

Єрмоленко Д.А., д.т.н., доцент
Іщенко М.С., інженер

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ КЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК, АРМОВАНИХ ПОЛІМЕРНОЮ СІТКОЮ

Наведено результати експериментальних досліджень армованих дерев'яних дощато-клеєних згинальних елементів прямокутного перерізу. Як армування застосовано полімерну сітку заводського виготовлення. Описано процес визначення фізико-механічних та геометричних характеристик вихідних матеріалів, а також процес виготовлення дослідних зразків із застосуванням інвентарного обладнання науково-дослідницької лабораторії. У процесі експериментальних досліджень виміряно деформації за тензометричною методикою та переміщення точок осі за фотограмметричною методикою. Представлено графіки розвитку прогинів та поздовжніх деформацій для середнього перерізу залежно від величини зовнішнього моменту. За результатами досліджень встановлено, що введення армування у вигляді полімерної сітки збільшує несучу здатність та знижує деформативність дерев'яних дощато-клеєних згинальних елементів.

Ключові слова: дерев'яні конструкції, клеєно-дощаті елементи, міцність, деформативність, прогини, деформації.

Єрмоленко Д.А., д.т.н., доцент
Іщенко М.С., інженер

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК, АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНОЙ СЕТКОЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований армированных деревянных дощато-клееных изгибаемых элементов прямоугольного сечения. В качестве армирования применена полимерная сетка заводского изготовления. Описано процесс определения физико-механических и геометрических характеристик исходных материалов, а также процесс изготовления опытных образцов с применением инвентарного оборудования научно-исследовательской лаборатории. В процессе экспериментальных исследований измерялись деформации по тензометрической методике и перемещения точек оси по фотограмметрической методике. Представлены графики развития прогибов и продольных деформаций для среднего сечения в зависимости от величины внешнего момента. По результатам исследований установлено, что введение армирования в виде полимерной сетки увеличивает несущую способность и снижает деформативность деревянных клеено-дощатых изгибаемых элементов.

Ключевые слова: деревянные конструкции, дощато-клееные элементы, прочность, деформативность, прогибы, деформации.

THE STRENGTH AND DEFORMABILITY OF GLUED LAMINATED WOODEN BEAMS WITH FABRIC REINFORCEMENT

The article presents the results of experimental studies of reinforced wooden glued laminated bendable elements with rectangular cross section. A polymer fabric is applied as a reinforcement. The authors describe the process of determination of physical-mechanical and geometrical characteristics of composite materials. The process of determining relevant characteristics of working strands in the polymer fabric is described in detail. A photogrammetric technique is applied to establish an estimated cross-sectional area of working strands. It is described a creating process of experimental model and equipment of the research laboratory. Attention is paid to the process of creating of pre-stress in working strands of polymer fabric. During the experimental studies, deformations and displacements are measured. Deformations are measured according to tensometric method using strain-gauge station, BHP-8. Measurement and recording of relative deformations are carried out automatically at every startup stage.

Electro-strain gage are located in the middle section. Displacement of point of the axis is measured according to photogrammetric method. This technique allows observing deflections in the middle section and the displacements in supporting sections of the experimental samples at the same time. The article presents graphs of the deflections and longitudinal strains for the middle section depending on the magnitude of the external moment. Deflections mean vertical displacement of the middle the most stressed section. In samples with fabric reinforcement the amount of deflection is less than the amount of deflection in unreinforced samples at the same level of external load. Longitudinal strains are measured at the height of the middle section. From the above graphic, you can see that the neutral line moves to the most extended fibers of the cross section of experimental models at the previous strained of polymer reinforcement.

Experimental researches have made possible to establish deformation features of wooden glued laminated beams of rectangular cross section depending on the value of pre-stressing polymer fabric reinforcement. It should be stated that polymer fabric reinforcement increases the load carrying capacity of wooden glued laminated beams of rectangular cross section by 33% and the pre-stressing of polymer reinforcement increases carrying capacity by 20%. In addition, it should be noted that fabric reinforcement has led to a change the position of the neutral axis in a strained cross section of the studied bendable elements. The deflections of test samples with fabric reinforcement are 15-20% less compared with samples without reinforcement.

