

УДК 624

**ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЛЕЄФАНЕРНИХ ПАНЕЛЕЙ  
ЗА ДОПОМОГОЮ АРМУВАННЯ****Т. Т. Остаповець, Р. І. Семяк**

здобувачі вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 4 курс,  
спеціальність «Промислове та цивільне будівництво»,  
навчально-науковий інститут будівництва, архітектури та дизайну  
Науковий керівник – к.т.н., доцент П. С. Гомон

*Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна*

**У статті наведено спосіб збільшення ефективності клеєфанерних панелей за рахунок підвищення жорсткості та міцності конструкції, шляхом встановлення додаткової арматури. Наведено напружено-деформований стан плити. Встановлено всі необхідні внутрішні зусилля для визначення напружено-деформованого стану. Побудовано алгоритм детермінації напружено-деформованого стану поперечного перерізу клеєфанерної панелі.**

**Ключові слова:** клеєфанерна панель, армування деревини, ефективні конструкції.

**The article presents a method for enhancing the performance of glued plywood panels by increasing the stiffness and strength of the structure through the installation of additional reinforcement. The stress-strain state of the panel is analyzed. All necessary internal forces required to determine the stress-strain state have been established. An algorithm for the determination of the stress-strain state of the cross-section of the glued plywood panels has been developed.**

**Keywords:** glued plywood panels, wood reinforcement, efficient structures.

**Деревина широко** використовується в будівництві [1; 2]. Основними перевагами деревини є висока міцність [3–4], мала вага, легкість обробки та виготовлення конструкцій, екологічність і високі естетичні характеристики. У багатьох випадках при проектуванні цивільних та промислових будівель як несучі конструкції використовуються дерев'яні елементи. До них належать балки [5–6], арки, ферми, колони, рами, панелі та інші. Вони можуть бути суцільного перерізу або клеєні [7].

Забезпечення міцності конструкцій здійснюється шляхом розрахунку на різні види зовнішніх впливів [8–9]. Жорсткість забезпечується відповідним аналізом прогинів та переміщень [10]. Надійність – математичним моделюванням роботи.

Однією із головних проблем деревини для багатьох науковців є збільшення жорсткості дерев'яних елементів та конструкцій [11–12].

**Метою нашого дослідження** є забезпечення економії матеріалів при проектуванні клеєфанерних панелей.

**Об'єктом дослідження** є робота клеєфанерних панелей.

**Основна задача** дослідження полягає в описанні сучасного методу моделювання роботи ефективної клеєфанерної панелі (рис. 1) на основі деформаційної моделі, розгляді основи для проведення числового моделювання, забезпечення збільшення жорсткості клеєфанерних панелей за допомогою сталевих арматур та карбонової стрічки.

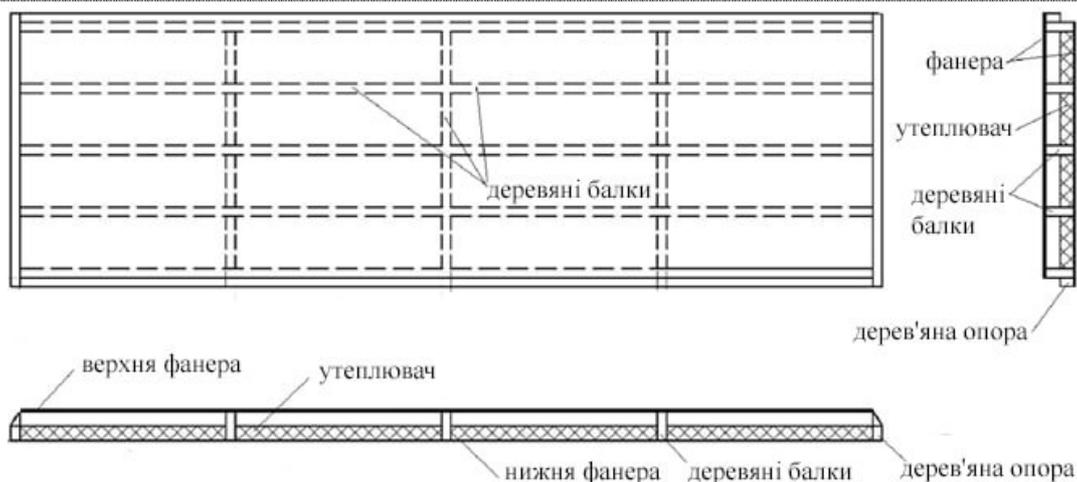


Рис. 1. Конструкція фанерної панелі

Для проєктування клеєфанерної панелі необхідно встановити її напружено-деформований стан. На рис. 2 показано напружено-деформований стан у центральній частині панелі, де виникає найбільший згинальний момент. Система рівнянь рівноваги та всі необхідні рівняння для визначення внутрішніх сил (1):

$$\begin{cases} \sum N_{x,arm} = 0; \\ \sum M_{z,arm} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

де  $N_x$  – сили, що діють вздовж згинального елемента,  $M_z$  – рівномірно розподілене навантаження.

