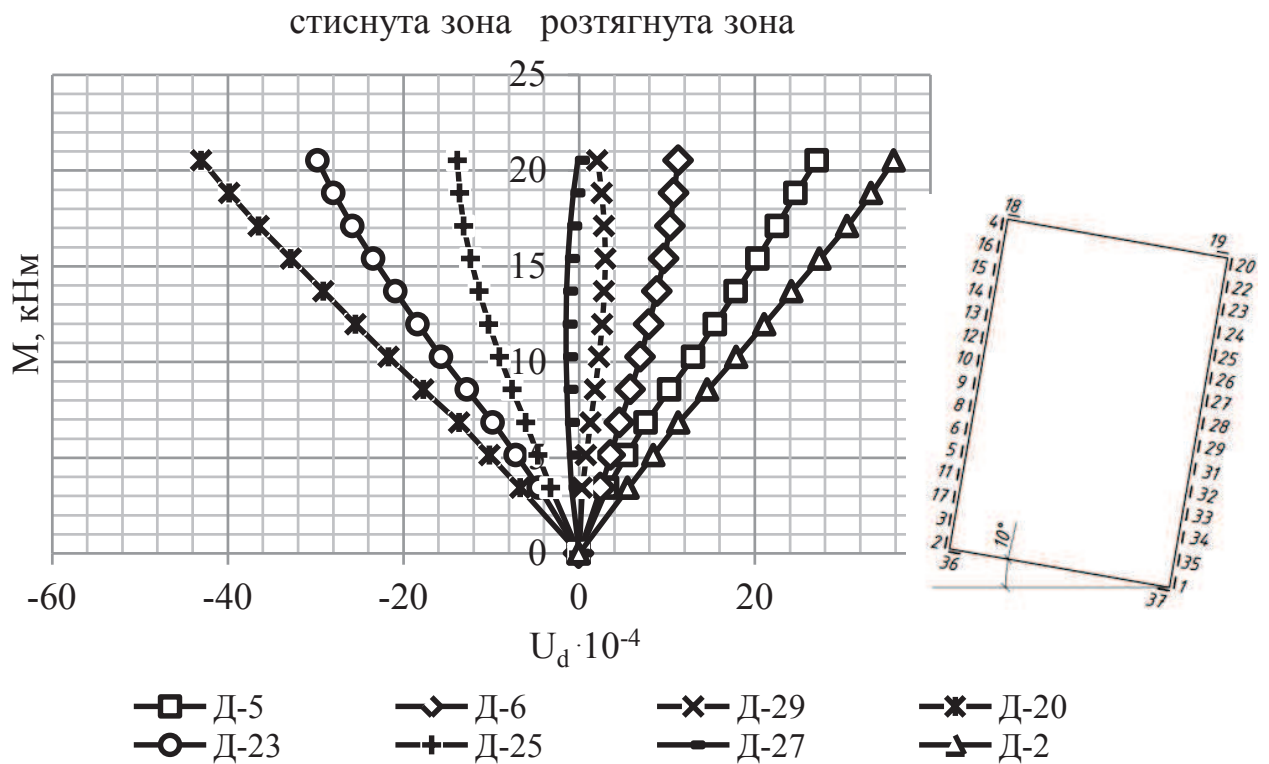


Рис. 4 Діаграма деформування різних шарів деревини балки БДК-4 при одноразовому завантаженні після 500 циклів