Keywords: *wooden structures, glued laminated elements, strength, deformability, deflection, deformation.*

Вступ. Високі темпи й рівень сучасного будівництва висувають якісно нові вимоги до будівельних матеріалів і конструкцій. При цьому значна увага приділяється виробництву клеєних дерев'яних конструкцій. Такі конструкції по ряду техніко-економічних показників перевершують металеві та залізобетонні: мають малу вагу, відносно високу міцність і жорсткість при достатній надійності й довговічності. У той же час негативні властивості деревини (анізотропія механічних властивостей, вартість якісного пиломатеріалу, масивність перерізів, повзучість тощо) обмежують сферу застосування та погіршують показники клеєних дерев'яних конструкцій.

Висока міцність і жорсткість у поєднанні з малою вагою та спроможність опиратися впливу агресивного середовища роблять ці конструкції незамінними в сільськогосподарському будівництві. Крім того, для великопрольотних конструкцій у важкодоступних та віддалених від магістральних шляхів районах застосування клеєних дерев'яних конструкцій дозволяє виконувати укрупнене збирання. Легкі несучі клеєні армовані конструкції застосовуються в найрізноманітніших галузях будівництва: при зведенні видовищно-спортивних, сільськогосподарських та складських будівель, пролітних будов мостів і естакад, будівель хімічних виробництв тощо. З іншого боку, це висуває до них вельми високі вимоги, оскільки в процесі експлуатації можливі впливи перепадів температури та вологості, агресивних середовищ, повторних короткочасних і тривалих навантажень. Розроблення і дослідження клеєних армованих дерев'яних конструкцій для будівництва є важливим завданням зі створення нових видів ефективних несучих конструкцій на основі деревини.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Ідея використання в конструкціях спільної роботи деревини та металу знайшла подальший розвиток в армованих дерев'яних конструкціях і елементах. У 1921 р. А. Клайт (США) запропонував використовувати в конструкціях аеропланів та дирижаблів несучий дерев'яний елемент коробчастого перетину із запресованим сталевим дротом у полки [1].

Цей елемент можна вважати прообразом сучасних армованих дерев'яних конструкцій. Однак труднощі, пов'язані з виготовленням таких конструкцій, і відсутність надійних засобів з'єднання сталевих дроту з деревиною не дозволили реалізувати цю пропозицію.

Армувати сталевими прутами дерев'яні брущаті балки й колони в несучих будівельних конструкціях уперше запропонував А. Фішер (Німеччина) в 1926 р. [1]. Сталеві прутки повинні були укладатися в пази квадратного перетину і заливатися спеціальною мастикою, склад якої автор не наводить.

Застосування армування дозволяє абсолютно по-новому й більш ефективно вирішувати вузлові з'єднання і стики дерев'яних конструкцій, що підвищує їх збірність, полегшує транспортування та монтаж [2 – 7], а також питання ремонту й реконструкції діючих підприємств [6, 8].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Застосування як армування дерев'яних конструкцій у вигляді окремих стрижнів потребує використання спеціальних анкеруючих засобів або виконання додаткових підготовчих технологічних операцій, зокрема виготовлення пазів у підготовлених дерев'яних матеріалах тощо. Арматурні стрижні з полімерних матеріалів не допускають перегинів та різного роду механічних пошкоджень під час виготовлення. Це значно знижує їх механічні властивості. Крім того, залежно від способу анкерування можливе розшарування таких стрижнів. Застосування як армуючого елемента полімерної сітки з робочими нитками дозволяє позбутися недоліків полімерних стрижнів.

Постановка завдання. Використання армування з полімерного матеріалу дощато-клеєних дерев'яних елементів потребує вивчення особливостей їх роботи під навантаженням. Для цього потрібно розробити методику експериментальних досліджень несучої здатності та деформованого стану дощато-клеєних дерев'яних елементів з армуванням полімерною сіткою й провести самі дослідження.

Основний матеріал і результати. Програма експериментальних досліджень передбачає: вивчення механічних властивостей вихідних матеріалів; розроблення конструкції дослідних зразків; розташування та закріплення вимірювальних засобів; випробування дослідних зразків і аналіз результатів.

