

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЛОК ІЗ  
ДЕРЕВИНИ З КОМБІНОВАНИМ АРМУВАННЯМ НА РІЗНИХ  
РІВНЯХ ЗАВАНТАЖЕНЬ**

**STRESS-STRAIN STATE OF WOOD BEAMS WITH COMBINED  
REINFORCEMENT AT DIFFERENT LOAD LEVELS**

**Гомон П. С., к.т.н., доц., Поліщук М. В., асп. (Національний  
університет водного господарства та природокористування, Рівне)**

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

*Розглянуто особливості напружено-деформативного стану нормальних розрахункових перерізів комбіновано армованих елементів з клеєної деревини при поперечному прямому згині за деформаційною моделлю розрахунку.*

*Timber is the oldest building material, which, due to its restorative, ecological cleanliness and aesthetics, strengthens its position in the construction industry market. At present, all calculations of constructions of solid and glued wood for different types of loads, according to the operating norms of different countries, are carried out by the method of boundary states, which are based on elastic wood work.*

*The methodology of calculation of elements from solid or glued wood for working on a pure transverse bend using a strain model based on a series of experimental studies and analysis of their work is developed. For the developed method, the concept of "calculated cross-section" is used, which involves the formation of a fold in front of a destructive state and four stages of a stress-strain state of a timber element operating on a straight transverse bend.*

*The proposed method of deformation model for the calculation of elements from wood is based on the use of complete diagrams of the mechanical state of the material under longitudinal compression, including the downward deformation branch at the critical stage of work.*

*Deformations in the calculated cross-section are determined by the curvature at any point of the section and taking into account the smallness of their values.*

*On the basis of deformations, the stress in a normal cross-section is described by two functions in three different sections: the first section is the tensile region from the bottom of the element to the neutral line; the second section - from the neutral line to the maximum stress in the compressed zone; the third section - from the maximum stress in the compressed zone to the top of the element.*

*The method for calculating solid and glued wood beams using a deformation model is developed. This method takes into account the distribution of stresses in height of the compressed and stretched zones of the calculated cross-section and provides for the formation of folds in the compressed zone of the element in the area of pure bending. It also fully allows to examine and experimentally investigate the stress-strain state under load of glued beams at different stages of their work.*

*Ключові слова: деревина, розрахунок, деформації, напруження.*

*Keywords: timber, calculation, deformations, tension.*

**Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій.** Армувати дерев'яні будівельні конструкції було запропоновано в Німеччині А. Фішером у 1926 р. Перші армовані конструкції на початку 20-го століття були не досить вдалимими із-за податливості в'язів між деревиною та арматурою. Одним із шляхів усунення негативних недоліків деревини та підвищення техніко-економічної ефективності нині є комбіноване армування перерізів клеєних дерев'яних конструкцій сталевую у стиснутій зоні та композитною пластиковою арматурою – у розтягнутій зоні [1,2,3,4,5] за допомогою синтетичних клеїв.

Розвиток і використання армованих дерев'яних конструкцій йде у двох напрямках: а) з використанням пасивної (ненапруженої) арматури [6,7,8]; б) з використанням попередньо напруженої арматури [9,10].

Нами було запропоновано й досліджено конструкцію армованих балок, як без попереднього напруження арматури, так і варіант, коли арматура в розтягнутій зоні піддавалась попередньому напруженню [11].

В даній роботі розглядається напружено-деформований стан на різних стадіях завантаження саме армованих дерев'яних балок без попереднього напруження.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження було виконано для трьох дерев'яних балок. Всі вони мали розміри поперечного перерізу 100x150 мм та довжину 3000 мм. Однак, перша балка була неармованою і відносилась до I серії випробувань. Друга та третя балки були армовані у стиснутій зоні сталевую стержневою арматурою діаметром 12 та 16 мм, відповідно, і залежно від цього вони відносились до II та III серії випробувань, а в розтягнутій зоні вони однаковим чином армувались зовнішньою стрічковою вуглепластиковою арматурою, як показано на рис. 1.

