УДК 624:004.85:372.862
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/48

Чичуліна К.В.
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АРМОВАНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК

Метою експериментальних досліджень, представлених в статті є дослідження роботи, визначення несучої здатності та характеру руйнування складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами та їх порівняння. Об'єктом дослідження є клеєні армовані склопластиковою арматурою дерев'яні бали двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами перекриття і покриття будівель та споруд. Для досягнення поставленої мети було виготовлено шість складених клеєних армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами. Перші дві балки виготовлені з одиночним армуванням зверху та знизу, друга та третя балки з подвійним армуванням зверху та знизу, п'ята з симетричним одиночним армуванням та шоста з симетричним подвійним, для дослідження їх роботи при статичних навантаженнях. Також було виготовлено шість балок з такими ж параметрами, але меншого розміру для порівняння прогинів від завантаження однією силою. Згідно з прийнятою методикою проведення експериментальних досліджень несучої здатності й деформативності клеєних балок, вимірювання деформацій проводились при обпиранні зразка на дві опори при завантаженні у двох точках на відстані 900 мм від опор. Руйнування двотаврових балок даного типу відбувається в результаті розриву стінки від дії дотичних напружень, руйнування полички у розтягнутій зоні та зсуву стінки по клейовому шву. Враховуючи те, що руйнування полички в розтягнутій зоні починалося з сучка бруса, необхідно забезпечити відсутність таких дефектів в зоні дії максимального згинального моменту при виробництві клеєних дерев'яних балок. При виготовленні конструкцій особливу увагу слід приділити якості виконання клейового з'єднання стінки з поясами балки та при симетричному армуванні рекомендовано збільшити глибину пазів для збільшення площі клейового шва. Це забезпечить надійне склеювання і деформації зсуву між стінками та полицями будуть відсутні.

Ключові слова: *дерев'яні балки, OSB, експеримент, руйнування, міцність, навантаження.*

Постановка проблеми. Виробництво і застосування дерев'яних клеєних конструкцій знаходяться на етапі динамічного сталого розвитку. Тимчасові параметри цього етапу, умови стійкості розвитку, тенденції та пріоритети в забезпеченні динаміки темпів – ці та інші завдання вимагають системного аналізу та програмного рішення. Виробництво дерев'яних клеєних конструкцій будівельного призначення було розпочато в середині минулого століття. Ці конструкції є відповідальними елементами будівельних систем будівель і споруд, можуть сприймати великі експлуатаційні навантаження і забезпечують стійкість і безпеку будівельних об'єктів. Тому саме цим дерев'яним клеєним конструкціям приділяється найбільша увага, особливо у науково-технічній та нормативно-методичній сферах, отже актуальність обраної теми не викликає сумніву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] авторами подано опис запропонованого та запатентованого конструктивного рішення армованих подвійних балок зі стінкою з орієнтованої стандартної дошки, яка була виготовлена з двох дошок із поперечним перекриттям 38 х 65 мм. Перетин і стінка 10 мм х 200 мм з орієнтованої стандартної плити (орієнтована стандартна плита – OSB), яка з'єднана епоксидним клеєм, висота бруса 250 мм. Проведено аналіз результатів експерименту запропонованих двотаврів із скловолоконним армуванням, виявлено особливості роботи під навантаженням та режим руйнування. У роботі [2] пропонується новий метод прогнозування граничної несучої здатності конструкційних балок з виїмками, що піддаються розколюванню. У роботі [3] досліджено поведінку дерев'яної рами з врізними з'єднаннями врізношипових та з'єднаннями опори колони при поперечному навантаженні. Запропоновано аналітичну модель для плоского нещільного з'єднання на основі співвідношення навантаження-зміщення. Досліджено механічну поведінку цих нещільних з'єднань з фрикційно-ковзним контактним механізмом з чіткими доказами негативної жорсткості в бічній опорі дерев'яної рами. У роботі [4] досліджуються два скінченно елементні рішення, розроблені для аналізу поперечної вигину

на скручування дерев'яних балок-настилів, що складаються з двох балок, скріплених настилом через кріплення. Обидва рішення забезпечують гнучкість обертання, що забезпечується з'єднаннями між дошками та балками. На основі проведеного аналізу було виявлено, що дослідження представлених у роботі подальших дерев'яних конструкцій вимагають його вивчення та експериментального підтвердження експлуатації.

