

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРОЛІТНИХ ДЕРЕВОПІНОБЕТОННИХ  
КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ**

**MODELING OF SPAN WOOD-FOAM CONCRETE STRUCTURAL  
ELEMENTS UNDER LOAD**

**Фамуляк Ю.Є., к.т.н., доцент**, (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;

**Демчина Б.Г., д.т.н., професор**, (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), <https://orcid.org/0000-0002-3498-1519>

**Famulyak Yu., candidate of technical sciences, associate professor** (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;

**Demchyna B., doctor of technical sciences, professor** (National University «Lviv Polytechnic», Lviv), <https://orcid.org/0000-0002-3498-1519>

**Ніздрюваті бетони, які сьогодні користуються значною популярністю, завдяки простоті їх виготовлення та енергоощадності. Під час реконструкції та реставрації будівель часто доводиться поєднувати в одному перерізі різні матеріали. До такого об'єднання, яке можна використати у пролітних конструкціях, можна віднести такі, на перший погляд непоєднувані матеріали, як ніздрюватий бетон та дерево.**

**Energy efficiency of buildings is a challenge facing the construction industry today, along with the reliability of buildings under construction and their maximum cost reduction. Cellular concrete can be confidently attributed to this type of material. Cellular concrete is a type of artificial stone material with a porous structure. During the reconstruction and restoration of buildings, it is often necessary to combine different materials in one section. Therefore, structural elements that combine the strength and durability of one material with the textural appeal and lightness of another would be interesting and appropriate in such circumstances. Such a combination, which can be used in span structures, includes such seemingly incompatible materials as concrete and wood. The concrete part of such an element can be made not only of heavy concrete, but also of cellular concrete. This design of span structures allows them to be used inside the building without additional expensive finishes. Such structures are well perceived visually. The current research and development efforts are mainly concerned with structural elements made of homogeneous construction materials, such as reinforced concrete, metal, wood, polymer composite materials, etc. Scientists and**

manufacturers pay little attention to the study of structures that combine seemingly incompatible properties in one section. Therefore, such structures are not widely used in construction practice. The main objective of the study was to substantiate the possibility of using different materials in one section of a span structure. It is proposed to use a wooden board placed in the most stretched part of the cross-section of the wood-foam concrete beam as the working reinforcement of the beam. This, in turn, makes it possible to use such a beam as a span element with sufficient strength and thermal characteristics at a minimum cost. This solution also allows the wooden part of the structural element to be used as an element of fixed formwork.

**Ключові слова:** пінобетон, дерево, проліт, моделювання, деформації.  
foam concrete, wood, span, modeling, deformation.

**Вступ.** Енергоощадність будівель – це завдання, яке стоїть перед будівельною галуззю сьогодні поряд з надійністю споруджуваних будівель та їх максимальним здешевленням. Одним із шляхів вирішення таких задач є використання дешевих, одночасно якісних та простих у використанні матеріалів. Ніздрюваті бетони можна з впевненістю віднести до такого роду матеріалів. Ніздрюваті бетони – це один з видів штучних кам'яних матеріалів пористої структури. Такі бетони отримують в результаті затвердіння суміші з в'язучих, тонко-дисперсного кремнеземистого заповнювача, пороутворювача і води.

Для створення пористої структури ніздрюватих бетонах в основному використовують два способи: додавання до водної суспензії змішаних матеріалів газоутворюючих добавок, чи шляхом змішування суспензії з піною. Матеріал, виготовлений за першим способом, носить назву газобетон, а за другим – пінобетон [1-3]. Як правило, роль в'язучого для приготування таких ніздрюватих бетонів виконує цемент.

Необхідно відмітити також і таке, що за рахунок високих теплотехнічних властивостей досягається зниження експлуатаційних енергетичних витрат, підвищується комфорт житла. Використання ніздрюватих бетонних виробів у житловому будівництві дозволяє знизити вартість житла. Ніздрюваті бетони за своїми фізичними та технічними властивостями повною мірою відповідають вимогам раціонального використання енергоресурсів на обігрів, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будівель та споруд.

