

ЖОРСТКІСТЬ БАЛОК ІЗ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ З КОМБІНОВАНИМ АРМУВАННЯМ

STIFFNESS OF GLUED WOODEN BEAMS WITH COMBINED REINFORCEMENT

Гомон С.С., к.т.н., проф., ORCID.ORG/0000-0003-2080-5650, Поліщук М. В., аспірант ORCID.ORG/ 0000-0003-1981-8008 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),

Gomon S.S, candidate of technical sciences, professor, Polishchuk M. V., post-graduate student (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

Досліджено роботу балок із клеєної деревини з комбінованим армуванням при якому стиснута зона армована сталевією стержневою арматурою, а розтягнута композитною стрічкою на основі вуглецевих волокон. Наведено дані щодо зміни жорсткості досліджуваних зразків під навантаженням.

Due to the dynamic development and use of glued timber structures, there is a need for comprehensive research. In particular, increasing the strength of such structures by means of reinforcement is a pressing issue. Recent studies have shown good prospects for using synthetic fiber-based composites to improve the properties of wooden structures. The development and availability of synthetic fibers have made composite reinforcement effective in reinforcing glued wood elements. The purpose of this work is to investigate the stiffness of glued wooden beams reinforced with different types of reinforcement in the compressed and stretched zone. Two series of beams were prepared for research. All beams had a rectangular cross section of 100x150 mm and was 3 m long. The first series included two glued unreinforced beams. They were tested to determine the fracture load, to establish control deflections and to compare them with the corresponding deflections of reinforced beams. The second series included two glued reinforced beams. They were reinforced with a 12 mm diameter steel rod in the compressed zone and a Sika CarboDur S-512 carbon fiber tape in the stretched zone. Due to the combined reinforcement, an attempt is made to increase the stiffness and bearing capacity of the glued wood elements under flexural loading. The test specimens were loaded using a jack by two concentrated loads. The deflections of all beams were measured using the deflection indicators that were installed above the supports, in the middle of

the span and additionally under concentrated loads. After processing the obtained data, comparative graphs of the variation of deflection versus bending moment were constructed. As a result of research, the data on the flexural behavior of glued timber beams with combined reinforcement were obtained for the first time. Allowable deflections for reinforced glued timber elements were achieved at a flexural load of 12.5 kNm, which was more than 1.5 times greater than the bending moments of beams without reinforcement. The deflections of unreinforced beams at each load level were on average 60% higher than the deflections of reinforced beams at the same load level.

Ключові слова:

Клеєна деревина, жорсткість, сталева арматура, композитна арматура.
Glued wood, stiffness, steel reinforcement, composite reinforcement

Вступ. Можна з упевненістю сказати, що конструкції з клеєної деревини стали невід'ємною частиною будівництва по всьому світу протягом останніх років. Особливо затребуваними вони стають при застосуванні сучасних архітектурно-проектних рішень унікальних будівель і споруд. У зв'язку із збільшенням попиту та розширенням областей їх застосування збільшується і номенклатурне різноманіття таких виробів (дощатих, гнукотклеєних, брускових, щитових, та ін.). Крім того, для посилення цих конструкцій виконують їх армування за допомогою сталевий арматури у вигляді стержнів, стрічок, сіток чи за допомогою сучасної композитної арматури різних видів. Таким чином досягаються ще вищі показники міцності та жорсткості клеєних дерев'яних елементів.

Стан питання та задачі дослідження. Унаслідок динамічного розвитку з виготовлення та використання клеєних дерев'яних конструкцій виникає необхідність всебічного їх дослідження. Останні дослідження показали хороші перспективи введення композитних матеріалів на основі синтетичних волокон до складу дерев'яних конструкцій для досягнення кращих властивостей. Розвиток армопластиків та доступність синтетичних волокон зробили композитну арматуру ефективною альтернативою при армуванні деревини. Армунням дерев'яних конструкцій композитними матеріалами свої роботи присвятили Демчина Б. Г., Сурмай М.І., Стоянов В. В., Єрмоленко Д.А., Gugutsidze G, Гомон С.С. та ін. [1, 2, 3, 4, 5]. Також в роботі [6] детально було проведено дослідження підсилених елементів з деревини п'яти порід різними композитами CFRP. Встановлено оптимальний коефіцієнт підсилення CFRP, поза яким не досягається збільшення несучої здатності.