Постановка завдання. Метою експериментальних досліджень, представлених в статті є дослідження роботи, визначення несучої здатності та характеру руйнування складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами та їх порівняння. Об'єктом дослідження є клеєні армовані скло-пластиковою арматурою дерев'яні бали двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами перекриття і покриття будівель та споруд. Для досягнення поставленої мети було виготовлено шість складених клеєних армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами. Дослідження базуються на експериментальних методиках і підходах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для перших чотирьох серій згідно з прийнятою методикою проведення експериментальних досліджень несучої здатності й деформативності клеєних балок, вимірювання деформацій проводились при обпиранні зразка на дві опори при завантаженні у двох точках на відстані 900 мм від опор. Проаналізуємо роботу зразків першої серії при статичних навантаженнях та їх руйнування. До першого зразка БКА-В1 прикладалося навантаження з кроком 2 кН з однаковою швидкістю до 10 кН. До другого зразка БКА-Н1 навантаження прикладалося до втрати несучої здатності зразка, яке відбулась в результаті руйнування стінки з OSB внаслідок дії дотичних напружень (рис. 1, а). Похила тріщина утворилась в місці прикладання навантаження. Руйнування має крихкий характер. Руйнуюче навантаження склало 18 кН. Візуалізація прогинів балки перед руйнуванням представлено на рис.1, б. Загалом оцінювання результатів всього випробування проведено за формулами: 1. Експериментальні прогини балки визначаються за відліками прогиноміра П за залежністю: $f_{екс} = \Delta П$; 2. Експериментальні значення напружень визначаються за законом Гука $\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i$.

В результаті вимірювань тензорезисторами, наклеєними на деревині по геометричній осі елементів конструкції, отримані графіки залежності деформацій (рис. 2) та напружень (рис. 3) від навантаження.

Отримані графіки залежності деформацій для балки БКА-Н1 (рис. 4) та напружень (рис. 5) від навантаження.

Визначимо характер роботи зразків другої серії при статичних навантаженнях та їх руйнування. Друга серія зразків випробувалася за тією ж методикою проведення експериментальних досліджень несучої здатності й деформативності клеєних балок, вимірювання деформацій проводились при обпиранні зразка на дві опори при завантаженні у двох точках на відстані 900 мм від опор. До першого зразка БКА-Н2 прикладалося навантаження з кроком 2 кН кг з однаковою швидкістю до 8 кН. До другого зразка БКА-В2 навантаження прикладалося до втрати несучої здатності зразка, яка відбулась в результаті руйнування стінки з OSB внаслідок дії дотичних напружень (рис. 6, а). Похила тріщина утворилась в прольоті зрізу ближче до місця прикладання навантаження під кутом нахилу 45°. Після руйнування стінки відбувся розрив нижнього поясу балки. Руйнування мало крихкий характер. Руйнуюче навантаження склало 15 кН, прогини балки зображені на рис. 6, б.