Рівняння рівноваги для визначення сил у поперечному перерізі (2):

$$\begin{cases} N_{w,c} + N_{s,c} + N_{plw,c} - N_{w,t} - N_{s,t} - N_{plw,t} = 0 \\ M_i - M_{w,c} - M_{w,t} - M_{s,c} - M_{s,t} - M_{plw,c} - M_{plw,t} = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

де  $N_{w,c}, N_{w,t}$  – внутрішні сили, що діють у стиснутій та розтягнутій зоні деревини;  $N_{s,c}$  – сили, що виникають у стиснутому арматурному стержні;  $N_{s,t}$  – сили, що виникають у розтягнутій вуглецевій стрічці;  $N_{plw,c}$  – сили, що виникають у стиснутій фанері;  $N_{plw,t}$  – сили, що виникають у розтягнутій фанері;  $M_{w,c}, M_{w,t}$  – внутрішні моменти, що діють у стислій та розтягнутій зоні деревини;  $M_{s,c}, M_{s,t}$  – момент, що сприймається стиснутим та розтягнутим арматурним стрижнем;  $M_{plw,c}, M_{plw,t}$  – момент, що сприймається стиснутою та розтягнутою фанерою.

Внутрішні сили і моменти, що виникають у нормальному перерізі згинального елемента з урахуванням функцій деформування деревини та арматури [3–6]:

$$N_{w,c} = b \cdot y_c \int_0^{u_c} f_{w,c}(u_{w,c}) \frac{1}{u_c} du - A_{s,c} f_{w,c}(u_{s,c}); \quad (3)$$

$$N_{w,t} = b \cdot y_t \int_0^{u_t} f_{w,t}(u_{w,t}) \frac{1}{u_t} du - A_{s,t} f_{w,t}(u_{s,t}); \quad (4)$$

$$M_{w,c} = b \cdot y_c^2 \int_0^{u_c} \frac{u_{w,c}}{u_c} f_{w,c}(u_{w,c}) du - A_{s,c} f_{s,c}(u_{s,c}) y_{s,c}; \quad (5)$$

$$M_{w,t} = b \cdot y_t^2 \int_0^{u_t} \frac{u_{w,t}}{u_t} f_{w,t}(u_{w,t}) du - A_{s,t} f_{s,t}(u_{s,t}) y_{s,t}, \quad (6)$$

де  $b$  – ширина балки;  $y_c, y_t$  – висота стиснутої та розтягнутої зони деревини в поперечному перерізі;  $u_{w,c}, u_{w,t}$  – екстремальні деформації, що виникають на краях поперечного перерізу;  $f_{w,c}(u_{w,c}), f_{w,t}(u_{w,t})$  – функції деформації деревини (залежність напружень від деформацій);  $A_{s,c}$  – площа поперечного перерізу розтягнутої арматури;  $f_{s,c}(u_{s,c})$  – функція деформації стиснутої арматури;  $f_{s,t}(u_{s,t})$  – функція деформації розтягнутої арматури.

