

УДК 624.011:616-082

doi:10.31650/2707-3068-2024-28-192-201

БІОПОЗИТИВНА БУДІВЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Шехоркіна С.Є., д.т.н., професор,
svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4377-3746

Мерилова І.О., к.арх., доцент,
irina.merilova@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2019-0780

Нікіфорова Т.Д., д.т.н., професор,
nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0688-2759

Косячевська С.М., к.т.н., доцент
s.n.k72@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5539-2847

Ковтун К.А., аспірант
kyryllkovtun@icloud.com

Голубєва-Судакіна В.А., студентка
zbkk@pgasa.dp.ua

Український державний університет науки і технологій

Анотація. В статті приводяться результати експериментального проектування біопозитивної будівлі на прикладі проекту-прототипу житлового блоку реабілітаційного комплексу. Розроблено конструктивне рішення з модульних елементів (стінових панелей, панелей перекриття та покриття), наведені концептуальні креслення будівельних конструкцій та основних вузлів сполучення. Для обґрунтування запропонованого конструктивного рішення біопозитивної будівлі проведено дослідження напружено-деформованого стану з використанням програмного комплексу ЛІРА-САПР. Сформульовані теоретичні положення та виконано оцінку ступеня використання несучої здатності конструктивних елементів, проведено аналіз прогинів та переміщень. Результати показали, що всі конструкції задовольняють умови несучої здатності та експлуатаційної придатності.

Ключові слова: біопозитивна будівля, проект-прототип, перехресно-клеєна деревина, клеєна деревина, несуча здатність, переміщення.

Введення. Гібридна війна росії проти України, що тривала з 2014 р., в лютому 2022 р. переросла у відкритий широкомасштабний воєнний напад, який продовжується і дотепер. Наслідками цієї агресії є не лише руйнування житла та інфраструктури, але й поява фізично та психологічно травмованих людей як серед військових, так і серед цивільних. Поряд з традиційними медичними підходами, сьогодні окремої уваги потребує розробка інноваційних рішень в суміжних галузях, які за рахунок синергетичного ефекту дозволять ефективно реабілітувати постраждалих. Будівля як штучне середовище є невід'ємною частиною того, як людина переживає травму, і здатна заспокоїти реакцію організму на сприйняті стресори, модулюючи та нівелюючи навколишні подразники. Розробка проектних рішень за концепцією біопозитивного дизайну передбачає врахування критеріїв біофільної архітектури, використання «зелених» екологічно безпечних матеріалів та ресурсоефективних конструкцій. Це дозволить створити будівлю, що буде функціонувати як «перша лінія» підтримки терапевтичних підходів в системі медико-соціальної реабілітації, фізичного та психологічного відновлення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інноваційним напрямком досліджень та проектних практик є створення будівель як середовища для підтримки психічного здоров'я. Багато робіт спрямовано на розробку методологічних підходів травма-інформованого проектування для пом'якшення фізичних, психологічних та емоційних наслідків травми та пов'язаних з нею патологій, таких як посттравматичний стресовий розлад (ПТСР) [1]. На сьогоднішній день положення проектування за критеріями травма-інформованості,

біофільного дизайну зосереджені на подоланні наслідків пандемії Covid-19, покращення стану онкохворих тощо [2, 3]. Через свою специфіку, окремим напрямком досліджень є створення реабілітаційних будівель для пацієнтів із психологічними та фізичними травмами внаслідок подій воєнного характеру [4, 5, 6]. Наведені дослідження підтверджують перспективність застосування еко-орієнтованих «зелених» матеріалів для несучих та огорожувальних конструкцій, а також в оздобленні та інтер'єрі. Орієнтованість на традиційну місцеву сировину та аутентичні особливості будівництва сприяє створенню відчуття комфорту у пацієнтів, прискорює процес одужання та повернення до нормального життя.

За рахунок розробки та впровадження ресурсоефективних конструктивних рішень зі зменшеним вуглецевим можливе досягнення додаткових переваг, а саме зменшення викидів та енергоспоживання в будівельному секторі. Основними напрямками є мінімізація використання невідновлюваних та шкідливих для природи та людини матеріалів, стратегії повторного використання та рециклінгу [7]. В цьому аспекті деревина та інженерні вироби на її основі розглядається як екологічно чиста альтернатива бетону та сталі [8].