Дана проблематика стає актуальною і при реставрації, реконструкції чи відновленні будівель, що буде особливо затребуваною в післявоєнний період. Під час реконструкції та реставрації будівель часто доводиться поєднувати в одному перерізі різні матеріали. Тому конструктивні елементи, що поєднують міцність і довговічність одного матеріалу з фактурною

привабливістю та легкістю іншого, були б цікавими та доречними за таких обставин. До такого об'єднання, яке можна використати у пролітних конструкціях, можна віднести такі, на перший погляд непоєднувані матеріали, як бетон та дерево [4]. Бетонну частину такого елемента можна виконувати не лише з важких бетонів, але і з ніздрюватих бетонів [5, 6]. Таке виконання пролітних конструкцій дозволяє використовувати їх всередині будівлі без додаткових дорогих обробок. Такі конструкції добре сприймаються візуально.

**Аналіз останніх досліджень.** Наявні на сьогодні дослідження та розробки стосуються здебільшого конструктивних елементів, виконаних з однорідних конструктивних матеріалів, таких як залізобетон, метал, дерево, полімерні композитні матеріали тощо. Дослідженню конструкцій, в яких в одному перерізі поєднані, на перший погляд, несумісні властивості, науковці та виробничники приділяють мало уваги. Тому такі конструкції не знайшли широкого застосування у будівельній практиці. Як виключення, можна згадати сталобетонні [7] та метало-дерев'яні конструкції.

Під керівництвом доктора технічних наук, професора Демчини Б. Г. було досліджено ряд деревобетонних балок, які в своєму перерізі об'єднували тяжкий бетон та дерево [4]. Такі балки були прототипом для деревопінобетонних пролітних конструктивних елементів.

**Постановка мети і задач досліджень.** Було запропоновано в одному перерізі пролітної конструкції (балки) поєднати два матеріали – деревину та ніздрюватий бетон (пінобетон). Такі матеріали кардинально різняться за своїми властивостями, міцністю, довговічністю тощо. Основним завданням дослідження було обґрунтування можливості використання різних матеріалів в одному перерізі пролітної конструкції.

В ролі робочої арматури балки запропоновано використати дерев'яну дошку, розміщеної у найбільш розтягнутій частині поперечного перерізу деревопінобетонної балки. А це в свою чергу дозволяє використовувати таку балку як прогінний елемент з достатніми міцнісними та теплотехнічними характеристиками при мінімальній вартості. Таке вирішення дозволяє використовувати дерев'яну частину конструктивного елемента і як елемент незнімної опалубки.

**Методика досліджень та їх результати.** Для вивчення можливості використання в одному перерізі пролітної конструкції пінобетону та деревини було проведено математичне моделювання таких конструкцій. Вивчення роботи пролітної деревопінобетонної балки проводилось за допомогою комп'ютерного моделювання, використовуючи програму ANSYS. Для пінобетонної частини деревопінобетонної балки в числовий експеримент було закладено характеристики звичайного неавтоклавного пінобетону марки D500. Як дерев'яна частина дослідних балок було використано деревину соснових порід нормальної вологості. Фізико-механічні характеристики

пінобетону, деревини та арматурних стрижнів були взяті з відкритих нормативних джерел.

Для числового експерименту було запропоновано ряд балкових зразків, які різнилися товщиною дерев'яної частини перерізу деревопінобетонної балки та елементами об'єднання пінобетонної та дерев'яної частини балок. Для об'єднання пінобетонної та дерев'яної частин перерізу балкових зразків було використано будівельні цвяхи та металеві скоби. Цвяхи та скоби, крім об'єднувальної ролі, виконували роль поперечного армування дослідних деревопінобетонних балок.

Всі дослідні зразки запроектовано у вигляді балок (рис. 1), з розрахунковим прогоном 2400 мм та поперечним перерізом прямокутної форми розміром 150x250(h) мм. Загальна довжина балкових зразків 2500 мм. Всього було запроектовано вісім варіантів балкових зразків, які різнилися об'єднувальними елементами. Крім того, для кожного варіанту була передбачена різна товщина дерев'яної частини перерізу (a), а саме – 50, 30 та 10 мм.

Перший варіант балкового зразка – деревопінобетонна балка, з об'єднувальними елементами у вигляді двох пар будівельних цвяхів та поздовжньої арматури стиснутої зони у вигляді двох арматурних стрижнів, які розміщені на віддалі 50 мм від верхньої грані балкового зразка. Цвяхи розміщені над опорами.

