

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ З ЦІЛЬНОЇ ТА КЛЕСНОЇ ДЕРЕВНИ ЗА ПОПЕРЕЧНОГО ЗГИНУ

WAYS TO INCREASE THE RIGIDITYS OF ELEMENTS FROM WHOLE AND GLUE WOOD WITH TRANSVERSE BENDING

Бабич В.Є., к.т.н., доц., ORCIDID: 0000-0003-2811-2423, Гомон П.С., к.т.н., доц., ORCIDID: 0000-0002-5312-0351, Пращур О., студент. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Babych V.Y., Candidate of Technical Sciences, associate professor, Gomon P.S., Candidate of Technical Sciences, associate professor, Prashchur O., stud. (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

На основі досліджень роботи балок із клесної деревини з комбінованим армуванням проведено аналіз шляхів підвищення жорсткості елементів, що працюють на поперечний згин. Конструкція балок передбачала удосконалення елементів з клесної деревини, що працюють на поперечний згин, шляхом комбінованого армування. Армування стиснутої зони елемента, як найбільш слабкої, для запобігання утворення складки, проводилося сталевую стержневою арматурою. Армування розтягнутої зони – зовнішньою полімерною композитною стрічкою або попередньо напруженою композитною стрічкою із високоміцних композитних матеріалів. За рахунок армування балок таким чином, та аналізу їх роботи, розроблені методики збільшення жорсткості елементів з суцільної чи клесної деревини за супротиву їх поперечному згину. Дані методики засновані на базі прийнятого “розрахункового поперечного перерізу” та чотирьох стадій напружено-деформованого стану елемента з деревини, що працює на поперечний згин.

Abstract. On the basis of researches of work of beams from glued wood with the combined reinforcement the analysis of ways of increase of rigidity of the elements working on cross bending is carried out. The design of the beams provided for the improvement of glued wood elements by combined reinforcement. Reinforcement of the compressed zone of the element, as the weakest, to prevent the formation of folds, was carried out with steel rod reinforcement. Reinforcement of the stretched zone - by external tape reinforcement and tape prestressed reinforcement from high-strength composite materials. Due to the reinforcement of the beams in this way, and the analysis of their work, methods have been developed to increase the

stiffness of elements made of solid or glued wood for resistance to their transverse bending. These techniques are based on the accepted "calculated cross section" and four stages of the stress-strain state of the element of wood working on the transverse bend.

New experimental data on the change of stiffness of glued wood beams due to the use of combined reinforcement are obtained. Based on the tests and comparative deflections of non-reinforced and reinforced beams with steel rod reinforcement glued to the grooves of the compressed zone and composite carbon fiber tape glued to the outside of the stretched zone.

Reinforcement of the compressed and stretched zone gives noticeable results. Therefore, for samples GRB-16A, GRB-16B with a reinforcement diameter of 16 mm in the compressed zone, the value of the deflection was achieved at a load, on average, 39% greater than for non-reinforced beams. However, it should be noted that the total bearing capacity of these samples was the largest. Samples with 12 mm reinforcement in the compressed zone showed higher rigidity. For them, the maximum deflection was achieved under load, which is 61% more than the average value for non-reinforced samples.

Due to the pre-tension of the Sika CarboDur S-512 tape in the beam with 12 mm reinforcement in the compressed zone, a bend $f' = 4.72$ mm was created, due to which it doubled and became 16 kN • m.

It is urgent to continue systematic studies of the stiffness of glued wood beams under external loads and to obtain statistically reliable data to achieve the highest load-bearing capacity for the second group of limit states at different temperature and humidity operating conditions.

Ключові слова: клеєна деревина, жорсткість, несуча здатність, сталева арматура, композитна арматура.

Glulam, stiffness, load-bearing capacity, steel reinforcement, composite reinforcement.

Вступ. Найбільш поширеною при використанні елементів з деревини, як несучих, в будівлях і спорудах, є робота їх на згин. Рішенню задачі несучої здатності та жорсткості за згину дерев'яного елемента присвячено велика кількість робіт [1-16], бо саме з точки зору практикуючого інженера ця робота найбільш цікава. Несуча здатність балок з деревини досить значна і можна говорити, що співрозмірна, в порівнянні, з такими ж елементами з інших матеріалів. Та обмеженням в широкому використанні балок з деревини в будівництві є забезпечення їх умовнормальної експлуатації за другої групи граничного стану - тобто забезпечення жорсткості. Як показує практика, жорсткість балок з деревини можна підвищити, збільшивши поперечний переріз елемента або за допомогою армування матеріалами з більш вищими механічними характеристиками.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи було дослідити роботу балок із клеєної деревини за дії короткочасного навантаження на предмет їх роботи за другої стадії граничних станів та запропонувати шляхи поліпшення та удосконалення даної конструкції.