За кордоном вже реалізовано ряд будівель медичних установ для лікування та реабілітації важкохворих дітей, онкохворих та людей з вадами слуху та зору із застосуванням дерев'яних несучих конструкцій [9-11]. Проте кожна з будівель є унікальною за своїм архітектурно-конструктивним рішенням. Для умов нашої країни актуальною є розробка типових рішень, що будуть відповідати критеріям біопозитивності та забезпечувати швидке будівництво реабілітаційних комплексів в різних регіонах. Тому **метою роботи** є розробка та обґрунтування конструктивного рішення біопозитивної будівлі реабілітаційного призначення зі збірних модульних елементів з використанням екологічних матеріалів.

Архітектурно-конструктивне рішення. Для експериментального проектування біопозитивної будівлі було прийнято архітектурне рішення проекту-прототипу житлового блоку реабілітаційного комплексу (рис. 1).



Рис. 1. Ілюстрації проекту-прототипу житлового блоку реабілітаційного комплексу

Особливістю архітектурно-планувального рішення житлових блоків є проста форма у плані та поперечному перерізі. Кожен житловий блок є двоповерховою будівлею на чотири кімнати з усіма зручностями та індивідуальними терасами. Загальні розміри житлового блоку

в плані складають 9 x 9.3 м. Рівень чистої підлоги другого поверху відповідає відм. +4,200. Висота стіни другого поверху до місця обпирання покрівлі (відм. +8.000) становить 3,6 м. Висотна відмітка верху конька покрівлі відповідає значенню +11,420. Конструктивна система проекту-прототипа прийнята стіною з поздовжніми несучими стінами. Спільна робота несучих стін забезпечується шляхом їх об'єднання в єдину систему перекриттям, покриттям та відповідними конструкціями вузлів сполучення всіх елементів між собою.

При розробці конструктивних рішень основними критеріями було прийнято відповідність вимогам несучої здатності та експлуатаційної придатності, застосування матеріалів з мінімальним обсягом шкідливих викидів протягом всього життєвого циклу, придатних до переробки у вторинну сировину або до повторного використання та відповідних підходам біофільного дизайну. Серед будівельних конструкційних матеріалів всім наведеним вимогам відповідає деревина та інженерні вироби на її основі. Тому всі несучі конструкції пропонується виготовляти з клеєної та перехресно-клеєної деревини (CLT). Завдяки регулярним розмірами координаційної сітки осей запропоноване конструктивне рішення складається з окремих модульних елементів – стінових панелей, панелей перекриття та покриття.

Стінові панелі передбачаються висотою на один поверх. Ширина кожної панелі приймається 3.1 м, висота – 3.6 м. Конструкція стінової панелі – тришарова із ефективним утеплювачем (рис. 2): 1 шар – внутрішній, несучий із та перехресно-клеєної деревини (CLT); 2 шар – проміжний, тепло- та звукоізоляція з ефективного екологічно безпечного матеріалу; 3 шар – зовнішній, під оздоблення та для захисту ізолюючого шару від впливів навколишнього середовища.

Покрівля виконується з рівною внутрішньою та зовнішньою поверхнями, тому для її виготовлення доцільно застосувати тришарові панелі із ефективним утеплювачем з сировини органічного походження за аналогією із стіновими панелями.

У внутрішній частині будівлі не передбачено несучих стін або колон. Тому важливою задачею був вибір конструкції перекриття, яка дозволить забезпечити несучу здатність та експлуатаційну придатність. Для ефективного використання конструкційного матеріалу в перекритті при розмірі прольоту в осях 9 м було запропоновано рішення у вигляді ребристих панелей таврового перерізу, які складаються з таких елементів (рис. 3): 1 - плита, що формує площину підлоги і виконується із CLT-деревини; 2 – ребра, що виконані з клеєних дерев'яних балок. З'єднання плити та ребер – адгезійне за допомогою високоміцного неформальдегідного клею на біологічній основі. Довжина панелі перекриття складає 9,0 м, ширина 3.1 м. Крок ребер - 750 мм.