Матеріали

Для виготовлення експериментальних зразків використовувалися соснові дошки 2-го сорту, розмірами 27,5×70×2200 мм. Модуль пружності деревини визначався за стандартними зразками. Застосовувалися тензометри Гугенберґера (рис. 1). Величина модуля пружності деревини склала $E = 13560$ кПа.

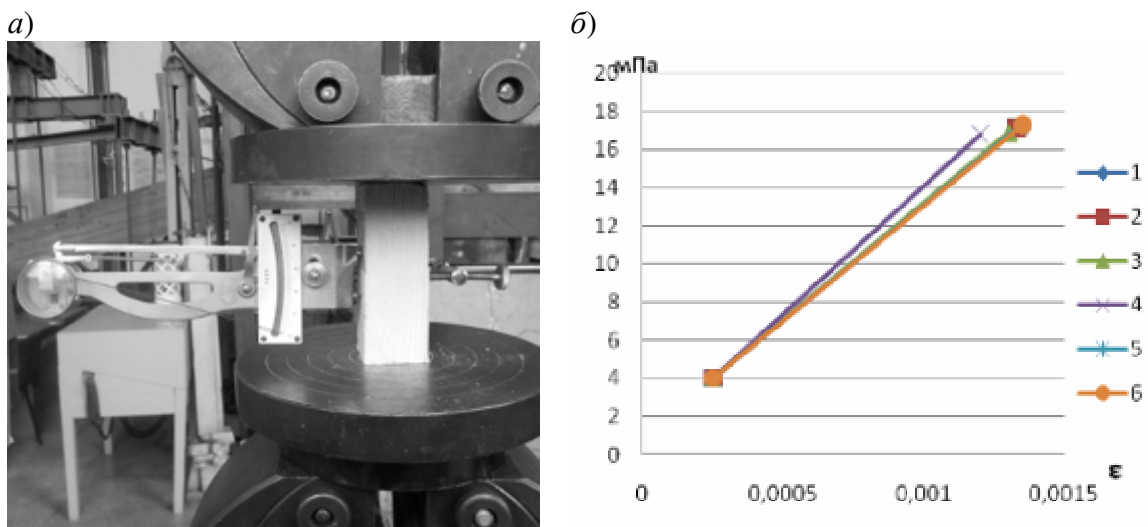


Рисунок 1 – Визначення механічних характеристик деревини:
а – випробування на стиск; б – визначення модуля деформації деревини

Як армуючий матеріал застосовано полімерну сітку із чарунками 11×11 мм. Окрема нитка складається з двох джгутів. Площа нитки визначалася за фотознімками (рис. 2) з накладанням сіток (площа чарунок відома).

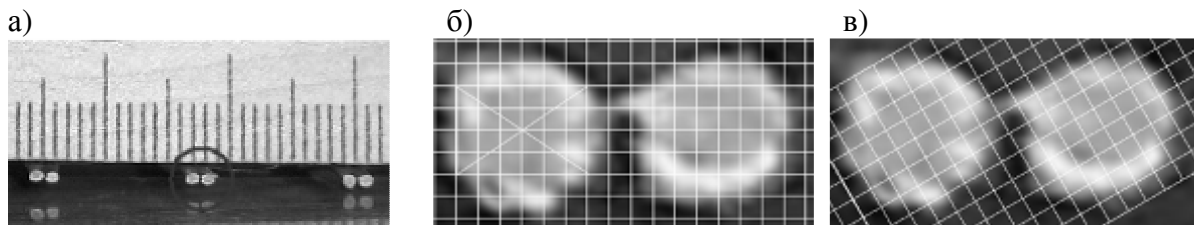


Рисунок 2 – Вимірювання площі перерізу полімерної сітки:
а – зображення перерізу нитки сітки; б, в – сітка із чарунками з відомою площею

Механічні властивості сітки визначались за результатами випробувань на розтяг. Зразки були двох типів: смуга сітки із шести робочих ниток (рис. 3, а); окремі нитки (рис. 3, б). Площа перерізу однієї нитки – 0,008 см². Діаграму роботи матеріалу полімерної сітки наведено на рисунку 3, в.