а *б*

Рис. 1.
а – Руйнування першої серії зразків; б – Прогин балки перед руйнуванням

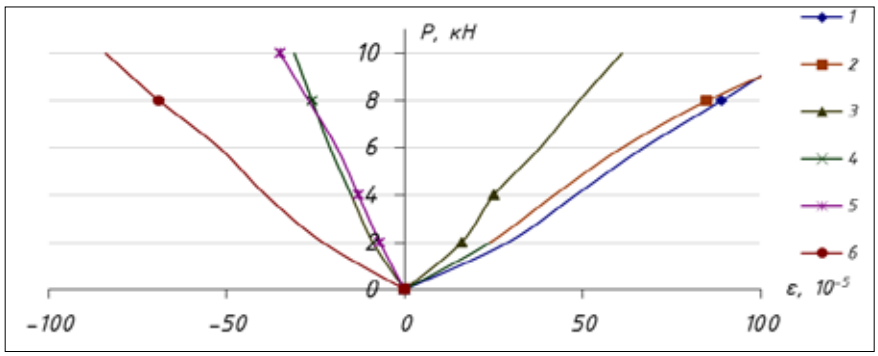


Рис. 2. Відносні деформації зразка БКА-В1

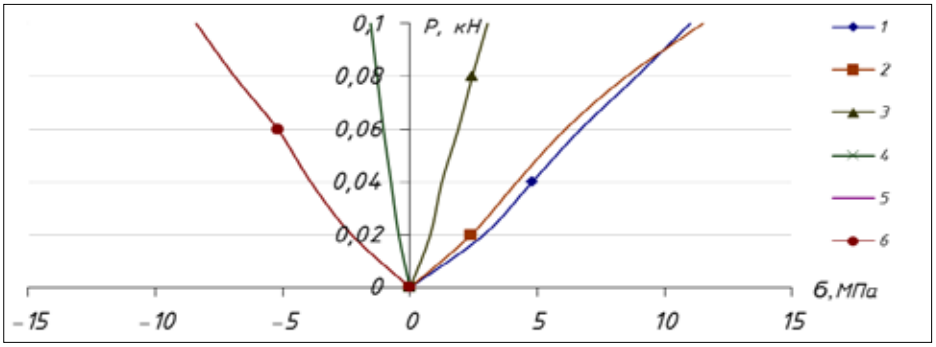


Рис. 3. Напруження в точках розташування тензодатчиків зразка БКА-В1

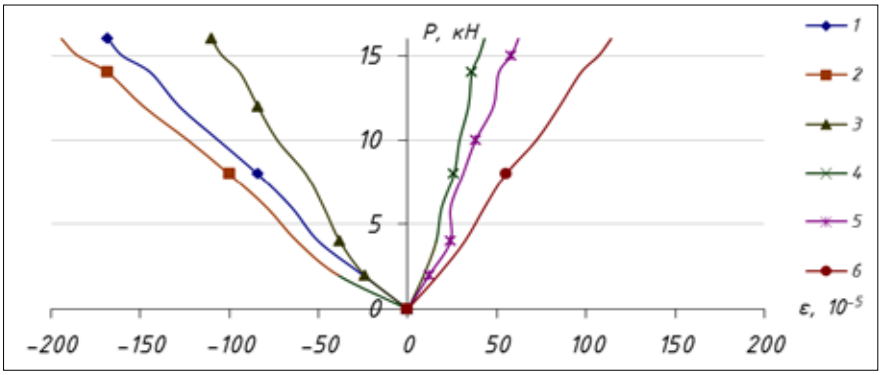


Рис. 4. Відносні деформації зразка БКА-Н1

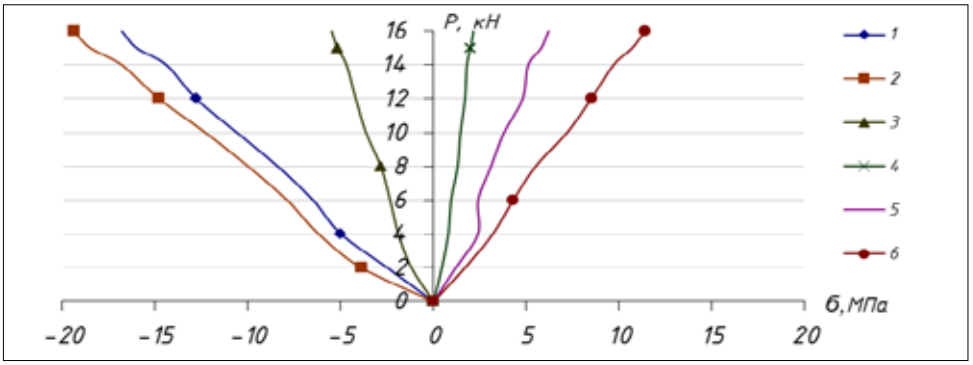


Рис. 5. Напруження в точках розташування тензодатчиків зразка БКА-Н1

а *б*

Рис. 6.
а –Руйнування другої серії зразків; б – Прогин балки після руйнування

Проаналізуємо характер роботи зразків третьої серії при статичних навантаженнях та їх можливий процес руйнування. В результаті вимірювань тензорезисторами, наклеєними на деревині по геометричній осі елементів конструкції, отримані графіки залежності деформацій (рис. 7) та напружень (рис. 8) від навантаження. Отримані графіки залежності деформацій (рис. 9) та напружень (рис. 10).