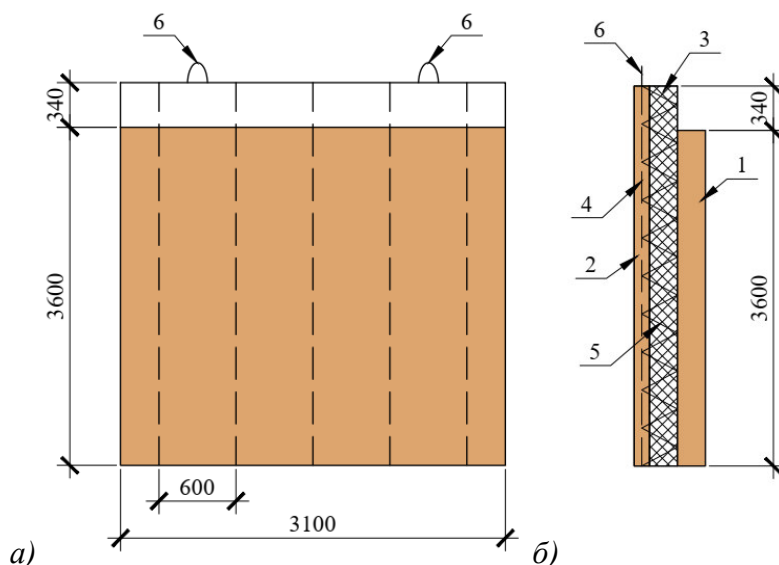


Рис. 2. Конструктивне рішення стінової панелі: а) вид спереду; б) вид зверху; в) вид збоку;

1 – внутрішній шар з перехресно-клеєної деревини; 2 – зовнішній шар із залізобетону;
3 – теплоізоляційне заповнення; 4 – арматурна сітка; 5 – гнучкі зв'язки; 6 – монтажні петлі

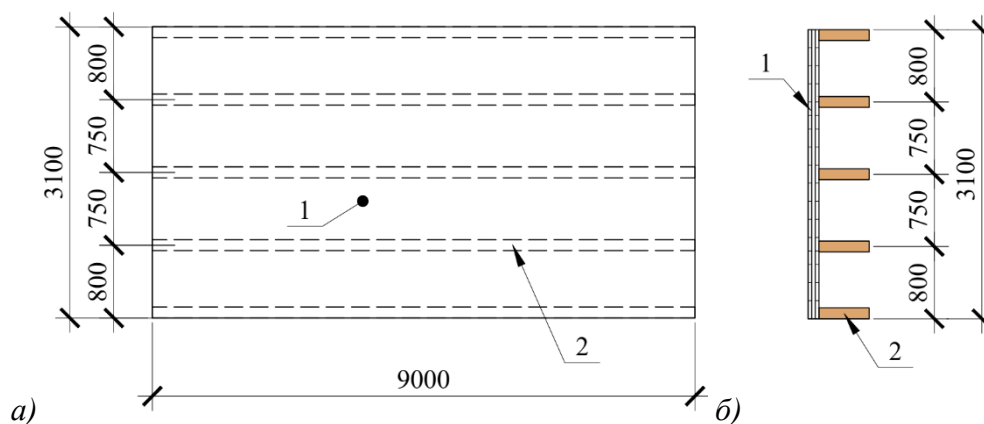


Рис. 3. Конструктивні рішення панелі перекриття: а) вид зверху; б) вид збоку;
1 – плита з перехресно-класної деревини; 2 – балка з класної деревини

На основі архітектурно-планувальних рішень та запропонованих конструктивних рішень були розроблені концептуальні креслення будівельних конструкцій та основних вузлів сполучень (рис. 4, 5).