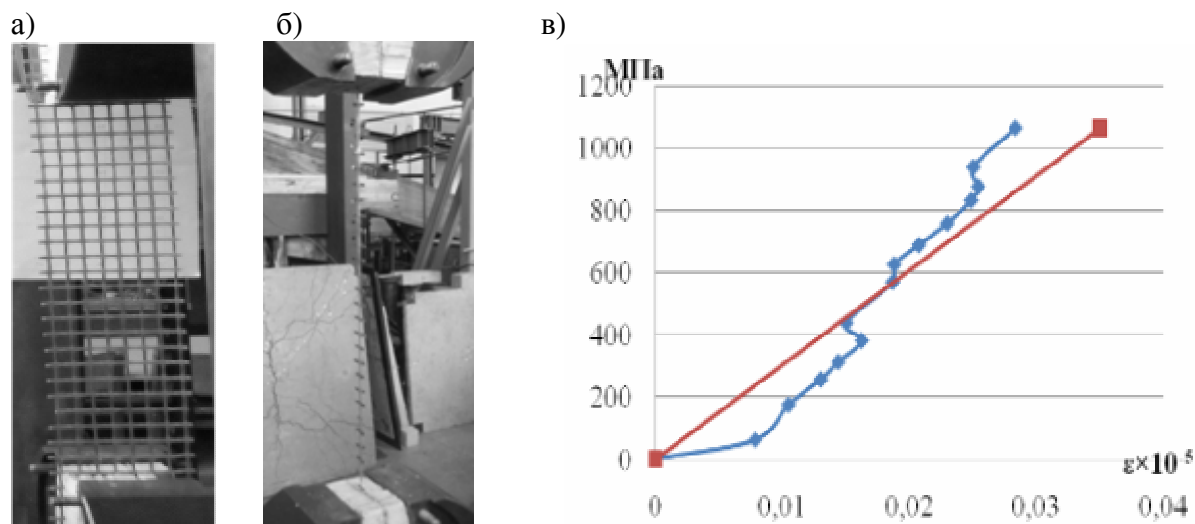


Рисунок 3 – Діаграма роботи полімерної сітки:

а – розтяг фрагменту сітки; б – розтяг нитки; в – діаграма роботи на розтяг

Величина модуля пружності сітки склала $E = 53571$ кПа. Максимальне подовження до розриву 2,8%.

Конструкція та технологія виготовлення дослідних зразків.

Згідно з прийнятою програмою експериментальних досліджень було виготовлено три серії дослідних зразків: ДКБ – дощато-клеєна балка; ДКБА1 – дощато-клеєна балка, армована полімерною сіткою; ДКБА2 – дощато-клеєна балка, армована попередньо напруженою полімерною сіткою. Усі дослідні зразки мали габаритні розміри $2200 \times 220 \times 70$ мм. Пакет складався з восьми соснових дощок 2-го сорту. Армування полімерною сіткою розташовувалося між першою та другою дошкою від нижньої грані перерізу (кількість армування – $0,096 \text{ см}^2$).

Склеювання пакетів виконувалося на інвентарному стенді у лабораторії кафедри конструкцій з металу, дерева та пластмас (рис. 4, а). Пакет зразків серії ДКБ формувався за один раз. Пакети зразків з армуванням формувались у декілька етапів. Так зразки серії ДКБА1 виготовлялись у такій послідовності: склеювався пакет із семи дощок; у шар клею на епоксидному в'язучому втоплювалась полімерна сітка і накладалася восьма дошка.