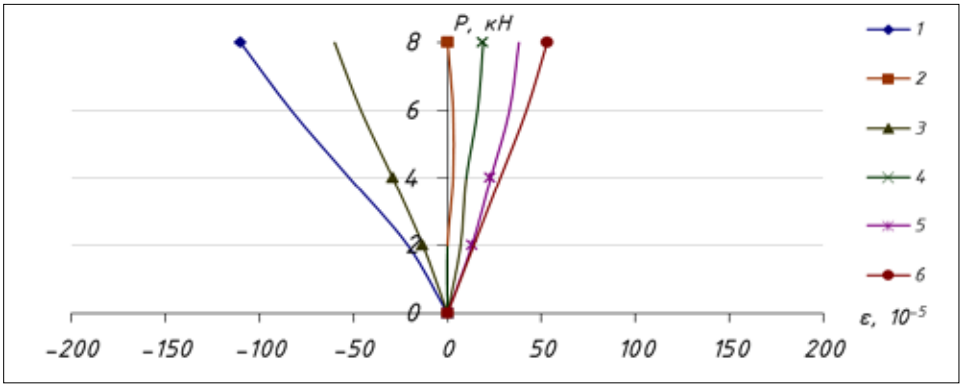


Рис. 7. Відносні деформації зразка БКА-Н2

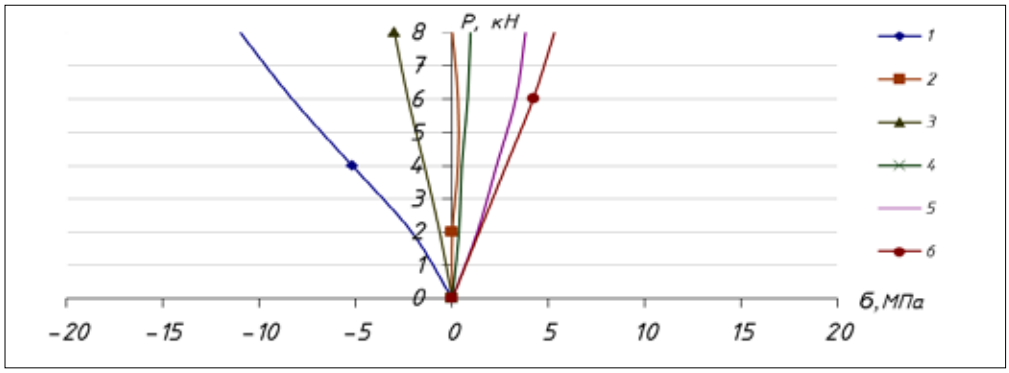


Рис. 8. Напруження в точках розташування тензодатчиків зразка БКА-Н2

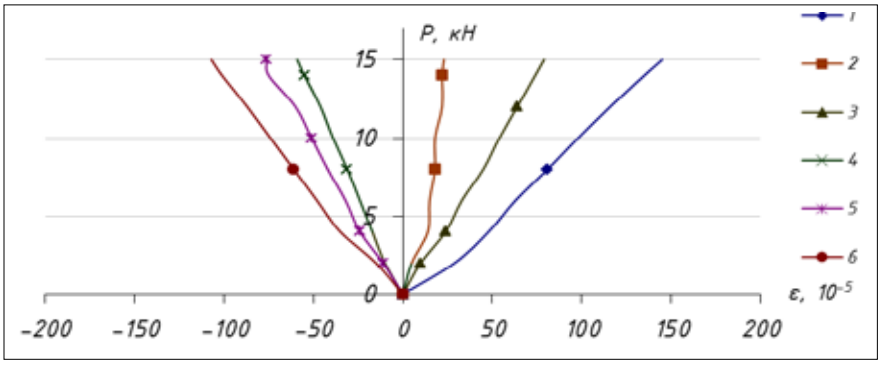


Рис. 9. Відносні деформації зразка БКА-В2

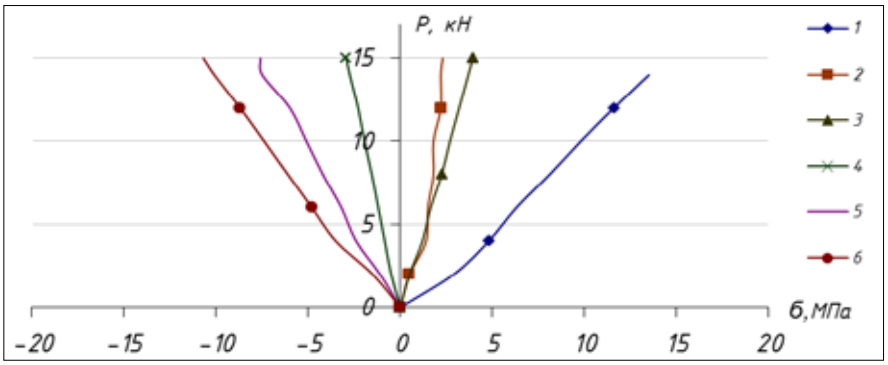


Рис. 10. Напруження в точках розташування тензодатчиків зразка БКА-В2

а *б*

Рис. 11.
а – Руйнування третьої серії зразків; б – Прогин балки після руйнування

До зразка третьої серії БКА-НВ1 навантаження прикладалося до втрати несучої здатності зразка, яка відбулась в результаті зміщення стінки по клейовому шву, це показує, що мала площа з'єднання клейовим швом стінки з OSB та полички (рис. 11). Руйнуюче навантаження склало 15,5 кН.

В результаті вимірювань тензорезисторами, наклеєними на деревині по геометричній осі елементів конструкції, отримані графіки залежності деформацій (рис. 12) та напружень (рис. 13) від навантаження.