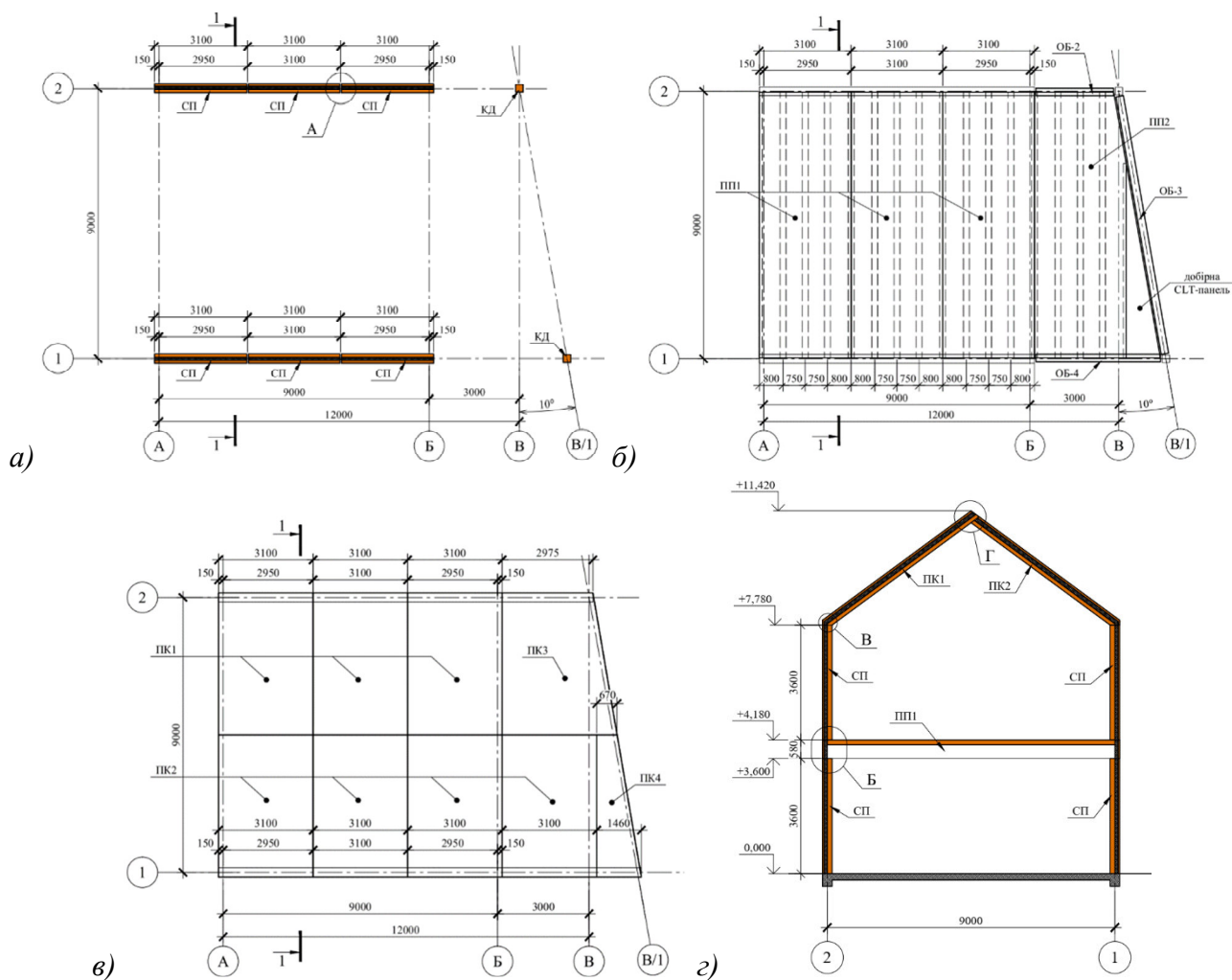


Рис. 4. Концептуальні креслення будівельних конструкцій проекту-прототипа житлового блоку реабілітаційного комплексу