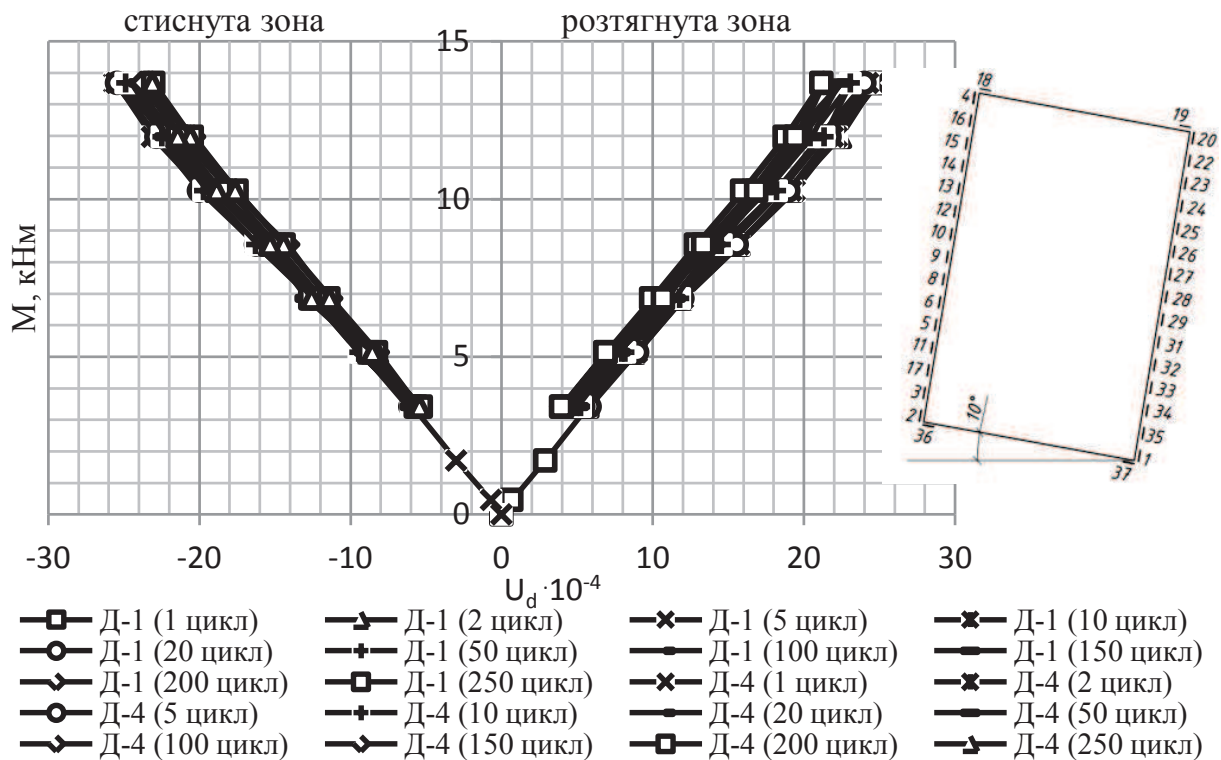


Рис. 5 Діаграма деформування найбільш віддалених шарів деревини балки БДК-5 при режимі роботи $(0,2-0,85) M_{\max}$

Деформації крайніх волокон розтягнутої зони на першому циклі становили $u_{t,d,cyc,1} = 22,07 \cdot 10^{-4}$. Приріст відбувався до 10 цикла, деформації на якому становили $u_{t,d,cyc,10} = 24,58 \cdot 10^{-4}$, тоді як на 250 циклі $u_{t,d,cyc,250} = 25,2 \cdot 10^{-4}$. В стиснутій зоні на перших шести циклах проходило незначне збільшення деформацій від $u_{c,d,cyc,1} = 25,6 \cdot 10^{-4}$ до $u_{c,d,cyc,6} = 25,8 \cdot 10^{-4}$, далі проходила стабілізація приросту деформацій. На 250 циклі вони становили $u_{c,d,cyc,250} = 26,0 \cdot 10^{-4}$. У зв'язку з відсутністю значного приросту деформацій випробування при даному режимі роботи було припинено. Балку розвантажено до нуля з наступним доведенням до руйнування поступовим одноразовим навантаженням. Графік деформування різних шарів деревини при цьому наведено на рис. 6.