Визначимо характер роботи зразків четвертої серії при статичних навантаженнях та їх руйнування. Втрата несучої здатності зразка відбулась в результаті руйнування стінки з OSB внаслідок дії дотичних напружень на стиск (рис. 14). Похила тріщина утворилась на опорі під кутом нахилу 45°. Крім руйнування стінки відбувся нахил відносно осі. Руйнування має крихкий характер. Руйнуюче навантаження склало 20,5 кН.

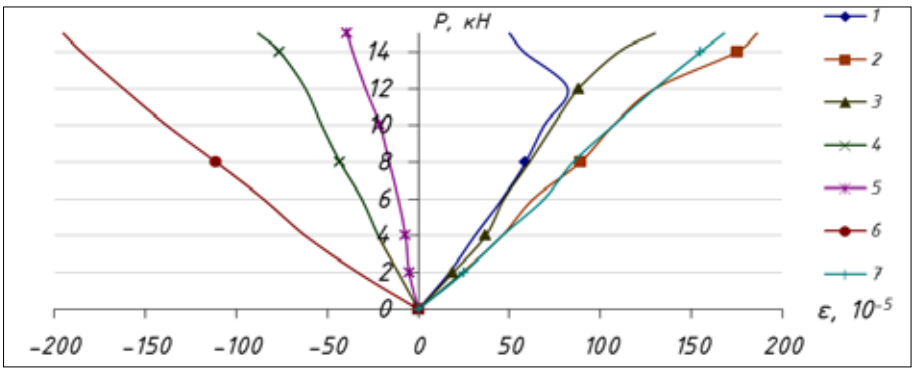


Рис. 12. Відносні деформації зразка БКА-НВ1

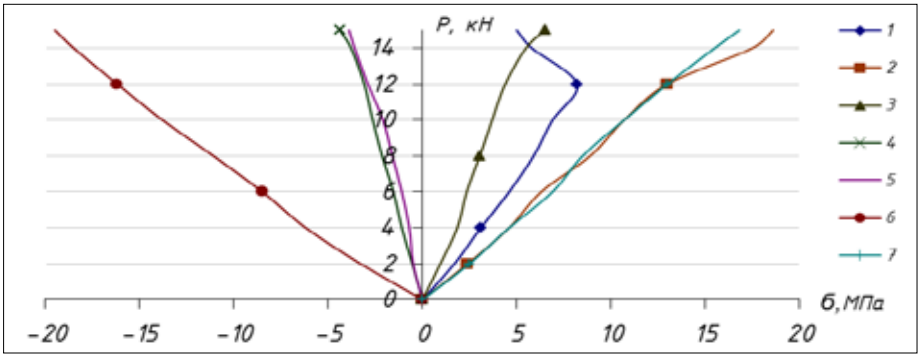


Рис. 13. Напруження в точках розташування тензодатчиків зразка БКА-НВ1

а *б*

Рис. 14.
а – Руйнування четвертої серії зразків; б – Прогин балки після руйнування

На основі отриманих результатів побудовані графіки (рис. 15–16).