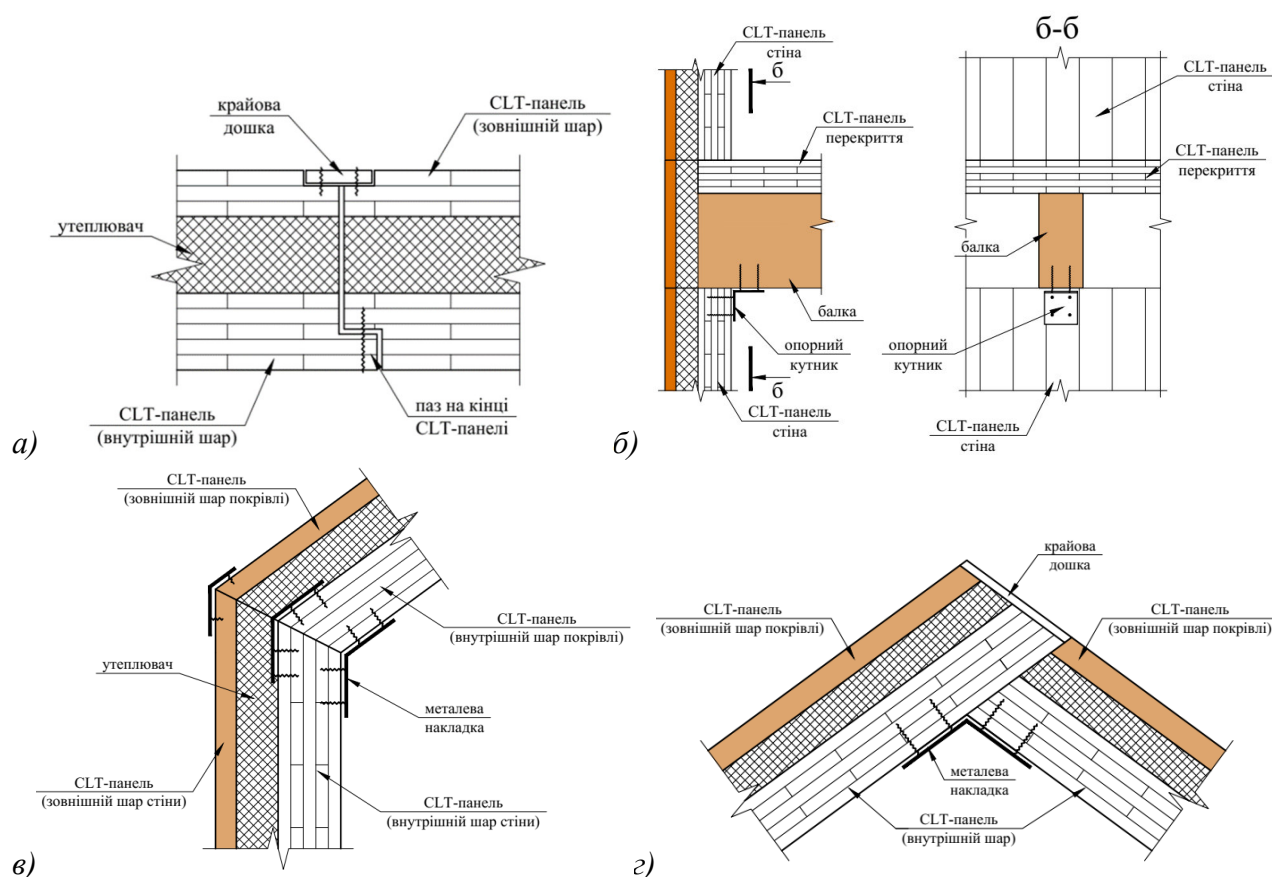


Рис. 5. Вузли сполучення конструктивних елементів: а) з'єднання між стіновими панелями; б) обпирання панелі перекриття на стінову панель; в) обпирання панелі покриття на стінову панель; г) улаштування конька скатної покрівлі із панелей покриття

Теоретичні передумови та результати аналізу напружено-деформованого стану. Для обґрунтування запропонованого конструктивного рішення біопозитивної будівлі було проведено дослідження напружено-деформованого стану несучих конструкцій, що формують конструктивну систему. Характеристики напружено-деформованого стану конструктивних елементів визначалися шляхом статичного розрахунку поперечної рами будівлі в програмному комплексі ЛІРА-САПР. При складанні розрахункової схеми до елементів будівлі були прикладені навантаження, відповідно до вимог чинних норм [12]:

1 – власна вага елементів; 2 – корисне навантаження на перекриття; 3 – снігове навантаження; 4 – вітрове навантаження. Регіон будівництва – Дніпропетровська обл.

Для призначення характеристик жорсткості елементів схеми попередньо прийнято товщину стінових панелей та панелей покриття 100 мм (п'ятишарова панель з пиломатеріалів товщиною 20 мм), розміри ребра панелі перекриття – 120x300 мм ($b \times h$), товщина плити перекриття – 60 мм (тришарова панель з пиломатеріалів товщиною 20 мм).