Другий варіант балкового зразка – деревопінобетонна балка, з об'єднувальними елементами у вигляді попарно забитих будівельних цвяхів та поздовжньої арматури стиснутої зони у вигляді двох арматурних стрижнів, які розміщені на віддалі 50 мм від верхньої грані балкового зразка. Цвяхи розміщені попарно від опор на 1/3 прогону балки з кроком 100 мм. В середній третині балки цвяхи відсутні.

Третій варіант балкового зразка – аналогічний другому варіанту з додатковими об'єднувальними цвяхами в середній третині балки, які розміщені з кроком 200 мм.

Четвертий варіант балкового зразка – на відміну від другого варіанту цвяхи забиті під кутом  $50^\circ$  до горизонту.

П'ятий варіант балкового зразка – на відміну від третього варіанту цвяхи забиті під кутом  $50^\circ$  до горизонту.

Шостий варіант балкового зразка – на відміну від третього варіанту об'єднувальні елементи виконані у вигляді металевих скоб висотою 200 мм, що замінюють пару цвяхів.

Сьомий варіант балкового зразка – на відміну від шостого варіанту скоби забиті під кутом  $50^\circ$  до горизонту.

Восьмий варіант балкового зразка – на відміну від шостого варіанту об'єднувальні елементи виконані у вигляді металевих скоб висотою 100 мм.

