

**УНІВЕРСАЛЬНА ЗБІРНА ДЕРЕВОНІЗДРЮВАТОБЕТОННА ПАНЕЛЬ  
ДЛЯ ШВИДКО МОНТОВАНИХ ЗБІРНИХ БУДІВЕЛЬ**

**UNIVERSAL PREFABRICATED WOOD-AERATED CONCRETE PANEL  
FOR QUICKLY ASSEMBLED PREFABRICATED BUILDINGS**

**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>;

**Бурчєня С. П. к.т.н., доцент** (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0002-6903-1134>

**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>; **Burchenya S. P. candidate of technical sciences associate professor** (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0000-0002-6903-1134>

**Швидко збірним будівлям завжди надається перевага в умовах різноманітних природних катаклізмів чи воєн, що є актуальним для України сьогодні. Такі будівлі можуть мати різні технологічно-конструктивні рішення, але основне завдання такого будівництва – отримати зручні, надійні будівлі за короткий термін з незначними матеріальними затратами та малою трудомісткістю.**

**Prefabricated buildings are always preferred in the face of various natural disasters or wars, which is relevant for Ukraine today. Such buildings may have different technological and structural solutions, but the main task of such construction is to obtain convenient, reliable buildings in a short time with low material costs and low labor intensity.**

**The technology of manufacturing prefabricated structures and buildings dates back hundreds of years. Prefabrication involves assembling an object from prefabricated individual elements. This includes all structural elements, whether they are beams for the frame, flat panels, floors, or even prefabricated volumetric modules.**

**Prefabricated structures used for the construction of buildings and structures were a profitable solution where suitable materials were not available locally (for example, in former colonies) and buildings had to be erected in a short time and without proper engineering skills.**

**Obtaining reliable, energy-efficient, sufficiently fire-resistant and, to a certain extent, protective buildings that are not too expensive to construct is fully consistent with Ukraine's needs to provide housing and utility or public buildings for internally displaced persons and residents of frontline areas. This task can be accomplished only if different materials are used for the construction of structural elements of buildings and structures. Ideally, such structural elements should combine reliability, strength and load-bearing capacity, the necessary thermal properties and durability, textural appeal and lightness, and resistance to high temperatures and mechanical damage.**

**In the course of the research, it was proposed to combine several materials - wood, cellular concrete, and heavy concrete - in one cross-section of a universal structure (slab). These materials differ dramatically in their properties, strength, durability, etc. The main task of the study was to substantiate the possibility of using such a panel as a floor, wall, and roof panel with minimal costs for finishing the interior of the building and sufficient thermal and fire protection properties, as well as with some protection against fragments of explosive objects and bullets.**

**Ключові слова:** ніздрюватий бетон, дерево, панель, моделювання, деформації.

aerated concrete, wood, panel, modeling, deformation.

**Вступ.** Попит на «швидке» житло виріс з першого дня війни, яку розв'язала Росія проти України. Як показує сьогоднішня ситуація, знищуються не лише інфраструктурні споруди та будівлі, а й житловий фонд України. Така ситуація спонукає суспільство до якомога швидшої реалізації низки національних програм в рамках Плану відновлення України [1]. Як показала практика та історичний досвід, технології швидкого будівництва різноманітних будівель відомі досить давно. Такі будівлі можуть мати різні технологічно-конструктивні рішення, але основне завдання такого будівництва – отримати зручні, надійні будівлі за короткий термін з незначними матеріальними затратами та малою трудомісткістю. Серед технологічних рішень досить широку нішу займають збірні швидко монтовані будівлі, які частково відрізняються від каркасних будівель. Разом з тим такі типи будівель можуть бути модульними.

Технологія виробництва збірних конструкцій і споруд нараховує вже сотні років. Збірна конструкція передбачає складання об'єкта із заздалегідь заготовлених окремих елементів. Сюди відносяться всі конструктивні елементи, чи то балки для каркаса, чи то плоскі панелі, перекриття або навіть готові об'ємні модулі.