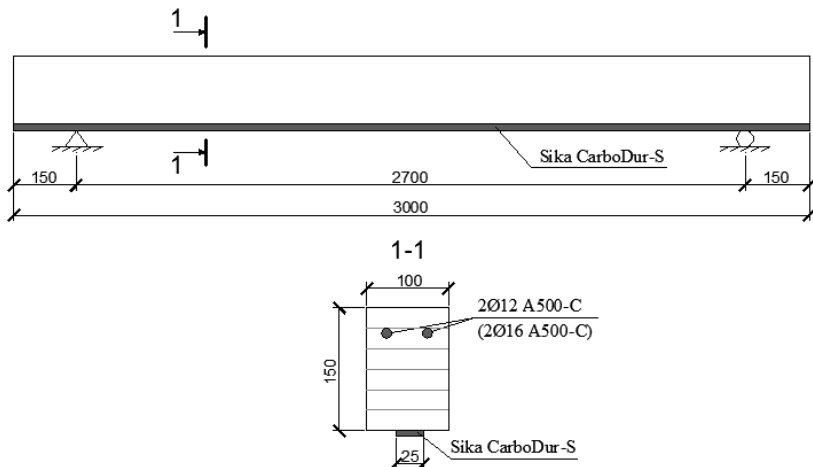


Рис. 1. Схема армування балок II та III серії випробувань сталевую та композитною арматурою

Розрахункова схема випробування на згин наведена на рис. 2.

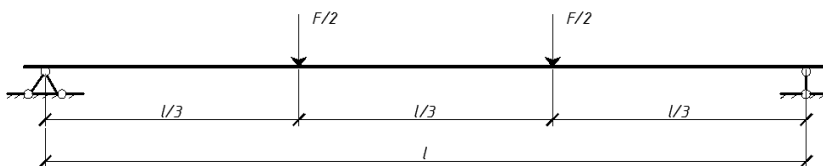


Рис. 2. Розрахункова схема випробування балок з клеєної деревини

За результатами випробувань на згин були отримані значення відносних деформацій по висоті перерізу в зоні чистого згину. На основі цих значень, згідно пропозицій [12], були розраховані напруження у межах розрахункового перерізу:

$$f_1(u) = \sigma_{t,d} = E \cdot u_{t,d}, \quad (1)$$

$$f_2(u) = \sigma_{c,d} = k_1 \cdot u_{c,d} + k_2 \cdot u_{c,d}^2, \quad (2)$$

де  $f_1(u)$  – напруження розтягнутої зони;  $f_2(u)$  – напруження стиснутої зони,  $u_{t,d}$  – відносні деформації деревини за розтягу;

$u_{c,d}$  – відносні деформації деревини за стиску;  $E$  – модуль пружності деревини при роботі на розтяг;

$k_1, k_2$  – коефіцієнти поліному, що обчислюються за виразами:

$$k_1 = \frac{2 \cdot f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}}, \quad (3)$$

$$k_2 = -\frac{f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}^2}, \quad (4)$$

де  $f_{c,o,d}$  – розрахункове значення міцності деревини за стиску вздовж волокон;  $u_{c,fin,d}$  – повні або критичні відносні деформації за стиску деревини вздовж волокон.

Значення  $f_{c,o,d}$  та  $u_{c,fin,d}$ , а також модуль пружності  $E$  встановлювались для наших балок експериментально, шляхом випробування на стиск у пресі окремих заготовок, вирізаних із тієї ж деревини, з якої виготовлялись балки.

Згідно вищенаведених формул було отримано епюри напружень у розрахунковому перерізі для всіх трьох серій балок (рис. 3...рис. 5).