За критерій втрати несучої здатності перерізу по другій групі граничних станів прийнято значення згинаючого моменту за досягнення граничного прогину елементом.

Викладення основного матеріалу. Балки із клеєної деревини армовані, неармовані та попередньо напружені виготовлялися довжиною 3000 мм та з розмірами поперечного перерізу 100 х 150 мм. Дерев'яні згинальні елементи були випробувані за схемою дослідної установки (рис.1) в кілька серій (табл. 1).

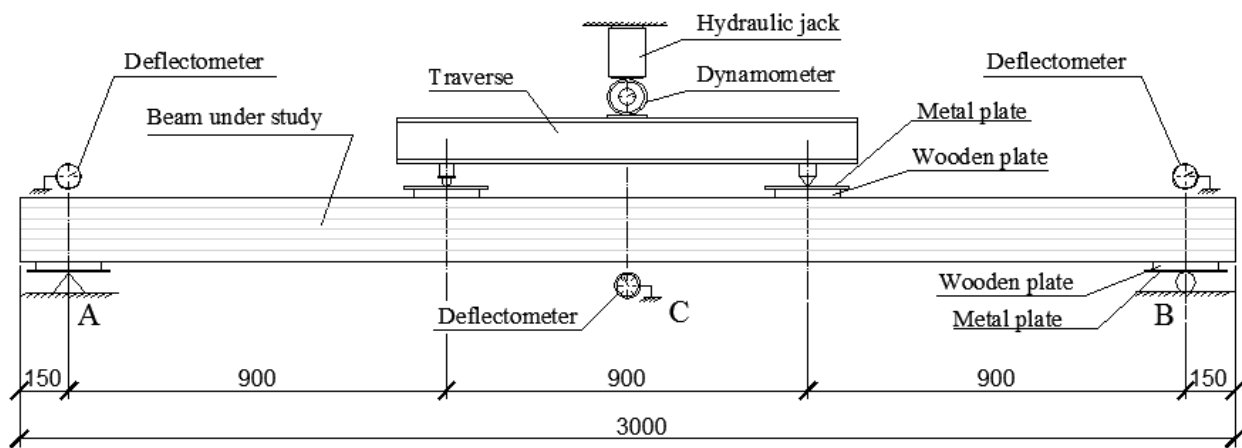


Рис. 1. Схема випробування балок

Перша серія балок із клеєної деревини GB налічувала дві балки (GB-A та GB-B), які були еталонними.

Балки другої серії були з одиночним армуванням. Балка GRB-12C армована двома стержнями діаметром 12 мм класу A500C в стиснутій зоні без армування розтягнутої зони, а балка GRB-12D двома стержнями діаметром 12 мм класу A500C в розтягнутій зоні без армування стиснутої зони.

Балки третьої серії GRB-12A та GRB-12B були армовані у стиснутій зоні сталеву арматурою у вигляді двох стержнів діаметром 12 мм класу A500C та композитною стрічкою SikaCarboDurS-512, яка була приклеєною зовні розтягнутої зони відповідно до [17]. Відрізнялися одна від одної балки третьої серії тим, що композитна стрічка в зразку GRB-12B додатково була анкерована у приопорних ділянках балки, для запобігання відриву чи проковзуванню. Для анкерування було використано полотно з вуглецевих волокон SikaWrap-230 C, яке кріпилося по периметру балки.

Характеристики дослідних зразків балок

№ серії	Позначення	Армування	К-сть зразків	Граничний момент (кН•м)
I	GB-A	неармована	1	7.5
	GB-B	неармована	1	8.0
II	GRB-12C	2Ø12 A500C (Стиснута зона)	1	8.0
	GRB-12D	2Ø12 A500C (Розтягнута зона)	1	9.6
III	GRB-12A	2Ø12 A500C + Sika CarboDurS-512	1	12.5
	GRB-12B	2Ø12 A500C + Sika CarboDurS-512	1	12.5
IV	GRB-16A	2Ø16 A500C + Sika CarboDurS-512	1	11.2
	GRB-16B	2Ø16 A500C + Sika CarboDurS-512	1	10.4
V	GRB-12(Prst)	2Ø12 A500C + SikaCarboDurS-512 (Prst)(Попередньо напружена)	1	16.0

Армовані балки четвертої серії GRB-16A та GRB-16B були виготовлені аналогічно до третьої серії з єдиною відмінністю, що у стиснутій зоні використано 2 стержні арматури А500С діаметром 16 мм.