Збірні конструкції, що використовували для зведення будівель та споруд були вигідним рішенням там, де на місцевості не було відповідних матеріалів

(наприклад, у колишніх колоніях), і будівлі потрібно було зводити в короткі терміни та без належних будівельних навичок.

Перші згадки про збірні будинки датуються 1609 роком на території сучасної Англії. В той час, з метою зміцнення міст англійцям необхідно було будувати масивні кам'яні укріплення, але також були потрібні і господарські споруди. З великою ймовірністю, технологію збірного будівництва започаткував в Англії нормандець Вільгельм Завойовник, який привіз із собою збірні частини захисних споруд під час вторгнення в Англію в 1066 році. Така технологія сподобалась місцевим жителям і вони почали її широко застосовувати в будівництві будинків у себе і в своїх колоніях.

Першим відомим та розрекламованим збірним будинком, який британські емігранти в 1837 році доправили в Австралію і зібрали з окремих частин, став котедж лондонського теслі Генрі Меннінга. Використовуючи таку технологією, в той час у Південній Австралії, було побудовано дуже велику кількість будинків.

В північній Америці збірні будинки користувалися також значним попитом. Першим збірним будинком на території Америки і першим збірним будинком відомим загальною, став дерев'яний панельний рибальський будинок, який англійці привезли на мис Енн в 1624 році. Під час Каліфорнійської золотої лихоманки, в кінці 40-х років XIX-го століття, в Америку масово імпортували збірні будинки з Великої Британії, Швеції та Китаю.

У період з 1902 по 1910 рік кілька компаній у Сполучених Штатах почали пропонувати готові комплекти будинків з доставкою поштою. До 1958 року приблизно 15 відсотків нових будинків у США були збірними. Такий великий попит на збірне будівництво було обумовлене доступністю швидкого житла.

Збірні будинки допомогли вирішити проблему нестачі житла після Першої світової війни. Найбільшого поширення набули панельно-каркасні та каркасно-щитові технології. Методи промислового виробництва, які були необхідні у воєнний час, тепер стали ключовими при створенні збірних будинків.

Величезна потреба в технологіях швидкого будівництва житлових будинків з'явилася і після закінчення другої світової війни. У період із середини 1900-х до початку 2000-х років, вся збірна промисловість зазнала низки істотних змін. Після війни ринок житла зростав неймовірними темпами. Щоб швидше задовольняти попит, виробники почали шукати способи ще більше спростити процес. Збираючи на виробництві об'ємні цілі модулі будинків, вони скоротили процес складання на ділянці до кількох днів. Таку модель збірного будинку сьогодні називають модульною [2].

Процес спрощення конструкцій у поєднанні з економією коштів на спорудження, якнайкраще підходять для будівництва будинків за збірною технологією.

Така модель будівництва є особливо актуальною в умовах сучасної війни, яку розпочала країна-агресор на території України та залишатиметься актуальною ще досить довго і в післявоєнний період. Вказана ситуація пов'язана, в першу чергу, з необґрунтованими обстрілами та масовими руйнуваннями житлового сектору.

Отримання надійних, енергоощадних, достатньо пожежостійких та в певній мірі із захисними властивостями, не надто затратних при спорудженні будівель, цілком відповідає потребам України для забезпечення житлом та господарськими чи громадськими будівлями вимушених переселенців та жителів прифронтових районів. Дане завдання можливо виконати лише за умови використання різних матеріалів для влаштування конструктивних елементів будівель і споруд. В ідеалі, в таких конструктивних елементах необхідно поєднувати надійність, міцність та несучу здатність, необхідні теплотехнічні властивості і довговічність, фактурну привабливість та легкість, стійкість до високих температур та механічних пошкоджень.

**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 та які можна використовувати для різних функціональних потреб будівель [3-5], науковці та виробничники приділяють мало уваги. Тому такі конструкції не знайшли широкого застосування у будівельній практиці. В певній мірі до таких конструкцій можна віднести сталебетонні [6] 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 [7]. Такі балки, в певній мірі, були прототипом для деревоніздруватобетонних універсальних панелей для збірних будівель.