Виходячи з вище сказаного, розгляд та дослідження варіанту комбінованого армування клеєної дерев'яної балки [5, 7] при якому у пазах стиснутої зони балки розміщувалась сталева стержнева арматура періодичного профілю, а ззовні розтягнутої зони була приклеєна стрічкова композитна арматура Sika CarboDur S-512 є актуальним і для нашої країни,

оскільки такі конструкції на даний час малодосліджені порівняно з залізобетонними чи металевими.

Метою даної роботи є дослідження жорсткості клеєних дерев'яних балок армованих одночасно різними видами арматури в стиснутій та розтягнутій зонах.

Методика досліджень. Для проведення досліджень було підготовлено дві серії балок довжиною 3000 мм та розмірами поперечного перерізу 100x150 мм. Балки формувалися із пакету соснових дошок товщиною 25 мм та склеювалися на спеціальному стенді з використанням резорцинового клею.

До першої серії належало дві клеєні неармовані балки БК-А та БК-Б, які випробовувались для визначення руйнівного навантаження і встановлення контрольних прогинів для порівняння їх із відповідними прогинами армованих балок. До другої серії належало дві клеєні армовані балки БКА-12А та БКА-12Б, які у стиснутій зоні містили сталеву стержневу арматуру діаметром 12 мм, а в розтягнутій – вуглепластикову стрічкову. У якості сталевий арматури використано два стержні періодичного профілю діаметром 12 мм класу А500С, які вклеювалися у пази за допомогою епоксидного клею. Композитна стрічка з вуглеволокна Sika CarboDur S-512 товщиною 1,2 мм та шириною 25 мм приклеювалась знизу розтягнутої зони за допомогою відповідного клею SikaDur-30. Дві армовані балки відрізнялися тим, що композитна стрічка в балці БКА-12Б додатково анкерувалась біля опор за допомогою тканини з вуглецевих волокон SikaWrap-230С. Схему армування балок другої серії показано на рис. 1.

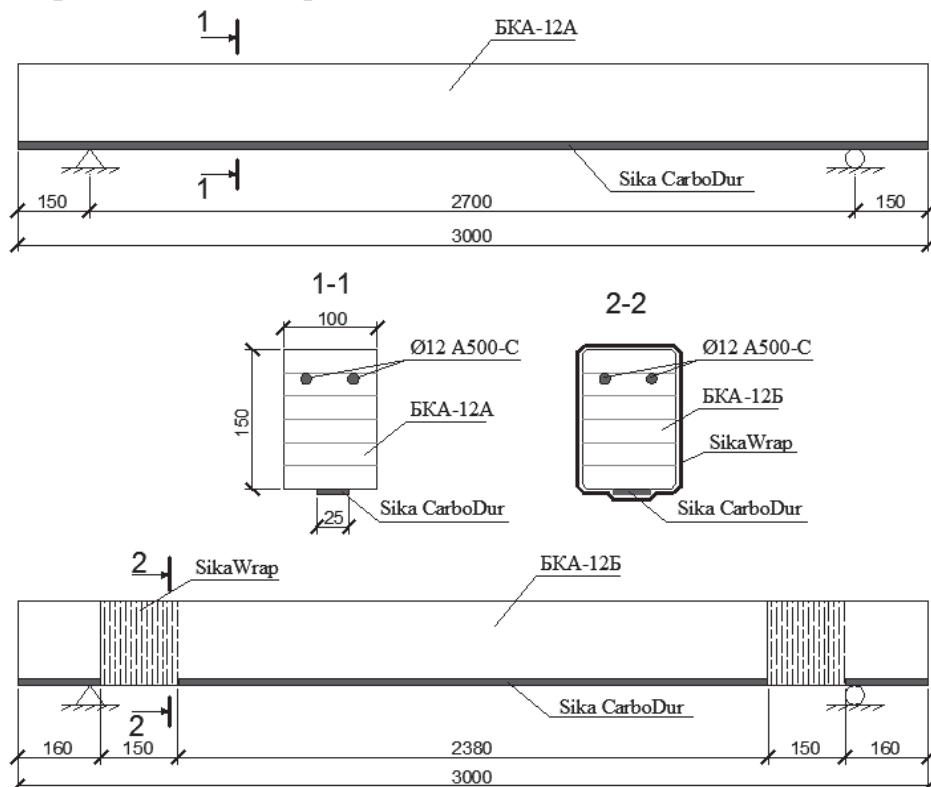


Рис. 1. Схема армування балок другої серії сталевую та композитною арматурою

Таким чином робиться спроба за рахунок комбінованого армування збільшити жорсткість і несучу здатність як стиснутої так розтягнутої зон елементів з клеєної деревини за роботи на поперечний згин.