Також було досліджено роботу ще однієї дерев'яної балки п'ятої серії GRB-12(Prst). Балка п'ятої серії GRB-12(Prst) була армована у стиснутій зоні сталеву арматурою у вигляді двох стержнів діаметром 12 мм класу А500С та попередньо напруженою композитною стрічкою SikaCarboDurS-512, яка була приклеєною зовні розтягнутої зони. Попереднє напруження композитної стрічки SikaCarboDurS-512 проводилося згідно рекомендацій [18].

Для визначення прогинів балок використовувались прогиноміри 6-ПАО. Вони встановлювались посередині прольоту та над опорами для визначення просідання балки на самих опорах.

На основі отриманих експериментальних даних у результаті випробувань було побудовано графік залежності прогинів балок посередині прольоту від згинального моменту.

Значення прогинів на кожному ступені завантаження визначалось за формулою (1)

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

де w_A – просідання балки на першій опорі А, мм; w_B – просідання балки на опорі В, мм; w_C – прогин посередині прольоту, мм.

Гранично допустимий прогин для прольоту 270 см згідно [19] становить $\frac{1}{150}l$, де l – проліт балки.

Таким чином для наших зразків граничний прогин складатиме:

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

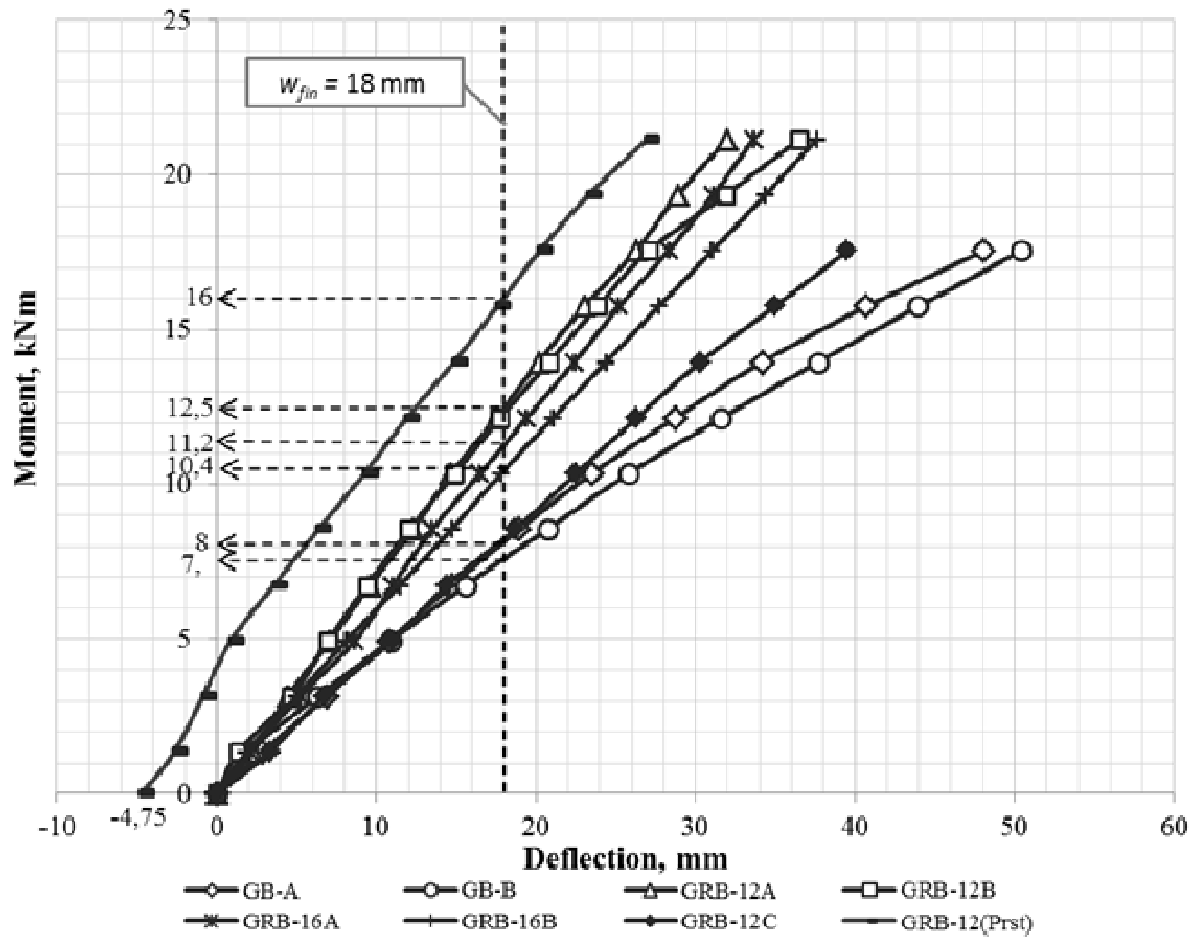


Рис.2. Графіки деформування досліджуваних балок

Граничний момент за другою групою граничних станів для еталонних дощатоклеєних балок GB-A та GB-B був в межах 7,5-8,0 кН•м. Армування лише стиснутої зони дощатоклеєної балки GRB-12C підвищує її жорсткість тільки вище досягнення її граничного прогину. Армування розтягнутої зони 2Ø12 A500С балки із клеєної деревини GRB-12D неефективне, бо досить значні затрати на виготовлення підвищили лише на 20% граничний момент за другою групою граничних станів.

Клеєні дерев'яні балки третьої серії, що армовані комбінованим армуванням: у стиснутій зоні сталеву арматурою у вигляді двох стержнів діаметром 12 мм класу А500С та композитною стрічкою Sika CarboDurS-512, як балки четвертої серії дали можливість збільшити несучу здатність по придатності до умов нормальної експлуатації в 1,5 рази.

В балці з клеєної деревини п'ятої серії з комбінованим армуванням, як і в балках третьої серії, але за рахунок попереднього напруження стрічки SikaCarboDurS-512, було створено вигин $f' = 4,72 \text{ mm}$, і несуча здатність збільшилася в два рази та становила 16 кН•м.

Висновки. На підставі проведеного аналізу роботи елементів з клеєної деревини, що працюють за дії поперечного згину можна зробити наступні висновки:

1. На основі випробувань і порівнянь прогинів балок неармованих та армованих сталеву стержневою арматурою, клеєною у пази стиснутої зони, й композитною стрічкою із вуглеволокна, приклеєною зовні розтягнутої зони,