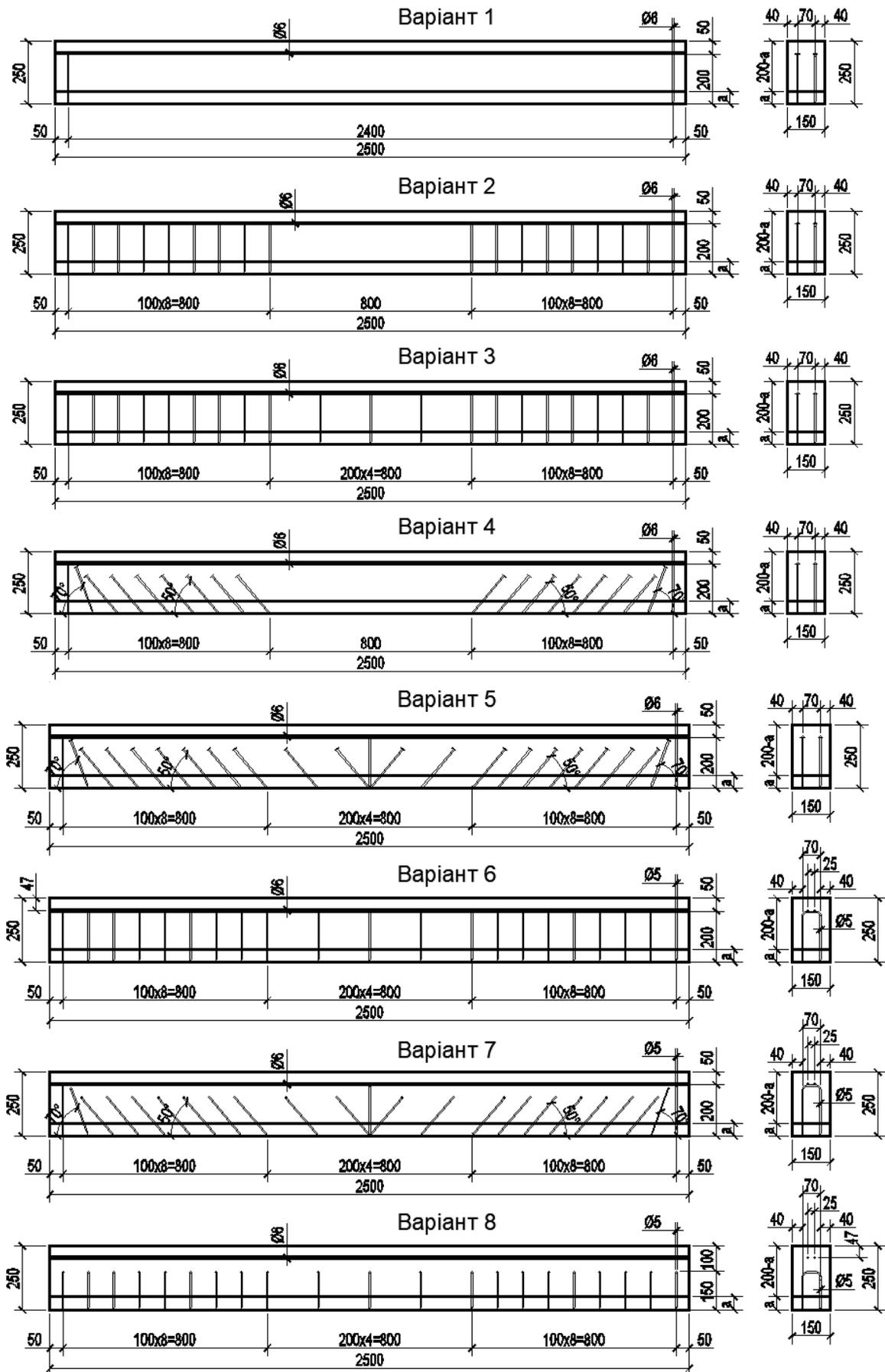


Рис. 1. Схеми армування дослідних балкових зразків

Цвяхи у всіх балкових зразках діаметром 6 мм, довжиною 200 мм. Скоби та поздовжня арматура стиснутої зони виконані з арматурних стрижнів діаметром 6 мм класу А240С.

Дослідні зразки, в процесі моделювання, завантажували двома зосередженими силами, прикладеними на верхній грані зразка на відстані 1/3 прогону від опори, тобто 800 мм (рис. 2). В процесі моделювання було передбачено, що зразки спираються на дві опори: рухому та нерухому. Навантаження, що прикладалось до верхньої грані зразка дорівнювало 1000 Н. В процесі моделювання визначались загальні деформації та максимальні напруження в балкових деревопінобетонних зразках.

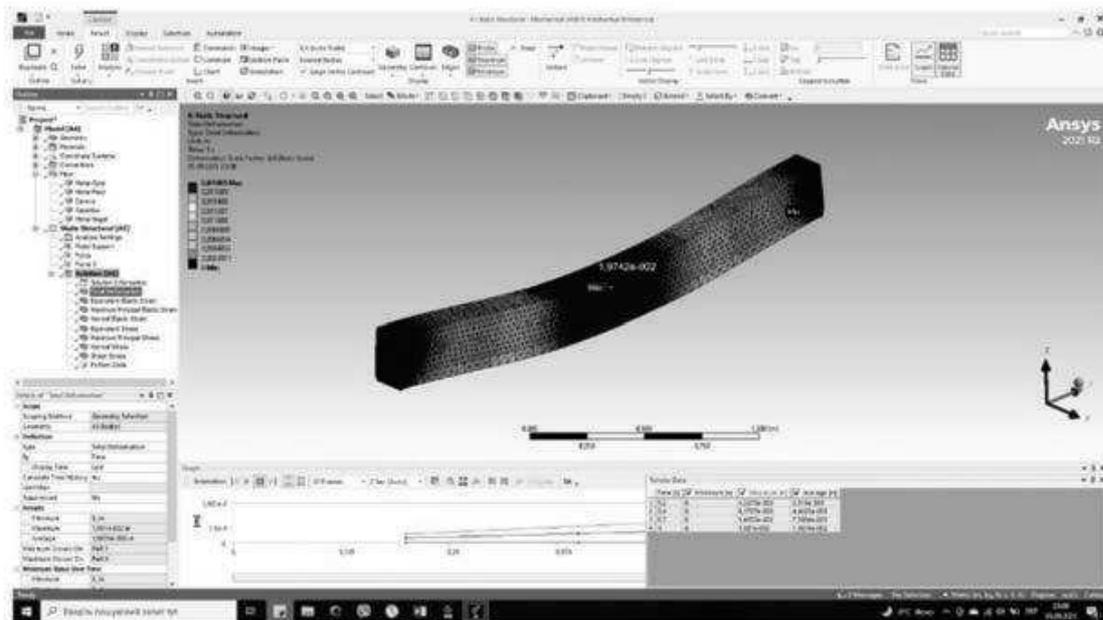


Рис. 2. Моделювання деформацій деревопінобетонної балки (варіант 1)

На основі результатів числового експерименту були побудовані графіки загальних деформацій (рис. 3) та максимальних напружень (рис. 4) в тілі деревопінобетонних балкових зразків за однакового рівні завантаження.