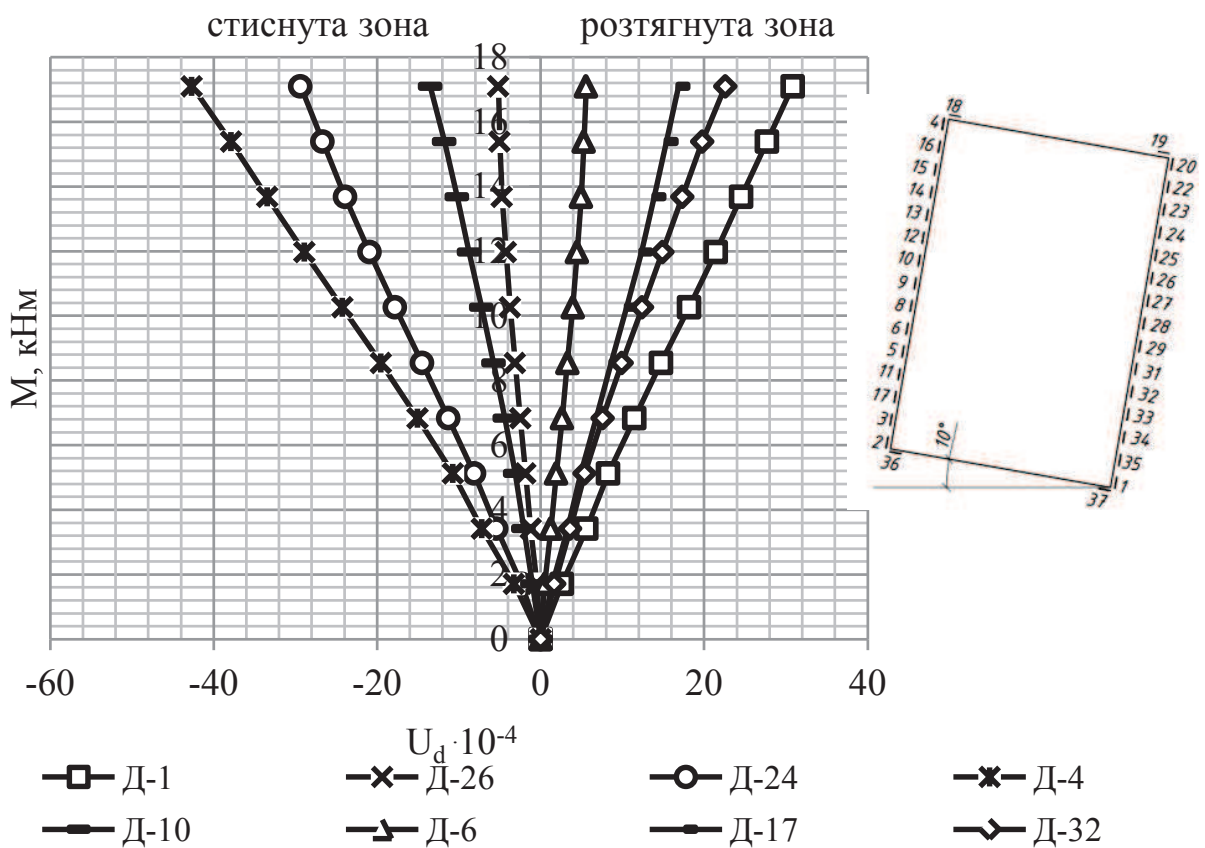


Рис. 6 Діаграма деформування різних шарів деревини балки БДК-5 при одноразовому завантаженні після 250 циклів

Діаграма деформування крайніх волокон балки БДК-6 при режимі роботи $(0,2-0,95) M_{max}$ наведена на рисунку 7.