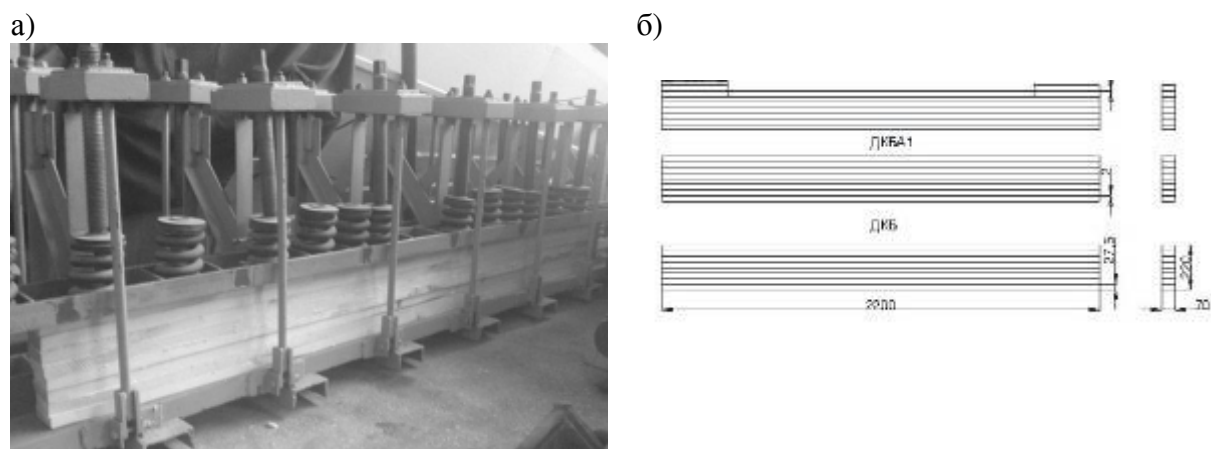


Рисунок 4 – Дослідні зразки під час склеювання:

а – серії ДКБ; б – серії ДКБА2

Зразок ДКБА2 спочатку виготовляли із шести дошок. Потім виконувалось анкерування полімерної сітки у два шари розмірами 2200×70 мм і одна сторона анкерування склеювалася з балкою. Анкерування виконувалося між дошками розмірами 330×70×27,5 мм (рис. 5, а). Після склеювання анкерування (48 годин) між закріпленням проклеювалися дві дошки і за допомогою клинців виконувалося попереднє напруження на 20% (рис. 5, б).

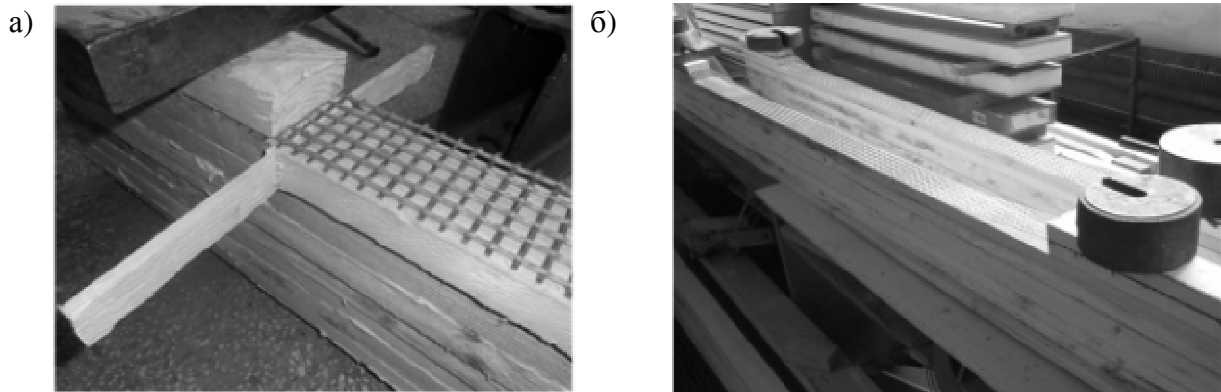


Рисунок 5 – Виготовлення зразків серії ДКБА2:

а – анкерування полімерної сітки; б – попереднє напруження полімерної сітки

Сітка склеювалася з дошками епоксидним клеєм, наповненим піском, просіяним через сито (1 мм). Частка смоли – 100, затверджувача – 12, піску – 200.

Методика проведення експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження армованих дощато-клеєних елементів проводилися в лабораторії кафедри конструкцій з металу, дерева та пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Випробування виконували на гідравлічному пресі УИМ-50. Зусилля передавалися через шарніри (рис. 6, а).

Завантаження здійснювалося ступенями по 0,05÷0,1 від передбачуваного теоретичним розрахунком руйнівного навантаження N . На всіх ступенях вимірювалися деформації середнього перерізу та зміна геометрії поздовжньої осі. Деформації матеріалу вимірювалися тензометричним способом із застосуванням ВНП-8 (рис. 6, б). Переміщення точок поздовжньої вісі вимірювалися фотограмметричним методом [10].