**Постановка мети і задач досліджень.** Було запропоновано в одному перерізі універсальної конструкції (плити) поєднати кілька матеріалів – деревину, ніздруватий бетон та важкий бетон. Такі матеріали кардинально різняться за своїми властивостями, міцністю, довговічністю тощо. Основним завданням дослідження було обґрунтування можливості використання такої панелі в ролі і підлогової, і стінової, і покрівельної з одночасними мінімальними затратами для оздоблення внутрішнього простору будівлі та достатніми теплотехнічними та пожежозахисними властивостями, з певним захистом від уламків вибухонебезпечних предметів та куль.

**Методика досліджень та їх результати.** Поставлене завдання, в процесі компонування та проектування збірної універсальної панелі, було запропоновано вирішити наступним чином.

Для влаштування каркасу панелі були використані дерев'яні балки з дошок, що об'єднували в тавровий або Г-подібний переріз за допомогою

цвяхів. До каркасу панелі кріпили обшивки: з одного боку – OSB плита, як варіант, можлива дерев'яна вагонка, з другого боку – залізобетонна частина панелі армована просічно-витяжним листом. Внутрішній простір панелі заповнювали ніздрюватим бетоном (рис. 1, 2). OSB плита до дерев'яного каркасу панелі кріпилась за допомогою цвяхів. Залізобетонна частина панелі була об'єднана в єдине ціле за допомогою металевих скоб забитих в дерев'яний каркас панелі. Для кращого об'єднання дерев'яного каркасу із залізобетонною частиною панелі використовували також цвяхи.