Деформації крайніх волокон розтягнутої зони на першому циклі становили $u_{t,d,cyc,1} = 28,44 \cdot 10^{-4}$, стиснутої $u_{c,d,cyc,1} = 30,3 \cdot 10^{-4}$. До 100 цикла спостерігалось збільшення деформацій до $u_{t,d,cyc,100} = 31,5 \cdot 10^{-4}$ та $u_{c,d,cyc,100} = 32,18 \cdot 10^{-4}$ в розтягнутій та стиснутих зонах відповідно. На 103 циклі завантаження відбулося руйнування дослідної балки БДК-6. Руйнівне значення моменту при цьому становило 17,1 кНм.

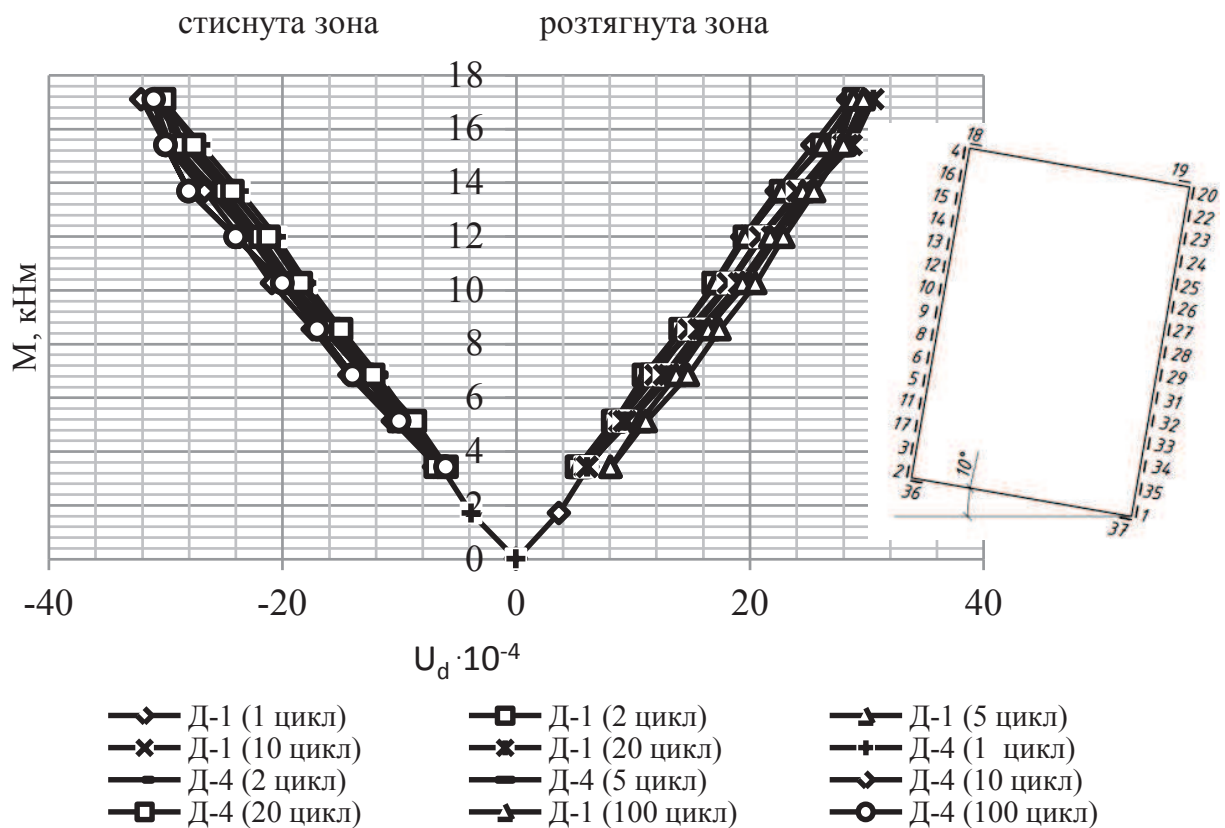


Рис. 7 Діаграма деформування найбільш віддалених шарів деревини балки БДК-6 при режимі роботи $(0,2-0,95) M_{\max}$

Руйнування дослідних клеєних балок як при дії одноразових, так і малоциклових навантажень відбувалося в розтягнутій зоні чистого згину. Тріщина, що утворювалась в цій зоні поширювалась до опори з одночасним миттєвим руйнуванням балки. Характер руйнування балки БДК-4 наведено на рис. 8.