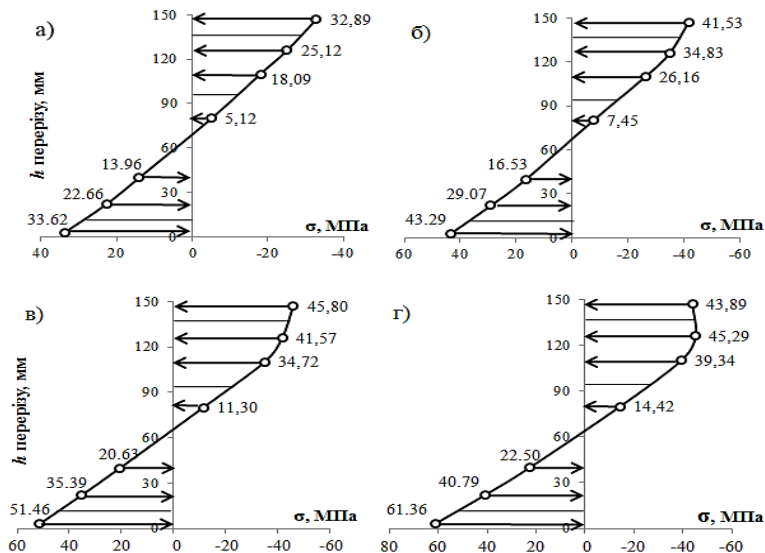


Рис. 3. Напруження стиснутої та розтягнутої зони балки першої серії за рівня навантажень:

а)  $M=0,4M_{max}$ ; б)  $M=0,6M_{max}$ ; в)  $M=0,8M_{max}$ ; г)  $M=0,95M_{max}$ ;

На рис. 3 наведено напруження на різних етапах завантаження для балки першої серії, що не містила арматури, тоді як на рис. 4 наведено епюри для балки другої серії, що армувалась сталевими стержнями діаметром 12 мм та композитною стрічкою.

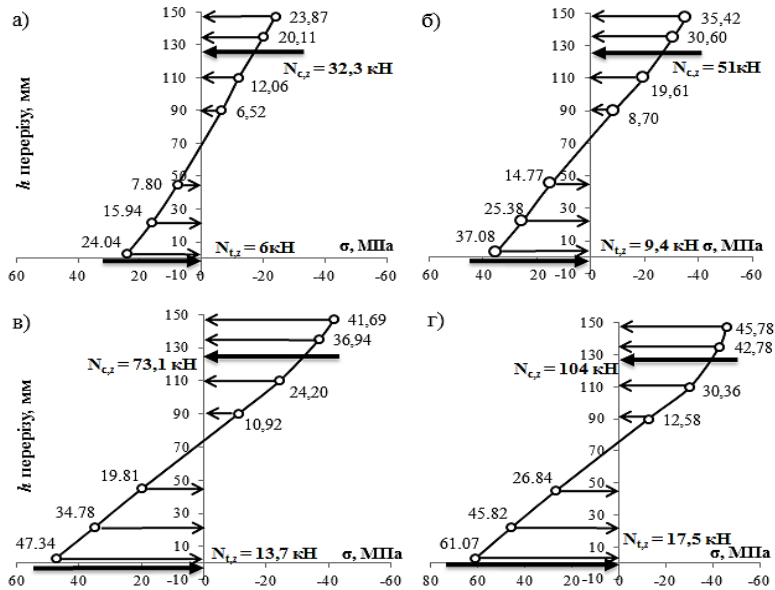


Рис. 4. Напруження стиснутої та розтягнутої зони армованої балки другої серії за рівня навантажень:

а)  $M=0,4M_{max}$ ; б)  $M=0,6M_{max}$ ; в)  $M=0,8M_{max}$ ; г)  $M=0,95M_{max}$

Зусилля, що виникали в сталевій арматурі стиснутої зони  $N_{c,z}$  та в композитній стрічці розтягнутої зони  $N_{t,z}$  визначались згідно формул:

$$N_{c,z} = A_{c,z} E_{c,z} u_{c,z}, \quad (5)$$

$$N_{t,z} = A_{t,z} E_{t,z} u_{t,z}, \quad (6)$$

де  $A_{c,z}$ ,  $A_{t,z}$  – площа поперечного перерізу арматури в стиснутій та в розтягнутій зонах, відповідно;  $E_{c,z}$ ,  $E_{t,z}$  – модулі пружності стиснутої та розтягнутої арматури відповідно;  $u_{c,z}$ ,  $u_{t,z}$  – відносні деформації стиснутої та розтягнутої арматури.