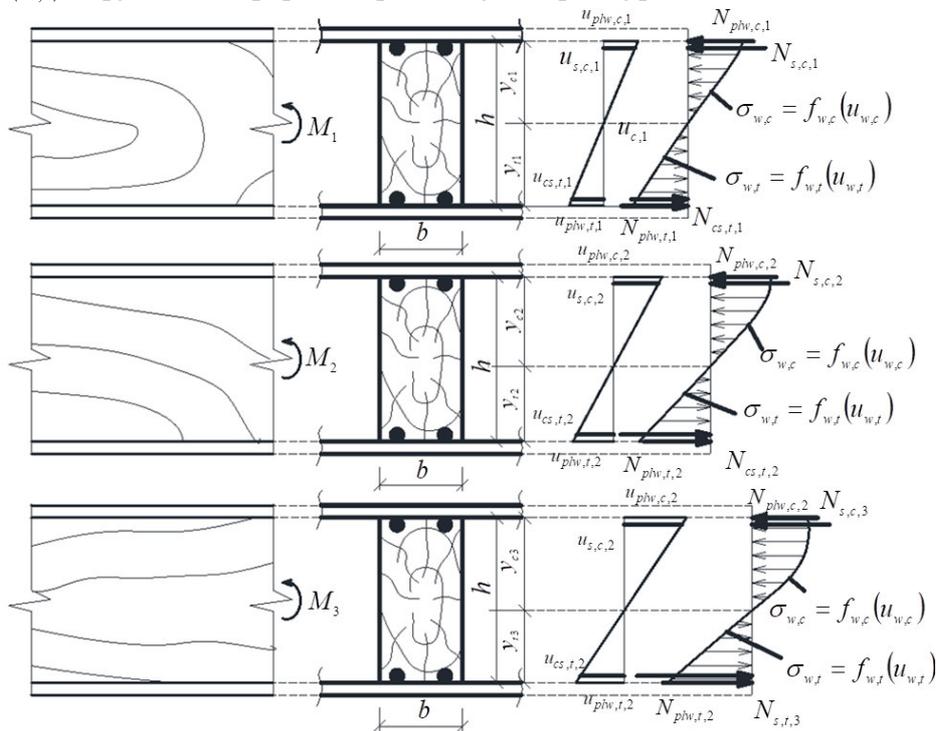


Рис. 2. Стадії напружено-деформованого стану посиленого згинального дерев'яного елемента (фанери) з металевим укріпленням

Величина внутрішніх зусиль, що сприймається металевою арматурою, і зусиль, що сприймає фанера в стиснутій і розтягнутій зонах, буде дорівнювати (7–10):

$$N_{s,c} = A_{s,c} f_{s,c}(u_{s,c}); \quad (7)$$

$$N_{s,t} = A_{s,t} f_{s,t}(u_{s,t}); \quad (8)$$

$$N_{phw,c} = A_{phw,c} f_{phw,c}(u_{phw,c}); \quad (9)$$

$$N_{phw,t} = A_{phw,t} f_{phw,t}(u_{phw,t}). \quad (10)$$

Значення згинального елемента, що сприймається арматурою і фанерою в стиснутій і розтягнутій зонах буде дорівнювати (11–14):

$$M_{s,c} = N_{s,c} y_{s,c}; \quad (11)$$

$$M_{s,t} = N_{s,t} y_{s,t}; \quad (12)$$

$$M_{plw,c} = N_{plw,c} \cdot y_{plw,c}; \quad (13)$$

$$M_{plw,t} = N_{plw,t} \cdot y_{plw,t}. \quad (14)$$

Конструкція клеєфанерної панелі повинна ґрунтуватися на жорсткості і міцності конструкції. Для виконання розрахунку необхідно визначити міцність панелі при максимальному згинальному моменті, а також при дії напружень зсуву. На рис. 3 наведено алгоритм визначення залежності кривизни від моменту. Підставляючи кривину і поступово її збільшуючи, визначають максимальний згинальний момент, який відповідає руйнуванню конструкції. Крім того, графік залежності моменту від кривизни можна використовувати для визначення напруги зсуву та прогину конструкції.