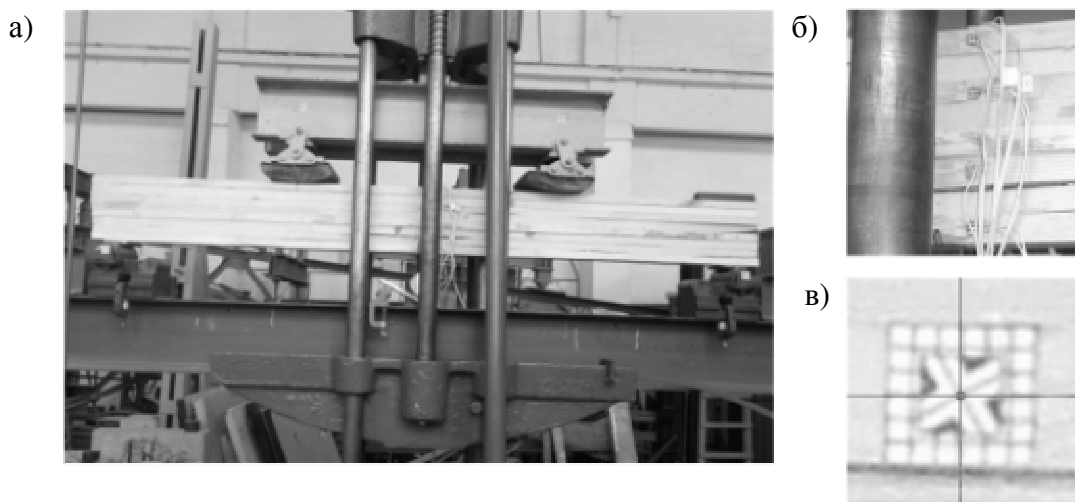


Рисунок 6 – Дослідний зразок під час випробування:

а – в установці; б – розташування електротензорезисторів; в – фотограмметрична марка

Зразок ДКБ зруйнувався при навантаженні в 9,6 кН·м. ДКБА1 за рахунок армування полімерною сіткою остаточно зруйнувався при навантаженні в 12,8 кН·м. ДКБА2 зруйнувався при навантаженні в 13,8 кН·м.

У момент руйнування зразок серії ДБК мав дуже викривлену вісь.

На рисунку 7 наведено графіки розвитку прогинів середнього перерізу дослідних зразків усіх серій залежно від величини зовнішнього згинального моменту.

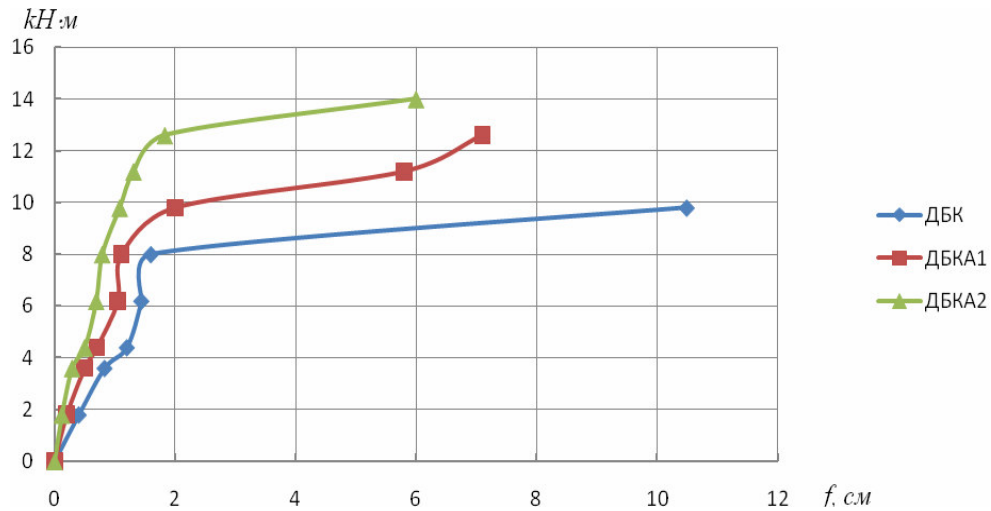


Рисунок 7 – Прогини дослідних зразків

На рис. 8 наведено графіки розподілу поздовжніх деформацій по висоті середнього перерізу дослідних зразків різних серій залежно від величини зовнішнього зусилля.