На рис. 5 показано епюри для балки третьої серії, наведено епюри для балки другої серії, що армувалась сталевими стержнями діаметром вже 16 мм та композитною стрічкою.

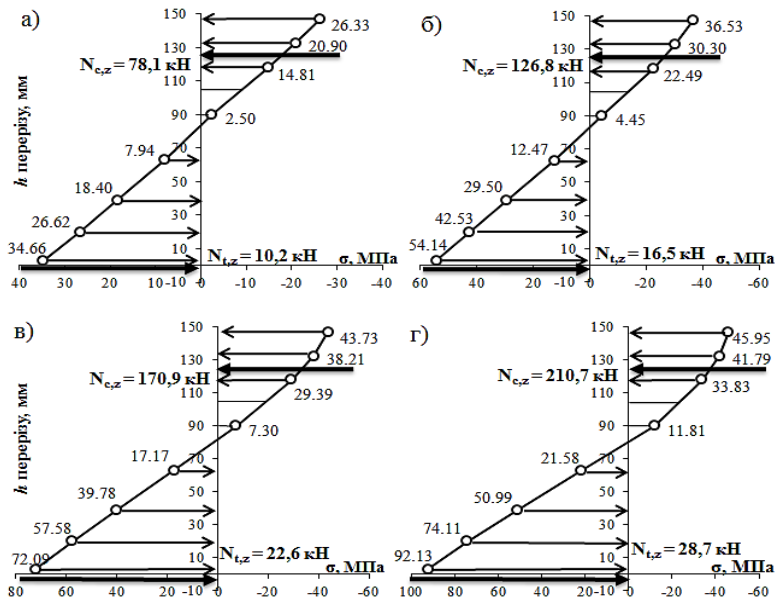


Рис. 5. Напруження стиснутої та розтягнутої зони армованої балки третьої серії за рівня навантажень:

а)  $M=0,4M_{max}$ ; б)  $M=0,6M_{max}$ ; в)  $M=0,8M_{max}$ ; г)  $M=0,95M_{max}$

## Висновки

Зіставивши напруження трьох серій балок, встановлено, що застосування сталеві арматури в стиснутій зоні у комбінації із зовнішньою композитною арматурою у розтягнутій зоні дозволяє уникнути досягнення деревиною критичних деформацій у стиснутій зоні армованих балок на відміну від неармованих. Адже, таким чином, ми запобігаємо руйнування крайніх стиснутих волокон, а отже, й на практиці утворенню складок в деревині стиснутої зони. На графіках напружень це відображається чітко помітним криволінійним розподілом напружень у стиснутій зоні неармованих балок та майже прямолінійним – відповідно у армованих балках, де найвіддаленіші волокна деревини сприймають максимальні зусилля, на відміну від неармованих зразків, у яких внаслідок пошкодження цих самих волокон максимальні зусилля сприймають вже волокна, більш віддалені від верхньої грані.