Після проведеного аналізу визначимо характер роботи зразків п'ятої серії при статичних навантаженнях та їх руйнування. Згідно з прийнятою методикою проведення експериментальних досліджень несучої здатності й деформативності клеєних балок, вимірювання деформацій проводились при обпиранні зразка на дві опори при завантаженні у одній точці на відстані 700 мм від опор.

Втрата несучої здатності зразка БКА-В2Н2-2 відбулась в результаті руйнування стінки з OSB внаслідок дії дотичних напружень (рис. 17,а). Похила тріщина утворилась посередині прольоту та відбувся зріз стінки, також на опорі під кутом нахилу 45° та відбулося руйнування на опорі у вигляді тріщини і відшарування стружок орієнтовно-стружкової плити. Руйнування має крихкий характер. Руйнуюче навантаження склало 12 кН. Прогини представлені на рис.17,б.

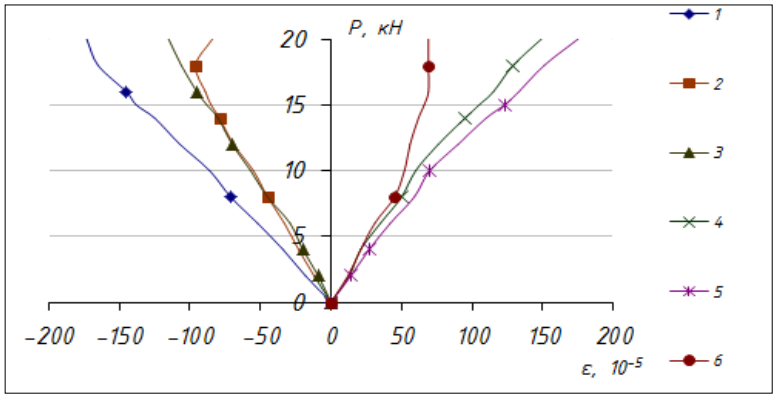


Рис. 15. Відносні деформації зразка БКА-В2Н2

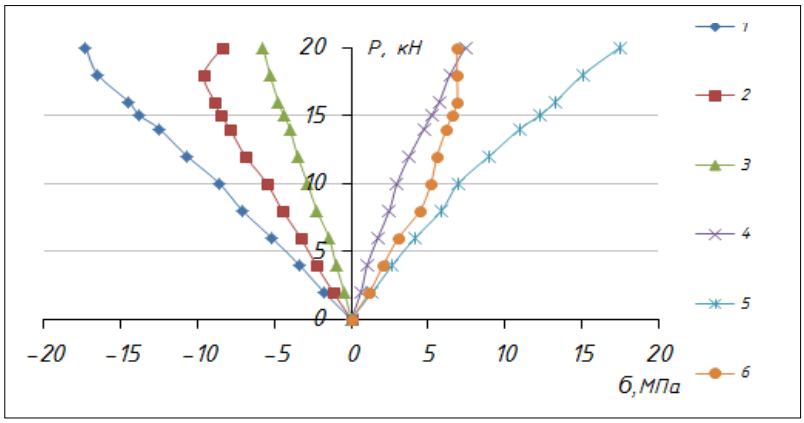


Рис. 16. Напруження в точках розташування тензодатчиків зразка БКА-В2Н2

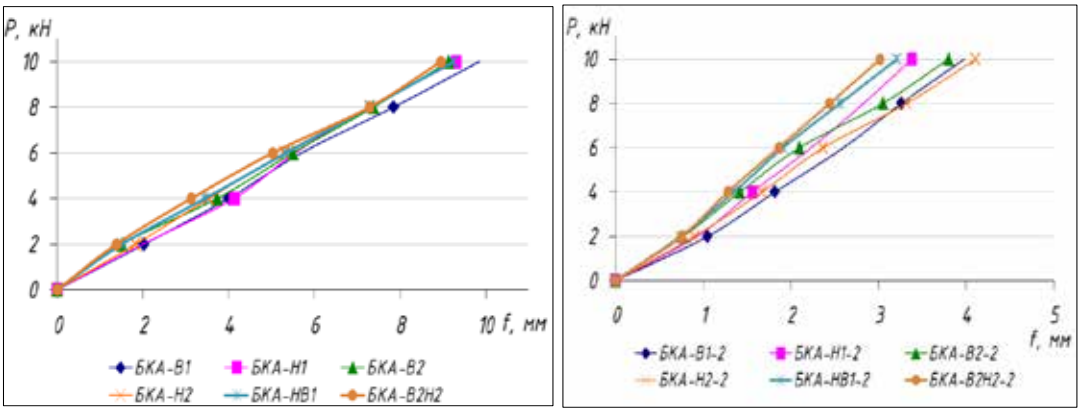
а *б*

Рис. 17.
а – Руйнування балки БКА-В2Н2-2 п'ятої серії зразків; б – Прогин балки після руйнування