отримано нові експериментальні дані щодо зміни жорсткості балок із клеєної деревини за рахунок використання комбінованого армування.

2. Армування лише стиснутої чи розтягнутої зони балок, як видно з графіків, несуттєво впливає на підвищення жорсткості, адже граничного прогину було досягнуто майже при тих же значеннях навантаження, що і для неармованих зразків з клеєної деревини.

3. Армування стиснутої та розтягнутої зони дає помітні результати. Відтак, для зразків GRB-16A, GRB-16B з діаметром арматури 16 мм у стиснутій зоні значення граничного прогину було досягнуто при навантаженні, у середньому, на 39 % більшому, ніж для неармованих балок. Проте, слід відмітити, що загальна несуча здатність саме цих зразків була найбільшою. Вищу жорсткість проявили зразки із арматурою 12 мм у стиснутій зоні. Для них граничний прогин був досягнутий при навантаженні, що є на 61 % більшим, ніж середнє значення для зразків неармованих.

4. За рахунок попереднього напруження стрічки SikaCarboDurS-512 в балці з арматурою 12 мм у стиснутій зоні було створено вигин $f''=4,72\text{мм}$, за рахунок чого несуча здатність збільшилася в два рази і стала становити 16 кН•м.

5. Нагальним є продовження систематичних досліджень жорсткості балок з клеєної деревини за дії зовнішніх навантажень різної інтенсивності та одержання статистично достовірних даних для досягнення найвищої несучої здатності за другою групою граничних станів за різних температурно-вологісних умов експлуатації.

1. Гомон С.С. Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2019.–288с.

Homon S.S. Napruzheno-deformovanyi stan i rozrakhunok za deformatsiinoiu metodykoiu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhenniakh: monohrafiia. Rivne: Volynski oberehy, 2019.–288s.

2. Гомон С.С., Павлюк А.П. Робота балок з клеєної деревини в умовах косоного згину. Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура і сільськогосподарське будівництво, №19. Львів, 2018.- С.84-89.<https://DOI: 10.31734/architecture2018.19.084>.

Homon S.S., Pavliuk A.P. Robota balok z kleienoi derevyny v umovakh kosoho zghynu. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo, №19. Lviv, 2018.- S.84-89.<https://DOI: 10.31734/architecture2018.19.084>.

3. Gomon S., Gomon S., Pavluk A., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Complete deflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads. AIP Conference Proceedings 2077, 020021 (2019). P.1-6. <https://doi.org/10.1063/1.5091882>.

4. Бабич Є.М., Гомон С.С. Особливості розрахунку елементів з деревини при прямому поперечному згині за деформаційною методикою. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць. Луцьк, 2019. Випуск 12. С. 21-30. [https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-03](https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-03).