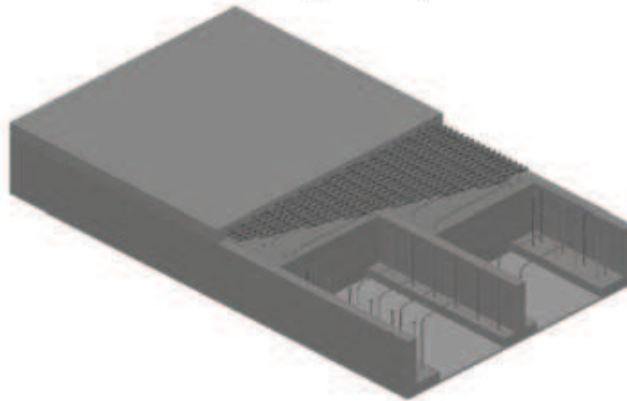


Рис. 1. Схема універсальної панелі

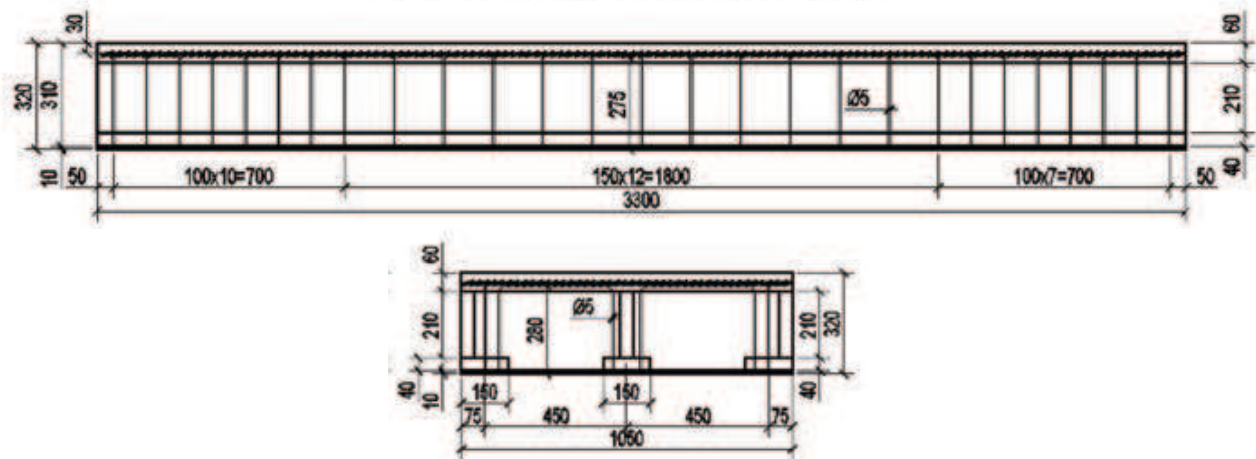


Рис. 2. Схема армування універсальної панелі

Процес виготовлення універсальної панелі можна поділити на кілька етапів. На початках необхідно виготовити три дерев'яних балки для каркасу панелі, де одна балка таврового перерізу, а дві – Г-подібного. Дерев'яні балки виготовляємо з дошок товщиною 40 мм. Горизонтальну частину балок виготовляємо з дошок 40×150 мм, а вертикальну – з дошок 40×210 мм. Загальна висота балок – 250 мм. Дошки з'єднані за допомогою цвяхів довжиною 100 мм, діаметром 3 мм, які забиті з кроком 500 мм. Одночасно ці ж цвяхи використовують для кріплення OSB плити до дерев'яних балок. Товщина OSB плити прийнята 10 мм. OSB плита виконує роль незнімної опалубки при заповненні внутрішньої частини панелі ніздрюватим бетоном та служить внутрішнім оздобленням для приміщень будівлі. На даному етапі встановлюємо також металеві скоби з металевих стрижнів діаметром 5 мм,



які об'єднують і дерев'яні балки і служать для об'єднання деревоніздрюватобетонної частини панелі із залізобетонною частиною в єдине ціле. Висота скоб 280 мм, довжина – 360 мм. В крайні Г-подібні балки забиваємо також цвяхи довжиною 275 мм, діаметром 5 мм для кращого об'єднання різних частин панелі. Крок цвяхів та скоб наступний – в приопорних частинах панелі 100 мм, в середній частині панелі 150 мм. На другому етапі виконуємо середню частину панелі, заповнивши її ніздрюватим бетоном (пінобетоном або газобетоном) до верху дерев'яних балок. Після набрання міцності ніздрюватим бетоном виконуємо третій етап виготовлення панелі. Приєднуємо просічно-витажний лист до металевих скоб та головок цвяхів, що виступають з поверхні ніздрюватого бетону та проводимо бетонування залізобетонної частини панелі. Товщина залізобетонної частини 60 мм. Як було вже сказано для об'єднання частин панелі використовували цвяхи та скоби, які крім об'єднувальної ролі, виконують також роль поперечного армування.

Дослідний зразок універсальної деревоніздрюватобетонної панелі запроєктовано довжиною 3300 мм, шириною 1050 мм та висотою 320 мм. Розрахунковий прогін панелі – 3200 мм (рис. 2).

Відповідно до завдання дослідження, необхідно дослідити можливість використання універсальної панелі в ролі покрівельної, підлогової та стінової панелі. У випадку влаштування покриття будівлі панель встановлюємо горизонтально чи з невеликим ухилом, так щоб OSB плита розміщувалась знизу перерізу. В такому випадку роль робочого армування виконують дерев'яні балки, залізобетонна частина панелі служить основою для влаштування гідроізоляційного шару покриття, а OSB плита – оздоблення внутрішнього простору будівлі та слугує стелею приміщення.

У випадку використання панелі для влаштування підлоги будівлі, панель встановлюємо вже горизонтально, але OSB плита розміщується зверху перерізу. В даному випадку OSB плита виконує роль підлоги будівлі, а робочим армуванням служить просічно-витажний лист, що вміщений в залізобетонну частину панелі. В даному випадку панелі можна встановлювати на стрічкові або стовпчасті фундаменти, або на вирівняну поверхню.

Для влаштування стінового огороження будівлі, панель встановлюємо вертикально, так щоб OSB плита була повернута всередину будівлі. Дерев'яні балки панелі відіграватимуть в даному випадку роль каркасу стін.