У ході експерименту вдалося встановити характер руйнування конструкцій та дослідити їх роботу. Випробування показали, що виготовлення конструкцій двотаврових балок зі стінкою з OSB плити та армуванням є доцільним і симетричне армування показало менші прогини, ніж несиметричне одиночне та подвійне (рис. 18).

Порівнявши прогини чотирьох серій балок, можна сказати, що армування склопластиковою арматурою двотаврових дерев'яних балок із стінкою із OSB зменшує прогини і чим більше стержнів тим менші прогини, але і менша міцність клейових швів.

Прогини балок всіх серій зразків збільшувались рівномірно відповідно до росту навантаження



а *б*

Рис. 18.
а – Залежності прогинів від армування для зразків чотирьох серій; б –Залежності прогинів від армування для зразків п'ятої серії

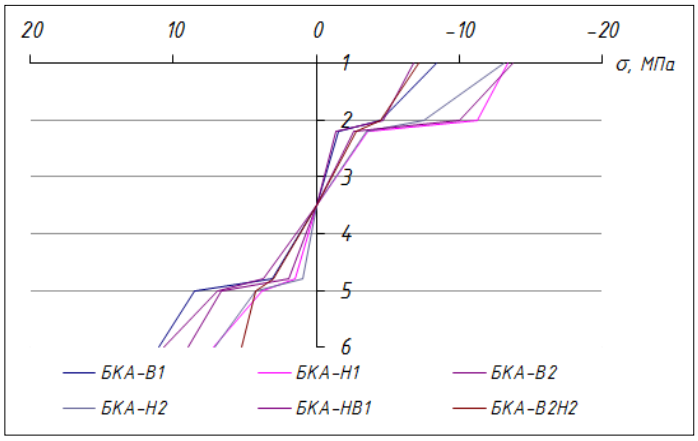
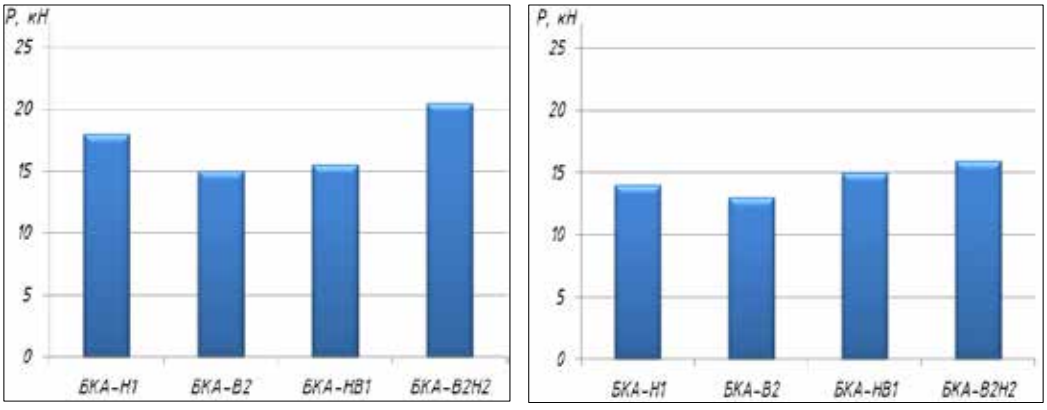


Рис. 19. Епюра напружень для чотирьох серій балок в залежності розташування тензодатчиків



а *б*

Рис. 20.
а – Графік руйнівного навантаження балок чотирьох серій; б – Графік руйнівного навантаження для балок п'ятої серії

аж до руйнування. По графіках видно, що у балках, які армовані склопластиковою арматурою симетрично мають менші прогини порівняно із балками армованими лише одним та двома стержнями арматури.