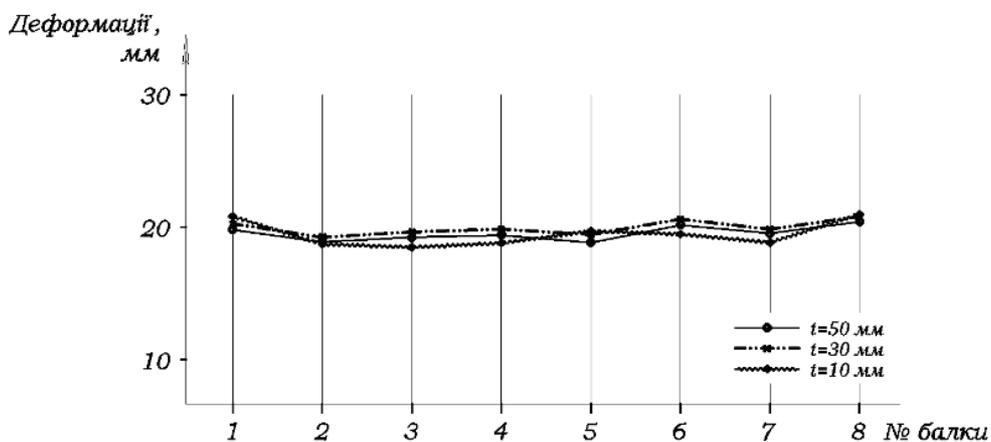


Рис. 3. Графік загальних деформацій деревопінобетонних балок

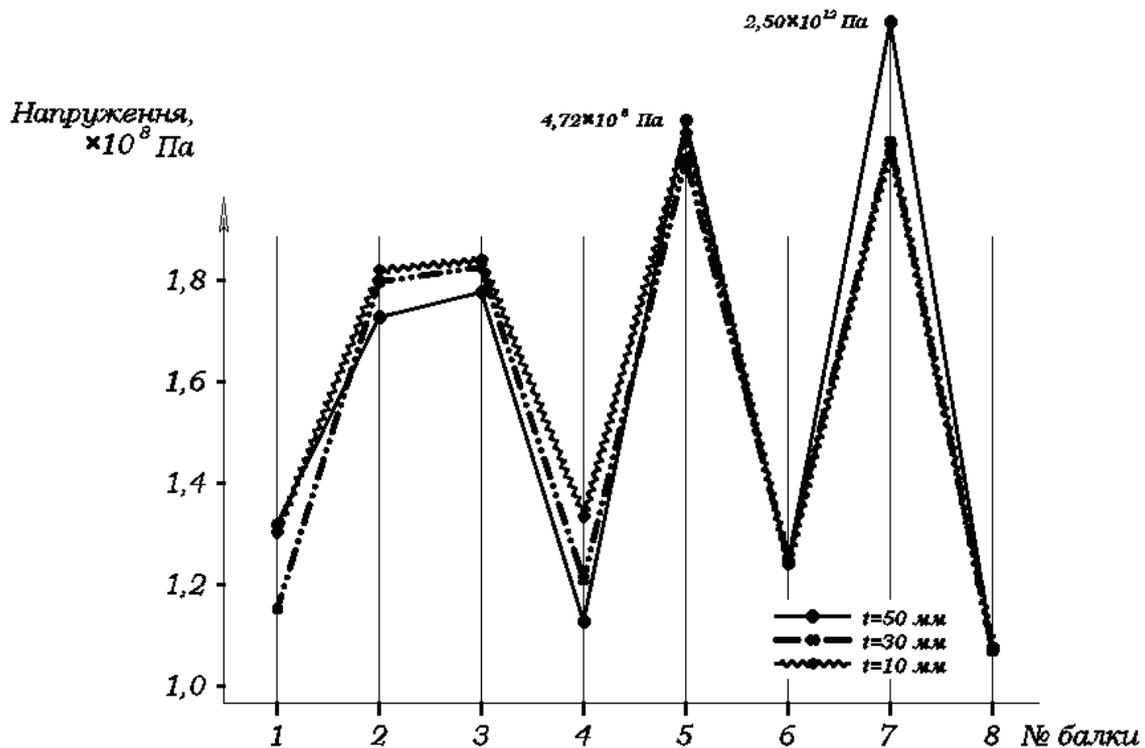


Рис. 3. Графік максимальних напружень деревопінобетонних балок

**Висновки.** На основі проведених теоретичних досліджень деревопінобетонних пролітних елементів та аналізу їх роботи під навантаженням можна констатувати:

1. Дерево та ніздрюватий бетон можна об'єднати в єдиний переріз балкової конструкції, розмістивши дерев'яну частину в розтягнутій зоні перерізу.