Babych YE.M., Gomon S.S. Osoblyvosti rozrakhunku elementiv z derevyny pry pryamomu poperechnomu z·hyni za deformatsiynoyu metodykoyu. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Zbirnyk naukovykh prats'. Luts'k, 2019. Vypusk 12. S. 21-30. [https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-03](https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-03).

5. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне, 2011. Випуск 21. С. 176-180.

Gomon S.S. Stadiyi napruzhenno-deformovanoho stanu normal'nykh pereriziv roboty derevyny na z·hyn. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats'. Rivne, 2011. Vypusk 21. S. 176-180.

6. Гомон С.С. Передумови до запобігання прогресуючому руйнуванню конструкцій з деревини при дії різних видів навантажень. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне, 2014. Випуск 29. С. 108-116.

Gomon S.S. Peredumovy do zapobihannya prohresuyuchomu ruynuvannyu konstruktsiy z derevyny pry diyi riznykh vydiv navantazhen'. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats'. Rivne, 2014. Vypusk 29. S. 108-116.

7. Бондарчук Т. Б., Башинський О.І., Пелешко М.З. Несуча здатність та вогнестійкість дерев'яних балок армованих зовнішньою стрічковою арматурою. Вісник ЛДУБЖД. – №9 – 2014. – с. 184-189.

Bondarchuk T. B., Bashyns'kyu O.I., Peleshko M.Z. Nesucha zdatnist' ta vohnestiykist' derev'yanykh balok armovanykh zovnishn'oyu strichkovoyu armaturoyu. Visnyk LDUBZHD. – №9 – 2014. – s. 184-189.

8. Турковский С. Б., Погорельцев А.А. Деревянные конструкции на основе наклонно вклеенных стержней. Система ЦНИИСК. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – №6 – с. 26-28.

Turkovskiy S. B., Pohoreltsev A.A. Dereviannyye konstruktsyy na osnove naklonno vkleennykh sterzhnei. Systema TsNIISK. Stroytelnye materyaly, oborudovanye, tekhnolohyy KhKhI veka. – 2008. – №6 – s. 26-28.

9. Репин В. А. Деревянные балки с рациональным армированием. //Канд. дисс. ВлГУ. – Владимир. 2000. 158с.

Repin V. A. Derevyannyye balki s ratsional'nym armirovaniyem. //Kand. diss. VIGU. – Vladimir. 2000. 158s.

10. Шуко В.Ю., Рощина С.И. Армированные деревянные конструкции в строительстве // Учебное пособие. ВлГУ. – Владимир, 2002. 68 с.

Shchuko V.YU., Roshchina S.I. Armirovannyye derevyannyye konstruktsiivstroitel'stve // Uchebnoyeposobiye. VIGU. – Vladimir, 2002. 68 s.

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

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

12. 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.

13. 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.

14. Єрмоленко Д.А., Іщенко М.С. Міцність та деформативність клеєних дерев'яних балок, армованих полімерною сіткою. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 2 (47). – С. 140-147.

Yermolenko D.A., Ishchenko M.S. Mitsnist' ta deformatyvnist' kleienykh derev'yanykh balok, armovanykh polimernoyu sitkoyu. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PNTU, 2017. – T. 2 (47). – S. 140-147.

15. Gomon S., Pavluk A. Study on working peculiarities of glue laminated beams under conditions of slanting bending, Underwater technologies, 7 (2017), 42-48. [https://DOI: 10.26884/1707.1801](https://doi.org/10.26884/1707.1801).

16. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Podhorecki A. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending // AIP Conference Proceedings **2077**, 020019 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5091880>.

17. 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.

18. Патент на корисну модель № 143340 Україна, МПК E04C 3/26 (2006.01). Спосіб напруження зовнішньої стрічкової арматури балок з клеєної деревини / Гомон С.С., Гомон П.С., Поліщук М.В.; заявники і власники Національний університет водного господарства та природокористування, Гомон С.С., Гомон П.С., Поліщук М.В. - № u2020 00431; заяв. 27.01.2020; опубл. 27.07.2020, Бюл. №14.

Patent na korysnu model № 143340 Ukraina, МПК E04S 3/26 (2006.01). Sposib napruzhennia zovnishnoi strichkovoї armatury balok z kleienoi derevyny / Homon S.S., Homon P.S., Polishchuk M.V.; zaiavnyky i vlasnyky Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, Homon S.S., Homon P.S., Polishchuk M.V. - № u2020 00431; zaiav. 27.01.2020; opubl. 27.07.2020, Biul. №14.