## References

1. Gomon S.S., Polishchuk M. V. Vlashtuvannia kombinovanoho armuvannia balok iz kleienoi derevyny. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo № 20 : 2019. s. 44-49.
2. Gomon S. S., Polishchuk M. V. Zhorstkist balok iz kleienoi derevyny z kombinovanyim armuvanniam. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. Vypusk 37. Rivne, 2019. s.151-157.
3. Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M.V., Homon S., Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. Buildings, V.10, I.5, 2020.
4. Sobczak-Piąstka J., Gomon S. S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. Metoda badania belki zginanej wykonanej z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym. Materiały Budowlane 591 (11): 28-30. DOI:10.15199/33.2021.11.04
5. Gomon P. S., Savytskyi V. V., Polishchuk M. V. Rozrakhunok napruzhenodeformovanoho stanu pidsylenykh derevianykh balok priamokutnoho pererizu. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. – Rivne: NUVHP, 2021. – Vyp. 39. S. 221-229.
6. Bashynskiy O. I., Bodnarchuk T.B., Peleshko M.Z. Nesucha zdattnist ta vohnestiikist derevianykh balok armovanykh zovnishnoiu strichkovoio armaturoiu. Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti. 2014. № 9. S. 184-189.
7. Yermolenko D. A., Ishchenko M. S. Mitsnist ta deformatyvnykh kleienykh derevianykh balok, armovanykh polimernoio sitkoio. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PNTU, 2017. T. 2 (47). S. 140-147.
8. Demchyna B.H., Oreshkyn D.O., Surmai M.I., Kravz A.R., Bliakhar T.I. Eksperymentalne doslidzhennia roboty doshchatokleienykh balok armovanykh metalevoio ta nemetalevoio armaturoio // Visnyk NULP: Teoriia i praktyka budivnytstva. - №697. – Lviv, NULP, 2010. –S.87-92.
9. Demchyna B.H., Oleksyn H.M., Surmai M.I. Poperedno napruzheni dereviani konstruktsii z nemetalevoio armaturoio // Visnyk NULP: Teoriia i praktyka budivnytstva. - №737, t. I. – Lviv, NULP, 2012. – S. 87-92.
10. Livas, C., Ekevad, M., & Öhman, M. Experimental analysis of passively and actively reinforced glued-laminated timber with focus on ductility. Wood Material Science & Engineering, 2022, 17(2): 129-137.
11. Patent na korysnu model № 143340 Ukraina, MPK E04S 3/26 (2006.01). Sposib napruzhenia zovnishnoi strichkovoio armatury balok iz kleienoi derevyny / Homon S.S., Polishchuk M.V.; zaiavnyky i vlasnyky Natsionalnyi universytet vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia, zaiav. 27.01.2020; opubl. 27.07.2020, Biul. №14.
12. Homon S.S. Stadii napruzhenodeformovanoho stanu normalnykh pereriziv roboty derevyny na zghyn. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2011. Vyp. 21. S. 176-180.

### Список використаної літератури

1. Гомон С.С., Поліщук М. В. Влаштування комбінованого армування балок із клеєної деревини. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво № 20* : 2019. с. 44-49.
2. Гомон С. С., Поліщук М. В. Жорсткість балок із клеєної деревини з комбінованим армуванням. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць*. Випуск 37. Рівне, 2019. с.151-157.
3. Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M.V., Homon S., Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. *Buildings*, V.10, I.5, 2020.
4. Sobczak-Piąstka J., Gomon S. S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. Metoda badania belki zginanej wykonanej z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym. *Materiały Budowlane* 591 (11): 28-30. DOI:10.15199/33.2021.11.04
5. Гомон П. С., Савицький В. В., Поліщук М. В. Розрахунок напружено-деформованого стану підсилених дерев'яних балок прямокутного перерізу. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. – Рівне: НУВГП, 2021. – Вип. 39. С. 221-229.
6. Башинський О. І., Боднарчук Т.Б., Пелешко М.З. Несуча здатність та вогнестійкість дерев'яних балок армованих зовнішньою стрічковою арматурою. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 9. С. 184-189.
7. 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.
8. Демчина Б.Г., Орешкин Д.О., Сурмай М.І., Кравз А.Р., Бляхар Т.Й. Експериментальне дослідження роботи дощатоклеєних балок армованих металевую та неметалевою арматурою // *Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва*. - №697. – Львів, НУЛП, 2010. –С.87-92.
9. Демчина Б.Г., Олексин Г.М., Сурмай М.І. Попередньо напружені дерев'яні конструкції з неметалевою арматурою // *Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва*. - №737, т. I. – Львів, НУЛП, 2012. – С. 87-92.
10. Livas, C., Ekevad, M., & Öhman, M. Experimental analysis of passively and actively reinforced glued-laminated timber with focus on ductility. *Wood Material Science & Engineering*, 2022, 17(2): 129-137.
11. Патент на корисну модель № 143340 Україна, МПК E04C 3/26 (2006.01). Спосіб напруження зовнішньої стрічкової арматури балок із клеєної деревини / Гомон С.С., Поліщук М.В.; заявники і власники Національний університет водного господарства та природокористування, заяв. 27.01.2020; опубл. 27.07.2020, Бюл. №14.
12. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2011. Вип. 21. С. 176-180.