Рис. 8. Характер руйнування балок БДК-4

Також в балці БДК-4 спостерігалось утворення складок в стиснутій зоні в місцях прикладання навантаження та в зоні чистого згину. Складки під дерев'яними підкладками утворилась після 350 циклу при режимі роботи $(0,2-0,65) M_{\max}$ (див. рис.9), а в зоні чистого згину перед руйнуванням балки.

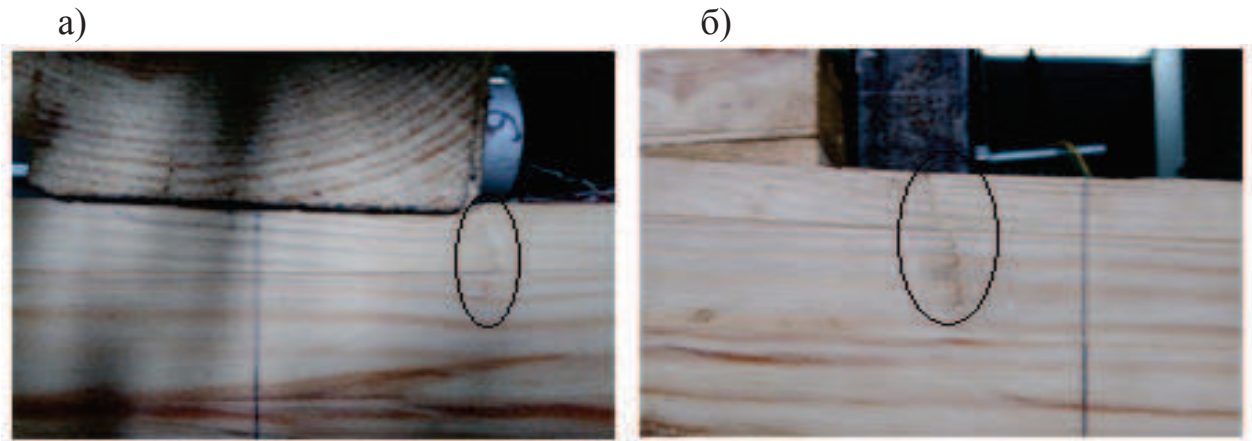


Рис. 9 Утворення складок в балці БДК-4:

а) в місці прикладання навантаження під дерев'яною підкладкою; б) в зоні чистого згину

Висновки. В результаті експериментальних досліджень були отримані нові дані щодо несучої здатності і деформативності за роботи деревини в умовах косоного згину при дії одноразових та повторних малоциклових навантаженнях. На основі цих досліджень можна зробити наступні висновки:

- встановлено руйнівні навантаження балок в умовах косоного згину при одноразових та повторних навантаженнях за різних режимів роботи від $(0,2-0,45) M_{\max}$ до $(0,2-0,95) M_{\max}$;
- середній руйнівний момент балок першої серії при дії одноразового навантаження становить 18,68 кНм;
- несуча здатність балки БДК-4 після 500 циклів випробувань в режимі роботи $(0,2-0,65) M_{\max}$ становив 20,4кНм, балки БДК-5 за режиму роботи $(0,2-0,85) M_{\max}$ після 250 циклів становив 19,8 кНм;
- балка БДК-6 за роботи в режимі повторних навантажень від $0,2 M_{\max}$ до $0,95M_{\max}$ на 103 циклі зруйнувалася за моменту 17,1 кНм;
- в місцях прикладання навантаження після дії 350 циклів утворюються складки;
- встановлено характер руйнування клеєних дерев'яних балок, що знаходяться в умовах роботи за дії косоного згину під кутом нахилу 10^0 після дії одноразових та повторних навантажень;
- руйнування балок супроводжується утворенням складок в стиснутій зоні чистого згину;
- при дії малоциклових навантажень за режимів роботи від $(0,2-0,45) M_{\max}$ до $(0,2-0,85) M_{\max}$ спостерігається незначний ріст деформацій з наступною їх стабілізацією;
- стабілізація приросту деформації в балках за режиму роботи $(0,2-0,45) M_{\max}$ відбулася на 21 циклі, за режиму $(0,2-0,65) M_{\max}$ на 150 циклі;
- приріст деформацій за дії малоциклових навантажень в режимі роботи $(0,2-0,95) M_{\max}$ відбувається поступово до моменту руйнування без наявної їх стабілізації.