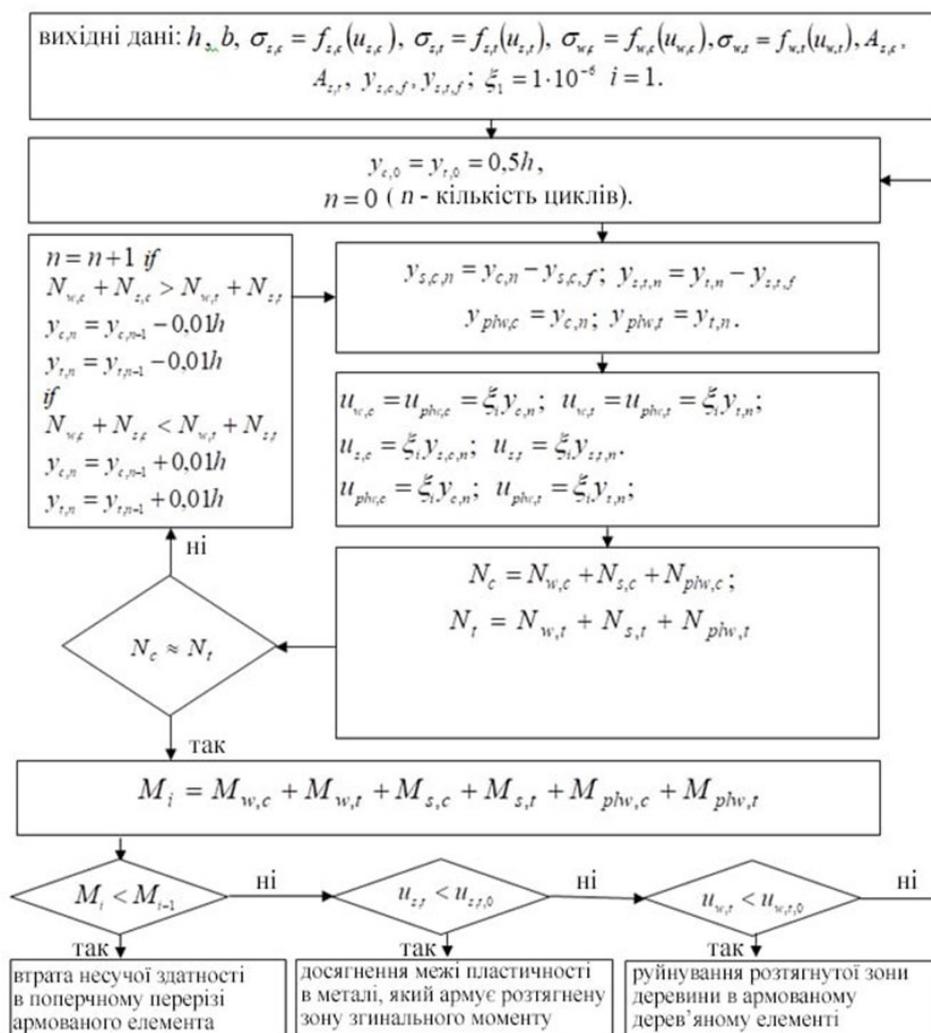


Рис. 3. Алгоритм побудови графіка «момент – кривина» армованого дерев’яного елемента (клеєфанерної панелі)

**Висновки :**

1. Запропоновано деформаційну методику теоретико-математичного моделювання та розрахунку клеєфанерних панелей з композиційним армуванням. Деформаційна модель є частиною теоретичних основ моделювання роботи пружно-пластичних елементів з деревини.

2. Встановлення напружено-деформованого стану панелі з армованої фанери виводить на більш високий рівень процес моделювання робіт та їх розрахунку з урахуванням нелінійного деформування деревини.

3. Сучасні стандарти дозволяють визначати лише граничні стани клеєфанерної панелі. Врахування напружено-деформованого стану клеєфанерної панелі дозволить прогнозувати роботу деревини при її виготовленні, експлуатації та руйнуванні. Деформаційна модель дозволяє розширити уявлення про роботу клеєфанерних панелей і дає можливість проектувати їх з попередньо напруженою металевою арматурою.

1. Шехоркіна С. Є., Савицький М. В., Бердников М. Р. Розвиток дерев'яного домобудівництва: історія багатоповерхових дерев'яних будівель, нові матеріали на основі деревини, можливості і обмеження застосування. *Науковий вісник будівництва*. 2021. №1. Т.103. С.113–119. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb\\_2021\\_103\\_1\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2021_103_1_17) (дата звернення: 08.10.2025). 2. Михайловський Д. В., Заєць Р. В., Чубарев А. Г. Деревина – сучасний будівельний матеріал. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. Вип. 52. 3. Homon S., Gomon P., Gomon S., Litnitskyi S., Boyarska I., Chapiuk O., Chornomaz N. Study of the mechanical properties of coniferous wood of different ages at standard humidity. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 545–550. 4. Janiak T., Homon S., Karavan V., Gomon P., Gomon S. S., Kulakovskiy L., Famulyak Y. Mechanical properties of solid deciduous species wood at different moisture content. *AIP Conf. Proc.* 2023. Vol. 1. Т. 2949. 020009. 5. Бабич Є. М., Гомон П. С. Рекомендації щодо проектування згинальних елементів з цільної та клеєної деревини з пасивним та попередньо напруженим комбінованим армуванням. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне : НУВГП, 2023. Вип. 44. С. 133–139. 6. Бабич Є. М., Гомон П. С. Експериментальні дослідження попередньо напружених комбіновано армованих балок з цільної деревини. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне : НУВГП, 2024. Вип. 45. С. 96–105. 7. Гомон С. С. Конструкції із дерева та пластмас : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2016. 219 с. 8. Михайловський Д. В., Гомон П. С. Верифікація методик моделювання армованих та неармованих дерев'яних балок. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2024. Вип. 46. С. 237–249. 9. Гомон С. С., Гомон П. С., Гомон С. С., Пугач Ю. В. Щодо необхідності використання деформаційної моделі в розрахунках дерев'яних конструкцій. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне : НУВГП, 2024. Вип. 46. С. 175–191. 10. Михайловський Д. В., Комар М. А., Гомон П. С. Чисельне моделювання деформування армованих дерев'яних балок з цільної та клеєної деревини. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк : ЛНТУ, 2025. Вип. 23. С. 155–170. 11. Михайловський Д., Комар М., Комар О. Аналіз напружено-деформованого стану плит з перехресно-клеєної деревини підсиленних композитними стрічками. *Будівельні конструкції. Теорія і практика* : зб. наук. праць. К. : КНУБА, 2024. Вип. 14. С. 29–40. 12. Шехоркіна С. Є., Савицький М. В. Збільшення жорсткості дерев'яних елементів методом інтегрованих сталевих пластин у зоні розтягнення. *Вісник ПДАБА*. 2019. С. 123–129.