Дослідні зразки встановлювались на одну шарнірно рухому та другу нерухому опори та завантажувались двома зосередженими силами у третинах прольоту. Навантаження задавалось ступенями 5-10% від очікуваного руйнівного за допомогою домкрата та контролювалось кільцевим динамометром. В місцях передачі навантаження на балку, а також місцях обпирання балки на опори встановлювались дерев'яні та металеві підкладки, що зменшувало концентрацію місцевих напружень і запобігало зминанню деревини поперек волокон (зерен).

Схема завантаження зразків та розміщення вимірювальних приладів показані на рис. 2.

Прогини всіх балок вимірювались з використанням прогиномірів 6ПАО, які встановлювались над опорами для визначення просідання самих опор, посередині прольоту та додатково під зосередженими силами. Відліки знімалися на кожному ступені завантаження після витримки близько 5 хв. При досягненні близько 80 % від очікуваного руйнівного навантаження прогиноміри знімалися з метою запобігання їх пошкодження у разі можливого руйнування дослідних зразків.

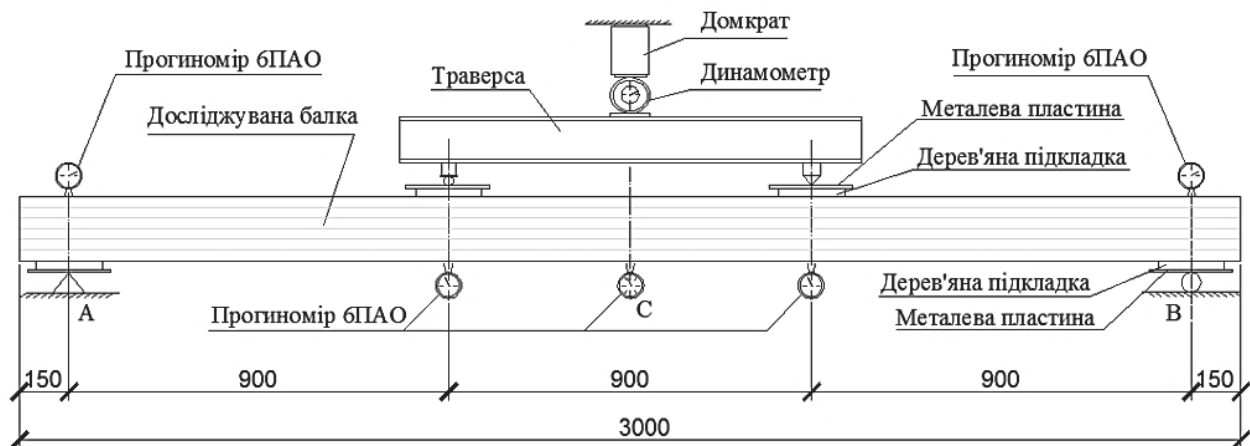


Рис. 2. Схема завантаження досліджуваних зразків та розміщення вимірювальних приладів

Результати досліджень. Після обробки отриманих даних було побудовано графіки зміни прогинів балок залежно від згинального моменту посередині прольоту (рис. 3).