2. Деформації та напруження в тілі таких елементів залежить від висоти дерев'яної частини перерізу та способу об'єднання ніздрюватого бетону з деревиною.

3. Для отримання більш глибоких та достовірних результатів необхідно провести натурні дослідження запропонованих пролітних деревопінобетонних конструктивних елементів.

Узагальнюючи наведені вище висновки можна констатувати, що дерево та ніздрюватий бетон з високою ймовірністю можна об'єднувати в єдиний переріз пролітних балкових елементів.

1. Опекунів В. В. Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві. Київ: Академія будівництва України, 2006, 85 с.

Opiekunov V. V. Porysti kompozytsiini materialy ta yikh vykorystannia u budivnytstvi. Kyiv: Akademiia budivnytstva Ukrainy, 2006, 85 s.

2. Famulyak Yu., Burchenya S., Mazurak T. et all. Zastosowanie niekonwencjonalnego zbrojenia w elementach piano- i gazobetonowych. 61 Konferencja Naukowa Komitetu Inzynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, 20-25 września 2015, Bydgoszcz-Krynica: Wybrane zagadnienia konstrukcji i materialow budowlanych oraz

geotechniki. – Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2015. S. 45-53.

3. Famulyak Yu., Sobczak-Piąstka Ju. Experimental research of non-autoclaved concrete with unconventional reinforcement / World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2018) IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 221 (2019) 012122 IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/221/1/012122.

4. Ю. Фамуляк, Б. Демчина, Х. Демчина. Дослідження несучої здатності та деформативності згинаних деревобетонних балок. Вісник ЛНАУ № 19 “Архітектура і сільськогосподарське будівництво”. – Львів: ЛНАУ. – 2018. – С. 61 – 69.

Yu. Famuliak, B. Demchyna, Kh. Demchyna. Doslidzhennia nesuchoi zdatnosti ta deformatyvnosti zghynanykh derevobetonnykh balok. Visnyk LNAU № 19 “Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo”. – Lviv: LNAU. – 2018. – S. 61 – 69.

5. Патент України на корисну модель, u2019 02522 МПК (2019.01) E04C 5/00, E04C 5/02 (2006.01), E04C 3/20 (2006.01). Деревопінобетонна балка / Фамуляк Ю.Є.; заявн. і патентовласник Львів. нац. аграр. ун-т – №136333, заявл. 14.03. 2019; опубл. 12.08. 2019. Бюл. № 15.

Patent Ukrainy na korysnu model, u2019 02522 МПК (2019.01) E04S 5/00, E04S 5/02 (2006.01), E04S 3/20 (2006.01). Derevopinobetonna balka / Famuliak Yu.Ie.; zaiavn. i patentovlasnyk Lviv. nats. ahrar. un-t – №136333, zaiavl. 14.03. 2019; opubl. 12.08. 2019. Biul. № 15.

6. Патент України на корисну модель, u2022 01613 МПК (2006) E04C 5/02 (2006.01), E04C 3/00. Деревопінобетонна балка зі змішаним поздовжнім нетрадиційним жорстким армуванням / Фамуляк Ю.Є.; заявн. і патентовласник Львів. нац. ун-т природокорист. – №152717, заявл. 18.05. 2022; опубл. 05.04. 2023. Бюл. № 14.

Patent Ukrainy na korysnu model, u2022 01613 МПК (2006) E04S 5/02 (2006.01), E04S 3/00. Derevopinobetonna balka zi zmishanym pozdovzhnim netradytsiinym zhorstkym armuvanniam / Famuliak Yu.Ie.; zaiavn. i patentovlasnyk Lviv. nats. un-t pryrodokoryst. – №152717, zaiavl. 18.05. 2022; opubl. 05.04. 2023. Biul. № 14.

7. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием – К. : Будівельник, 1984. – 85 с.

Klymenko F.E. Stalebetonnyye konstruksyy s vneshnym polosovym armyrovanyem – K. : Budivelnik, 1984. – 85 s.