В якості матеріалу балок панелей перекриття прийнято клеєну деревину класу міцності GL24h, стінових панелей та панелей покриття - перехресно-клеєну деревину з пиломатеріалів класу міцності C24. Характеристичні значення фізико-механічних властивостей приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристичні значення фізико-механічних властивостей деревини [13]

Клас міцності	Позначення та величина фізико-механічних властивостей деревини, Н/мм ²							
	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$E_{0,mean}$	$E_{90,mean}$
C24	24.0	14.0	0.4	21.0	2.5	2.0	11000	370
GL24h	24.0	16.5	0.4	24.0	2.7	2.7	11600	390

Оскільки в класичному клеєному брусі всі шари розташовані в одному напрямку і, відповідно, поздовжні волокна деревини так само орієнтовані в одному напрямку, то для опису матеріалу достатньо застосувати характеристики, що приведені в нормах [13]. Перехресно-клеєна деревина відрізняється тим, що в панелі кожен шар розташовується перпендикулярно попередньому. Це дає можливість отримати більш однорідний за характеристиками матеріал, проте ускладнює його моделювання. Для спрощення створення розрахункових моделей перехресно-клеєної деревини можна скористатися приведеними геометричними та фізико-механічними характеристиками [14]. Приведений модуль пружності вздовж панелі визначається за формулою:

$$E_{0,CLT}=0.096(8.25 E_{0,mean}+2.17 E_{90,mean}). \quad (1)$$

Панель перекриття має композитний поперечний переріз таврової форми, ефективна згинальна жорсткість якого визначається за формулою:

$$EI_{eff} = EI_1 + EI_2, \quad (2)$$

де EI_1 , EI_2 – відповідно, згинальна жорсткість 1-го елемента (плита) та 2-го елемента (ребро).

Згинальна жорсткість окремих елементів панелі перекриття:

$$EI_i = E_i \frac{b_{ef,i} \cdot t_i^3}{12} + E_i \cdot A_i \cdot z_i^2, \quad (3)$$

де b_i – ширина i -го елемента; t_i – товщина i -го елемента; E_i – модуль пружності i -го елемента; A_i – площа i -го елемента; z_i – відстань від центру ваги відповідного елемента до центру ваги перерізу.

Для забезпечення міцності елементів панелі перекриття згідно вимог [15] повинні виконуватися наступні умови:

$$\sigma_{f,c,d,max} \leq f_{m,d,i}, \quad (4)$$

$$\sigma_{f,t,d,max} \leq f_{m,d,i}, \quad (5)$$

$$\sigma_{f,c,d,i} \leq f_{c,0,d,i}, \quad (6)$$

$$\sigma_{f,t,d,i} \leq f_{t,0,d,i}, \quad (7)$$

$$\tau_{d,i} \leq f_{v,0,d,i}, \quad (8)$$

де $\sigma_{f,c,max,d}$, $\sigma_{f,t,max,d}$ – розрахункове напруження стиску та розтягу крайнього волокна, відповідно; $\sigma_{f,c,d,i}$, $\sigma_{f,t,d,i}$ – середнє розрахункове напруження стиску та розтягу в i -му елементі, відповідно; $\tau_{d,i}$ – розрахункове напруження сколювання в i -му елементі; $f_{m,d,i}$, $f_{c,0,d,i}$, $f_{t,0,d,i}$, $f_{v,0,d,i}$ – розрахункова міцність при згині, стиску та розтягу вздовж волокон, сколюванні, відповідно.

Розрахункові напруження в перерізі панелі перекриття можна визначити за формулами:

$$\sigma_i(z) = \frac{E_i \cdot z}{EI_{eff}} \cdot M_{Ed}, \quad (9)$$

$$\tau_i(z) = \frac{E_i \cdot S_y(z)}{EI_{eff} \cdot b_{eff}} \cdot V_{Ed}, \quad (10)$$

де $\sigma_i(z)$ – нормальні напруження в точці з координатою z по висоті перерізу; E_i – модуль пружності матеріалу в точці з координатою z по висоті перерізу; M_{Ed} , V_{Ed} – розрахунковий згинальний момент та поперечна сила, відповідно; z – координата по висоті перерізу; EI_{eff} – ефективна згинальна жорсткість, b_{eff} – ефективна ширина перерізу, що дорівнює кроку ребер; $S_y(z)$ – статичний момент перерізу в точці з координатою z по висоті перерізу.

Прогин панелі перекриття визначається з урахуванням деформацій повзучості:

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EI_{eff}} \cdot k_{def}, \quad (11)$$

де q – рівномірно розподілене навантаження на панель перекриття; L – розрахунковий проліт; k_{def} – коефіцієнт деформацій повзучості, що визначається за формулою:

$$k_{def} = 2\sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}, \quad (12)$$

$k_{def,1}$, $k_{def,2}$ – коефіцієнти деформацій повзучості перехресно-клеєної та клеєної деревини, відповідно.