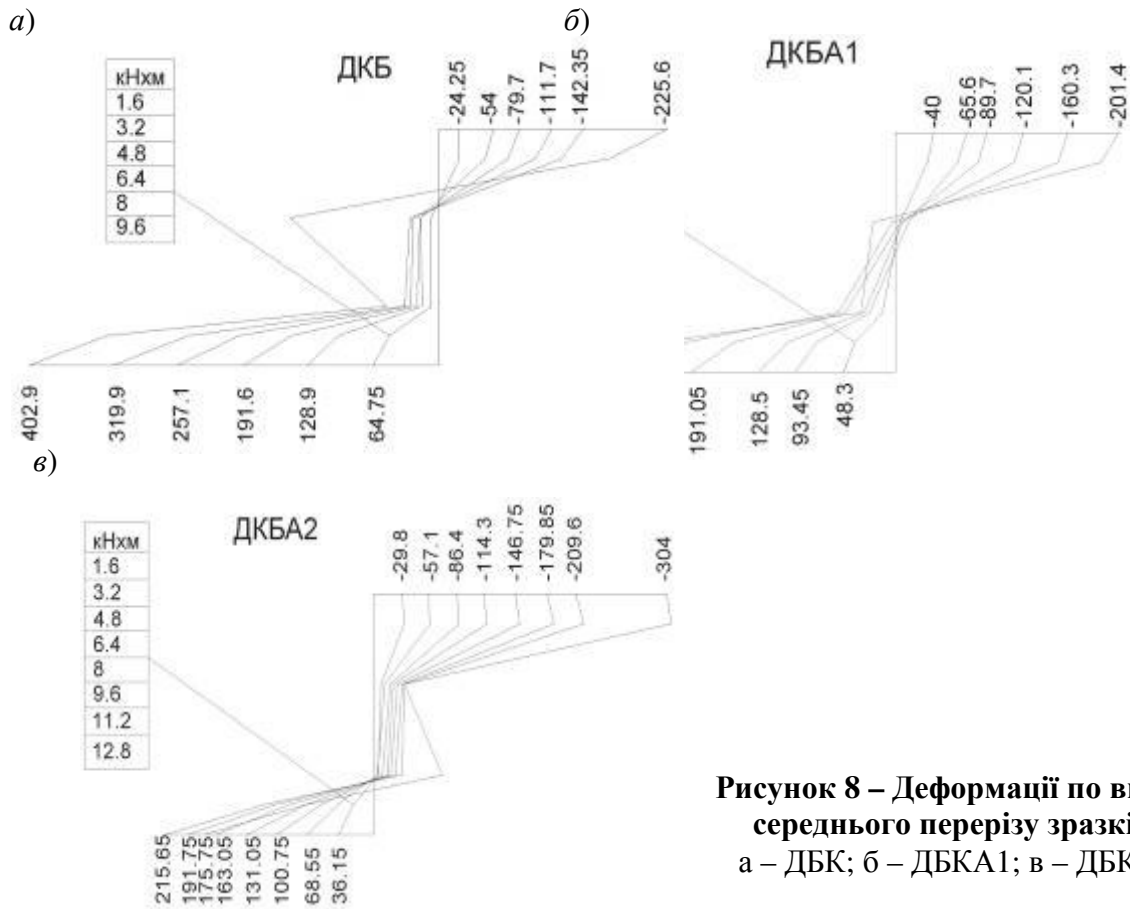


Рисунок 8 – Деформації по висоті середнього перерізу зразків:

а – ДБК; б – ДКБА1; в – ДКБА2

Висновки. Експериментальні дослідження дозволили встановити, що армування полімерною сіткою підвищує несучу здатність дерев'яних дощато-клеєних балок прямокутного перерізу на 33%, а попереднє напруження полімерного армування на 20% підвищує додатково несучу здатність ще на 10%.

Крім того, слід відмітити, що введення армування у вигляді полімерної сітки призвело до змінення положення нейтральної осі у більш напруженому поперечному перерізі досліджуваних згинальних елементів. Прогини дослідних зразків з армуванням полімерною сіткою на 15 – 20 % менші порівняно із зразками без армування.