Які переваги таких панелей та в чому полягає універсальність. По-перше: панелі можна використовувати як конструктивні елементи покриття, стін та підлоги будівлі. По-друге: заповнення внутрішньої частини панелі ніздрюватим бетоном дозволяє забезпечити необхідний термічний опір огорожуючих конструкцій будівлі завдяки добрим теплотехнічним характеристикам ніздрюватих бетонів. По-третє: так як ніздрюватий бетон є жаростійким матеріалом, його використання в огорожуючих конструкціях

дозволяє забезпечити необхідну вогнестійкість на випадок пожежі. По-четверте: влаштування зовнішнього залізобетонного шару панелі з армуванням просічно-витяжним листом забезпечує певний захист внутрішнього простору будівлі від можливого проникнення через огорожуючі конструкції будівлі частин вибухових пристроїв чи куль, що є важливим та має місце при спорудженні будівель чи тимчасового швидкозбірного житла в прифронтових районах в умовах проведення військових дій. По-п'яте: використання OSB плит дозволяє з мінімальними затратами виконати досить приємне для сприйняття внутрішнє оздоблення приміщень будівлі. І по-шосте: конструкція панелі дозволяє виконувати отвори в стінах практично в будь-якому місці та будь якого розміру.

Для вивчення можливості використання запропонованих універсальних панелей в ролі пролітної конструкції було проведено математичне моделювання таких конструкцій. Вивчення роботи пролітної деревоніздруватобетонної універсальної панелі проводилось за допомогою комп'ютерного моделювання, використовуючи програму ANSYS (рис. 3, 4).

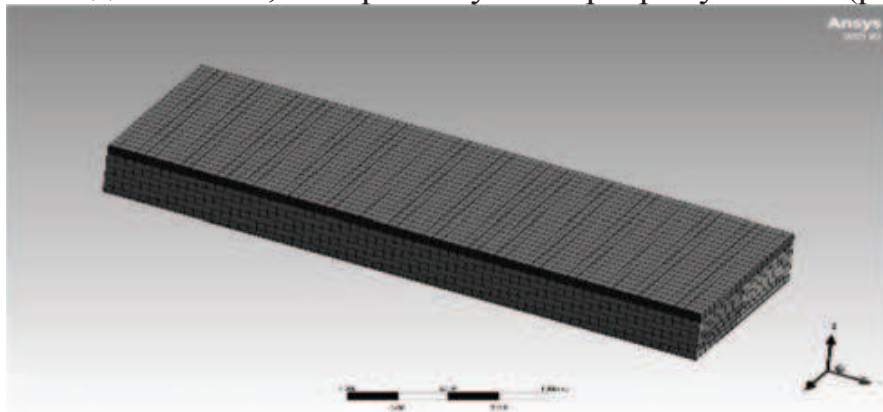


Рис. 3. Загальний вигляд сітки скінченних елементів

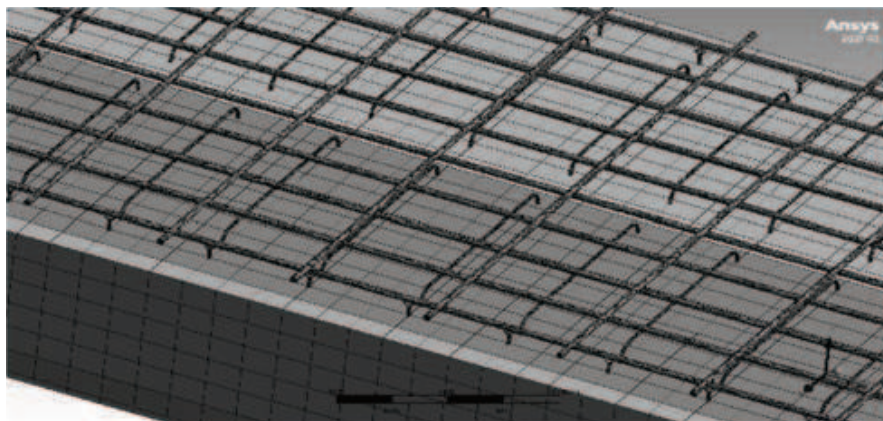


Рис. 4. Фрагмент сітки скінченних елементів арматурного каркасу та металевих елементів