Умова міцності для стінових панелей та панелей покриття з несучим шаром з перехресно-клеєної деревини згідно [15]:

$$\frac{\sigma_{c,x,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,xlay,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,xlay,d}} \leq 1, \quad (13)$$

де $\sigma_{c,x,d}$, $\sigma_{m,y,d}$ – розрахункові напруження стиску та згину, відповідно; $f_{c,0,xlay,d}$, $f_{m,xlay,d}$ – розрахункова міцність при стику вздовж волокон та при згині окремого шару, відповідно; $k_{c,y}$ – коефіцієнт поздовжнього згину.

Розрахункові напруження:

$$\sigma_{c,x,d} = N_d / A_{x,net}, \quad (14)$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_d / W_{x,net}, \quad (15)$$

де $A_{x,net}$, $W_{x,net}$ – площа та момент опору перерізу «нетто», що для п'ятишарової панелі з перехресно-клеєної деревини визначаються за формулами:

$$A_{x,net} = b_x \cdot 3 \cdot t_1, \quad (16)$$

$$W_{x,net} = \frac{2}{h_p} \cdot b_x \cdot \left(3 \cdot \frac{t_1^3}{12} + 3 \cdot t_1 \cdot a_1^2 \right). \quad (17)$$

Коефіцієнт поздовжнього згину згідно [15]:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}}, \quad (18)$$

де k_y – коефіцієнт стійкості; $\lambda_{rel,y}$ – відносна гнучкість:

$$k_y = 0.5 \left(1 + 0.1(\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right), \quad (19)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,xlay,k}}{E_{0,x,05}}}, \quad (20)$$

$E_{0,x,05}$ – 5-го модуль пружності вздовж волокон деревини окремого шару:

$$E_{0,x,05} = E_{0,x,mean} \cdot \left(1 - \frac{0.328}{\sqrt{(2b_x/0.15) - 1}} \right), \quad (21)$$

b_x – розрахункова ширина панелі.

В результаті статичного розрахунку були отримані дані про прогини та переміщення конструктивних елементів, а також розрахункові зусилля, що виникають у них при найбільш не вигідних комбінаціях прикладених навантажень. Ступінь використання несучої здатності панелі перекриття за нормальними напруженнями від дії згинального моменту становила 45%, за напруженнями сколювання – 18%. Для стінових панелей та панелей покриття за одночасної дії напружень стиску та згину ступінь використання несучої здатності складає 58%. Розрахунковий прогин перекриття з урахуванням деформацій повзучості становить 25,8 мм, що не перевищує гранично допустиму величину 1/250 від розрахункового прольоту $L=9.0$ м. Максимальні горизонтальні переміщення у верхній точці покрівлі складають 44 мм і не перевищують 1/250 від загальної висоти будівлі $H=11.4$ м.

Висновки. Застосування деревини як відновлюваного матеріалу природного походження з мінімальним обсягом шкідливих викидів протягом всього життєвого циклу та придатним до переробки у вторинну сировину або до повторного використання, дозволило

розробити конструктивні рішення для будівель реабілітаційного призначення, що відповідають вимогам біофільного та біопозитивного проектування.

Запропоноване конструктивне рішення біопозитивної будівлі-прототипа, що складається з модульних збірних елементів:

- тришарових панелей для стін та покриття, що складаються з двох шарів з перехресно-клеєної деревини, з'єднаних між собою гнучкими зв'язками, та влаштованої між шарами тепло- та звукоізоляція з ефективного екологічно безпечного матеріалу;

- ребристих панелей перекриття, що складаються з балок з клеєної деревини та плити з перехресно-клеєної деревини, з'єднаних між собою за допомогою високоміцного неформальдегідного клею на біологічній основі.

Виконане дослідження напружено-деформованого стану несучих конструкцій, що формують конструктивну систему будівлі показало відповідність поставленим критеріям щодо несучої здатності та експлуатаційної придатності.

За рахунок модульності розроблені рішення можуть бути відтворені в різних умовах, що дозволить в стислі терміни створити розгалужену систему реабілітаційних центрів для відновлення фізичного та психологічного здоров'я ветеранів та цивільних, постраждалих внаслідок війни.