1. Богданович А.Ф. Исследование деревянных конструкций под действием статической и пульсирующей нагрузок / А.Ф. Богданович // Тр. МИИТ. вып. 77. – М. – 1952. – С. 17-25
2. Вареник К.А. Расчет центрально-сжатых элементов с учетом ползучести/Кирилл Александрович Вареник // Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. – Великий Новгород, 2015- 267 с.
3. Васильев О.Ю. Довговічність пласких та просторових наскрізних дерев'яних конструкцій/ Олександр Юрійович Васильєв// Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. – Харків, 2015- 181 с.
4. Деловая М.И. Деформирование изгибаемых клееных деревянных элементов при статическом нагружении / М.И. Деловая // Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Курск – 2001- 165 с.
5. Гомон С.С. Дослідження роботи клейових швів конструкцій з деревини за дії повторних навантажень/ С.С.Гомон, А.П.Павлюк, Л.П.Гомон// Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 29. Рівне, НУВГП, 2014. – С.117-122.
6. Сасовський Т.А. Напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за дії мало циклових навантажень/ Тарас Анатолійович Сасовський// Дис. канд. техн. наук : 05.23.01-Рівне, 2016 - 209 с.
7. Гомон С.С. Малоциклова витривалість деревини повторним навантаженням / С. С. Гомон, Т. А. Сасовський // Сб. науч. трудов 15-го Международного симпозиума “Современные строительные конструкции из металла и древесины”. – Одеса: ОГАСА, 2011. – № 15, Ч. 3. – С. 18-22.
8. Гомон С.С. Прогнозування залишкового часу працездатності конструкцій з деревини за повторних навантажень /С. С. Гомон, С.С. Гомон, Т. А. Сасовський // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Випуск 31. – С. 417-421.
9. Павлюк А.П.Методика дослідження балок з цільної та клеєної деревини в умовах косоного згину /С.С. Гомон, А.П. Павлюк // Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 32. Рівне, НУВГП, 2016. – С.231-236.
10. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1976. – 28 с.
11. ДСТУ pr EN 384-2001. Лісоматеріали конструкційні. Визначення характеристичних значень механічних властивостей.2001.- 15с.
12. ДСТУ EN 380-2008 Лісоматеріали конструкційні. Загальні настанови щодо методів випробування на статичне навантаження.2008.- 8с.
13. Гомон С.С. Робота дерев'яних балок в умовах косоного згину /С.С. Гомон, А.П. Павлюк // Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 31. Рівне, НУВГП, 2015. – С.422-428.
14. Павлюк А.П.Робота балок з цільної деревини в умовах прямого та косоного згину./Зб. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві-Вип.5.Луцьк, ЛНТУ,2016.- С.259-266.
15. Гомон С.С. Зміна положення нейтральної лінії балок з цільної деревини за косоного згину в залежності від характеру обпирання і прикладання навантаження / Гомон С.С., Павлюк А.П., Поліщук М.В.//Зб. Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції – Київ, КНУБА, 2016 – С. 120-127.
16. ГОСТ 21615–76 Тензорезисторы. Методы определения характеристик.-М.: Стройиздат, 1976 - 10с.