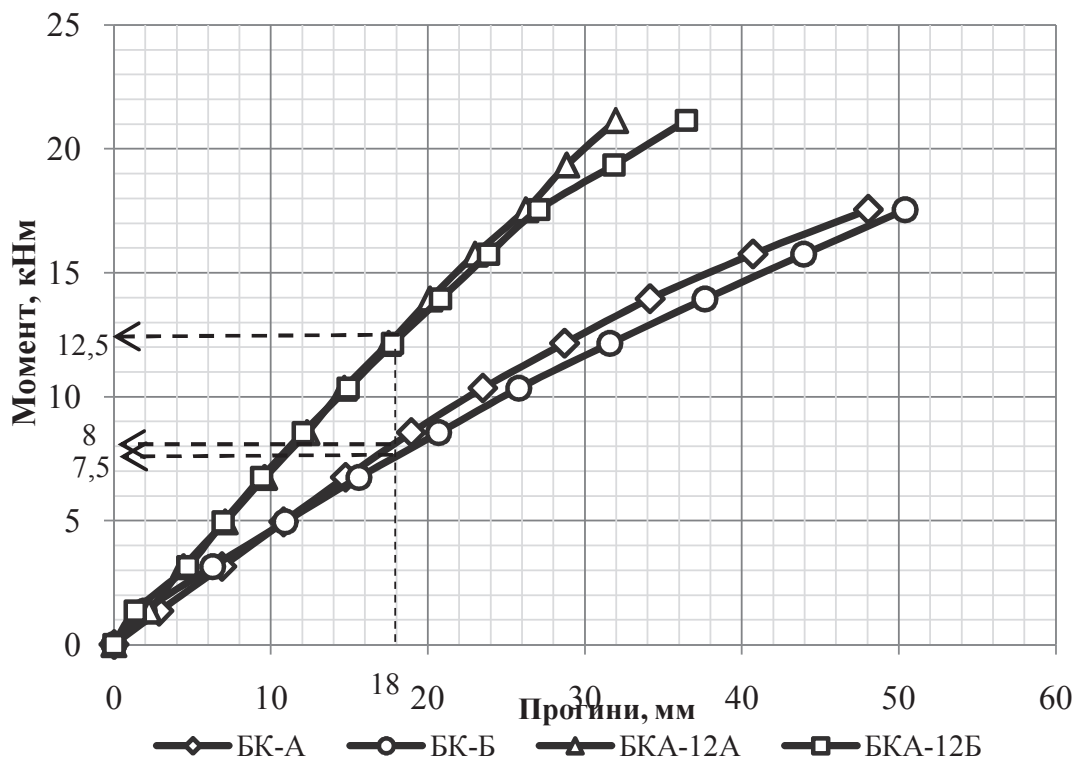


Рис. 3. Діаграма прогинів досліджуваних балок

Значення прогинів на кожному ступені навантаження визначалось за формулою:

$$w = w_C - (w_A + w_B)/2, \quad (1)$$

де w_A – просідання опори А, мм; w_B – просідання опори В, мм; w_C – прогин посередині прольоту, мм.

Значення гранично допустимого прогину становить $\frac{1}{150} l$ згідно [8], де l – проліт балки. Таким чином для наших зразків граничний прогин становитиме:

$$w_{fin} = \frac{l}{150} = \frac{2700}{150} = 18 \text{ мм} \quad (2)$$

З побудованих діаграм деформування балок видно, що граничні прогини для неармованих елементів були досягнуті при навантаженні: для балки БК-А - 8 кНм; для балки БК-Б - 7,5 кНм. У той же час для обох балок з комбінованим армуванням це значення було досягнуто за згинаючого моменту в 12,5 кНм, який більше як у півтора рази перевищував значення, що були отримані для балок без армування.

Руйнівні навантаження досліджуваних балок наведено в табл. 1

Руйнівні навантаження дерев'яних балок

Назва зразка	Серія	Армування	Руйнівний момент, М, кНм
БК-А	I	Не армов.	23,85
БК-Б	I	Не армов.	22,05
БКА-12А	II	2Ø12 А500С + Sika CarboDur S-512	26,55
БКА-12Б	II	2Ø12 А500С + Sika CarboDur S-512 + SikaWrap-230 С	31,05

Характер руйнування випробуваних балок показано на рис. 4.

а)



б)



Рис. 4. Характер руйнування балки БК-А (а) та БКА-12А (б)

Висновки. 1. У результаті проведених досліджень вперше були отримані нові дані щодо роботи балок із клеєної деревини з комбінованим армуванням.

2. Граничні прогини для армованих клеєних дерев'яних елементів були досягнуті при навантаженні за згинаючого моменту в 12,5 кНм, який був більше як 1,5 рази більшим за згинаючі моменти балок без армування.