Для ніздруватобетонної частини панелі в числовий експеримент було закладено характеристики звичайного неавтоклавного ніздруватого бетону марки D300. Як дерев'яна частина дослідних балок було використано деревину соснових порід нормальної вологості. Клас важкого бетону для зовнішнього шару панелі прийнятий C25/30. Для спрощення моделювання

просічно-витяжний лист залізобетонної частини панелі замінено на арматурну сітку із стрижнів класу А500 діаметром 10 мм, які встановлювали з кроком 100 мм у поздовжньому напрямі та кроком 200 мм у поперечному напрямі. Цвяхи та скоби в дослідних зразках прийняті з арматурних стрижнів класу А240. Фізико-механічні характеристики ніздрюватого бетону, важкого бетону, деревини та арматурних стрижнів були взяті з відкритих нормативних джерел.

Дослідні зразки, в процесі моделювання, завантажували у двох положеннях. Зразки розміщували горизонтально, але в першому випадку залізобетонна частина панелі знаходилась зверху перерізу, що моделювало покриття будівлі, у другому випадку – знизу перерізу, що моделювало долівку будівлі.

Завантаження дослідних зразків виконувалось рівномірно розподіленим навантаженням для двох положень універсальної деревоніздрюватобетонної панелі. В процесі моделювання було передбачено, що зразки спираються на дві опори: рухому та нерухому. Навантаження, що прикладалось до верхньої грані зразка дорівнювало 0,5, 1,0 та 1,5 кПа. В процесі моделювання визначались загальні деформації та максимальні напруження в деревоніздрюватобетонній універсальній панелі.

**Висновки.** На основі проведених теоретичних досліджень деревоніздрюватобетонної універсальної панелі та аналізу їх роботи під навантаженням можна констатувати:

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

2. Положення плитної конструкції впливає на загальні деформації та напруження в тілі таких елементів і не перевищує критичних значень для заданих умов завантаження.

3. Для отримання більш глибоких та достовірних результатів необхідно провести натурні дослідження запропонованої універсальної деревоніздрюватобетонної панелі.

Узагальнюючи наведені вище висновки можна попередньо констатувати, що запропоновану універсальну деревоніздрюватобетонну панель можна використовувати в ролі і підлогової, і стінової, і покрівельної.

1. План відновлення України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://recovery.gov.ua/>; вільний – (дата звернення: 01.05.2024) – Назва з екрана.

Plan vidnovlennia Ukrainy [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://recovery.gov.ua/>; vilnyi – (data zvernennia: 01.05.2024) – Nazva z ekrana

2. Історія збірних будинків [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://unitfab.com/istoriya-zbirnih-budinkiv>; вільний – (дата звернення: 13.04.2024) – Назва з екрана.



Istoriia zbirnykh budynkiv [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://unitfab.com/istoriya-zbirnih-budinkiv>; vilnyi – (data zvernennia: 13.04.2024) – Nazva z ekrana.

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. Моделювання роботи пролітних деревопінобетонних конструктивних елементів під навантаженням. Зб. наук. праць НУВГП //Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 43 – Рівне: Вид-во НУВГП, 2023. – С. 201 – 208.

Yu. Famuliak, B. Demchyna. Modeliuvannia roboty prolitnykh derevopinobetonnykh konstruktyvnykh elementiv pid navantazhenniam. Zb. nauk. prats NUVHP //Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Vyp. 43 – Rivne: Vyd-vo NUVHP, 2023. – S. 201 – 208.

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

Klymenko F.E. Stalebetonnyye konstruktsyy s vneshnym polosovym armurovaniem – K. : Budivelnik, 1984. – 85 s.

7. 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.