По графіках видно, що у балках в яких армування лише у одному із поясів напруження у поясі де знаходиться арматура менші, ніж у іншому поясі і тому симетричне армування балок зменшує напруження у двох поясах. Графіки

руйнівного навантаження для всіх серій зразків приведені на рис. 20.

Висновок.

У ході проведеного дослідження випробування показали задовільну роботу дерев'яних армованих склопластиковою арматурою балок двотаврового перерізу зі стінками з орієнтовано-стружкової плити. В результаті випробувань видно, що армування балок впливає на напруження і прогини. Руйнування всіх зразків відбувалося від дотичних напружень, але деякі зразки зруйнувалися від зсуву стінки відносно полички і це означає, що недостатня площа клейового шва. Симетричне армування показало кращі результати від одиночного і подвійного та балка зразка четвертої серії БКА-В2Н2 витримала найбільше навантаження, яке склало 20 кН.

Список літератури:

1. Dmytrenko, A. Dmytrenko, T., Derkach T., Klochko L.: Experimental Investigation and Computer-Generated Simulation of Reinforced Double-Tee Girders with a Wall of Oriented Standard Board. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.8), pp. 115–119. Elsevier, UK. (2018). https://doi.org/ 10.14419/ijet.v7i4.8.27224

2. Sorin, E. Coureau, J., Chaplain, M.: Prediction of the ultimate load-carrying capacity of wooden notched beams with and without reinforcements using a splitting model. *Construction and Building Materials*, vol. 271. Elsevier, UK (2021). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121518

3. Yua, P., Yangab, Q., Lawa, S.: Lateral performances of traditional wooden frame with loose penetrated mortise-tenon connection and column foot models. *Journal of Building Engineering*, vol. 47. Elsevier, UK (2022). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103793

4. Du, Y., Doudak, G., Mohareb, M.: Effect of beam-deck connection flexibility on lateral torsional buckling strength of wooden twin-beams. *Engineering Structures*,vol.207. Elsevier, UK (2020). https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110226

Chichulina K.V. ANALYSIS OF THE EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS OF REINFORCED WOODEN I-BEAMS

The purpose of the experimental studies presented in the article is to study the work, determine the load-bearing capacity and the nature of the destruction of composite reinforced fiberglass reinforcement wooden beams with a wall of OSB with solid belts and their comparison. The object of the study is glued fiberglass-reinforced wooden balls of I-beam section with a wall with OSB and integral belts of floors and roofs of buildings and structures. To achieve this goal, six composite glued fiberglass-reinforced wooden beams of I-beam section with an OSB wall and integral belts were made. The first two beams are made with single reinforcement from above and below, the second and third beams with double reinforcement from above and below, the fifth with symmetrical single reinforcement and the sixth with symmetrical double reinforcement, to study their operation under static loads. Six beams with the same but smaller dimensions were also fabricated to compare deflections from single force loading. According to the accepted method of conducting experimental studies of bearing capacity and deformability of glued beams, deformation measurements were performed when the sample was supported on two supports when loading at two points at a distance of 900 mm from the supports. The destruction of I-beams of this type occurs as a result of rupture of the wall from the action of tangential stresses, the destruction of the shelf in the stretched area and the displacement of the wall along the adhesive seam. Given the fact that the destruction of the shelf in the stretched area began with the knot of the beam, it is necessary to ensure the absence of such defects in the area of maximum bending moment in the production of glued wooden beams. In the manufacture of structures, special attention should be paid to the quality of the adhesive connection of the wall with the belts of the beam and in symmetrical reinforcement, it is recommended to increase the depth of the grooves to increase the area of the adhesive seam. This will ensure reliable bonding and deformation of the shear between the walls and shelves will be absent.

Key words: *wooden beams, OSB, experiment, destruction, strength, load.*