3. Прогини неармованих клеєних дерев'яних балок на кожному рівні навантаження були у середньому на 60 % більшими за прогини армованих балок на тому ж ступені навантаження.

1. Демчина Б. Г., Сурмай М.І., Кравз А.Р., Бляхар Т.Й. Досвід виготовлення дощатоклеєних балок армованих неметалевою арматурою // Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель і споруд: Вісник ДонНАБА. – Вип. 5 (85): т. II – Макіївка, ДонНАБА, 2010. – с. 193-197.

Demchyna B. H., Surmai M.I., Kravz A.R., Bliakhar T.I. Dosvid vyhotovlennia doshchatokleienykh balok armovanykh nemetalevoiu armaturoiu // Suchasni budivelni materialy, konstruktsii ta innovatsiini tekhnolohii zvedennia budivel i sporud: Visnyk DonNABA. – Vyp. 5 (85): t. II – Makiivka, DonNABA, 2010. – s. 193-197.

2. Стоянов В. В. Усиление балочных конструкций методом послойного армирования / В. В. Стоянов // Известия вузов Строительство. – 2013. – №11. – с. 44-47.

. Stoianov V. V. Usylenye balochnykh konstruktsiyi metodom posloinoho armyrovaniya / V. V. Stoianov // Yzvestiya vuzov Stroytelstvo. – 2013. – №11. – s. 44-47.

3. Єрмоленко Д.А. Міцність та деформативність клеєних дерев'яних балок, армованих полімерною сіткою / Д.А. Єрмоленко, М.С. Іщенко // ACADEMIC JOURNAL Series: IndustrialMachineBuilding, CivilEngineering. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 2 (47). – С. 140-147.

Yermolenko D.A. Mitsnist ta deformatyvnist kleienykh derevianykh balok, armovanykh polimernoiu sitkoiu / D.A. Yermolenko, M.S. Ishchenko // ACADEMIC JOURNAL Series: IndustrialMachineBuilding, CivilEngineering. – Poltava: PNTU, 2017. –Т. 2(47).–S. 140-147.

4. Gugutsidze G., Draškovič F. Reinforcement of timber beams with carbon fibers reinforced plastics // Slovak Journal of Civil Engineering. – 2010. – №2 –Р. 1-6.

5. Гомон С. С. Влаштування комбінованого армування балок із клеєної деревини / С. С. Гомон, М. В. Поліщук // Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села. Розробка інноваційних моделей екопоселень Прикарпаття та Карпат». Тези доповідей. Дубляни, 2019.–с.99-100.

Homon S. S. Vlashtuvannia kombinovanoho armuvannia balok iz kleienoї derevyny / S. S. Homon, M. V. Polishchuk // Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Efektyvni tekhnolohii i konstruktsii v budivnytstvi ta arkhitektura sela. Rozrobka innovatsiinykh modelei ekoposelen Prykarpattia ta Karpat». Tezy dopovidei. Dubliany, 2019. – s. 99-100.

6. Yail J. Kim. Modeling of timber beams strengthened with various CFRP composites/ Yail J. Kim, Kent A. Harries/ Author links open overlay panel. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.06.011>.

7. Патент на корисну модель № 135229 Україна, МПК E04C 3/12 (2006.01). Клеєна дерев'яна балка / Гомон С.С., Поліщук М.В.; заявники і власники Національний університет водного господарства та природокористування, Гомон С.С., Поліщук М.В. -№ u 201900104; заяв. 03.01.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. №12.

Patent na korysnu model № 135229 Ukraina, МПК E04S 3/12 (2006.01). Kleiena dereviana balka / Homon S.S., Polishchuk M.V.; zaiavnyky i vlasnyky Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, Homon S.S., Polishchuk M.V. - № u 201900104; zaiav. 03.01.2019; opubl. 25.06.2019, Biul. №12.

8. ДБН В.2.6-161:2017.Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення.-Київ: ДП Укрархбудінформ, 2017.- 111с.

DBN V.2.6-161:2017.Konstruktsii budynkiv i sporud. Dereviani konstruktsii. Osnovni polozhennia.-Kyiv: DP Ukrarkhbudinform, 2017.- 111s.