Література

1. Чихаев Н. А. *Деревянные конструкции* / Н. А. Чихаев. – М., 1947. – 54 с.
2. *Пособие по проектированию деревянных конструкций*. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
3. ДБН В.2.6-161:2010. *Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції*. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 106 с.
4. Соротокин В. М. *О прочности и деформативности клееного соединения арматуры с древесиной* / В. М. Соротокин, А. Б. Шолохова, А. С. Фрейдін // *Разработка и исследование клееных деревянных и фанерных армированных конструкций: труды ЦНИИСК*. – М., 1972. – Вып. 24. – С. 40 – 46.
5. Турковский С. Б. *Опыт применения клееных деревянных конструкций в Московской области* / С. Б. Турковский и др. – М.: Стройиздат, 1987. – Вып. 2. – 54 с.
6. Щуко В. Ю. *Оптимальное проектирование армированных деревянных конструкций* / В. Ю. Щуко, С. Л. Молотовициков, С. И. Рощина // *Расчет и оптимальное проектирование строительных конструкций: материалы междунар. симпозиума*. – Владимир, 1996. – С. 26 – 29.
7. Щуко С. А. *Технико-экономическая оценка эффективности клееных армированных деревянных конструкций* / С. А. Щуко, А. Н. Козулин // *Известия вузов*. – 1972. – № 11. – С. 124 – 126.
8. Рощина С. И. *Длительная прочность и деформативность треугольных арок с клееным армированным верхним поясом* / С. И. Рощина // *Материалы обл. конф.* – Владимир, 1999. – С. 35 – 37.
9. Єрмоленко Д. А. *Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів: монографія* // Д. А. Єрмоленко. – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. – 316 с.

References

1. Chihaev N. A. *Derevyannye konstruksii* / N. A. Chihaev. – M., 1947. – 54 s.
2. *Posobie po proektirovanii derevyannyh konstruksiy*. – M.: Stroyizdat, 1986. – 216 s.
3. DBN V.2.6-161:2010. *Konstruksiyi budinkiv i sporud. Derev'yani konstruksiyi*. – K.: DP «Ukrarhbudinform», 2011. – 106 s.
4. Sorotokin V. M. *O prochnosti i deformativnosti klevogo soedineniya armatury s drevesinoy* / V. M. Sorotokin, A. B. Sholohova, A. S. Freydin // *Razrabotka i issledovanie kleenyh derevyannyh i fanernyh armirovannyh konstruksiy: trudy TsNIISK*. – M., 1972. – Vyp. 24. – S. 40 – 46.
5. Turkovskiy S. B. *Opyt primeneniya kleenyh derevyannyh konstruksiy v Moskovskoy oblasti* / S. B. Turkovskiy i dr. – M.: Stroyizdat, 1987. – Vyp. 2. – 54 s.
6. Shchuko V. Yu. *Optimalnoe proektirovanie armirovannyh derevyannyh konstruksiy* / V. Yu. Shchuko, S. L. Molotovshchikov, S. I. Roshchina // *Raschet i optimalnoe proektirovanie stroitelnyh konstruksiy: materialy mezhdunar. simpoziuma*. – Vladimir, 1996. – S. 26 – 29.
7. Shchuko S. A. *Tehniko-ekonomicheskaya otsenka effektivnosti kleenyh armirovannyh derevyannyh konstruksiy* / S. A. Shchuko, A. N. Kozulin // *Izvestiya vuzov*. – 1972. – № 11. – S. 124 – 126.
8. Roshchina S. I. *Dlitelnaya prochnost i deformativnost treugolnyh arok s kleenym armirovannym verhnim pojasom* / S. I. Roshchina // *Materialy obl. konf.* – Vladimir, 1999. – S. 35 – 37.
9. Ermolenko D. A. *Ob'emnyy napruzhenno-deformovaniy stan trubobetonnyh elementiv: monografiya* // D. A. Ermolenko. – Poltava: Vidavets Shevchenko R.V., 2012. – 316 s.

© Єрмоленко Д.А., Іщенко М.С.
Надійшла до редакції 30.05.2016