Подальшим напрямком роботи є дослідження характеристик енергоефективності та звукоізоляційних властивостей запропонованих конструкцій та вузлів.

Література

1. C. Owen and J. Crane, "Trauma-informed design of supported housing: A scoping review through the lens of Neuroscience," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 21, p. 14279, Nov. 2022. doi:10.3390/ijerph192114279.
2. A. Brambilla, Matilde Del Pio, Roberto Ravegnani Morosini, and S. Capolongo, "Green space in hospital built environment. A literature review about therapeutic gardens in acute care healthcare settings before Covid-19.," *PubMed*, vol. 94, no. S3, pp. e2023137–e2023137, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.23750/abm.v94is3.14286>.
3. Bekir Huseyin Tekin and Rosa Urbano Gutiérrez, "Human-centred health-care environments: a new framework for biophilic design," *Frontiers in medical technology*, vol. 5, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/fmedt.2023.1219897>.
4. J. Nuamah, C. Rodriguez-Paras, and F. Sasangohar, "Veteran-Centered Investigation of Architectural and Space Design Considerations for Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD)," *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol. 14, no. 1, p. 193758672092555, May 2020, doi: <https://doi.org/10.1177/1937586720925554>.
5. J. Hinrichs, "Biophilic Veterans Rehab Center: A Place for Healing," North Dakota State University, 2017. Available: <http://hdl.handle.net/10365/26001>.
6. *Healing Environments Design Guidelines*. U.S. Department VA of Veterans Affairs, 2016, p. 216. Available: https://www.wbdg.org/FFC/VA/VADEMAN/healing_envir.pdf.
7. D. Fang, N. Brown, C. De Wolf, and C. Mueller, "Reducing embodied carbon in structural systems: A review of early-stage design strategies," *Journal of Building Engineering*, vol. 76, p. 107054, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107054>.
8. J. Abed, S. Rayburg, J. Rodwell, and M. Neave, "A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures," *Sustainability*, vol. 14, no. 9, p. 5570, May 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su14095570>.
9. "Maggie's Yorkshire," *Maggie's Centres*. <https://www.maggies.org/our-centres/maggies-yorkshire/> (accessed May 10, 2024).
10. "Tanne, Swiss Foundation for Persons with Deafblindness," *Tanne, Swiss Foundation for Persons with Deafblindness*. <https://tanne.ch/en/> (accessed May 10, 2024).
11. "Ronald McDonald House BC & Yukon - Keeping Families Together," *Ronald*

McDonald House BC. <https://rmhbc.ca/> (accessed May 10, 2024).

12. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2006. 75 с.

13. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення [чинні від 2018-01-02]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 111 с.

14. Михайловський Д. В. Врахування дійсного напружено-деформованого стану у вузлах та елементах конструкцій з клеєної деревини : дис. ... д-а техн. наук : 05.23.01. Київ, 2020. 378 с.

15. ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT) [Чинний від 2013-01-07]. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 147 с.

References

- [1] C. Owen and J. Crane, "Trauma-informed design of supported housing: A scoping review through the lens of Neuroscience," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 21, p. 14279, Nov. 2022. doi:10.3390/ijerph192114279.
- [2] A. Brambilla, Matilde Del Pio, Roberto Ravegnani Morosini, and S. Capolongo, "Green space in hospital built environment. A literature review about therapeutic gardens in acute care healthcare settings before Covid-19.," *PubMed*, vol. 94, no. S3, pp. e2023137–e2023137, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.23750/abm.v94is3.14286>.
- [3] Bekir Huseyin Tekin and Rosa Urbano Gutiérrez, "Human-centred health-care environments: a new framework for biophilic design," *Frontiers in medical technology*, vol. 5, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/fmedt.2023.1219897>.
- [4] J. Nuamah, C. Rodriguez-Paras, and F. Sasangohar, "Veteran-Centered Investigation of Architectural and Space Design Considerations for Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD)," *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol. 14, no. 1, p. 193758672092555, May 2020, doi: <https://doi.org/10.1177/1937586720925554>.
- [5] J. Hinrichs, "Biophilic Veterans Rehab Center: A Place for Healing," North Dakota State University, 2017. Available: <http://hdl.handle.net/10365/26001>.
- [6] *Healing Environments Design Guidelines*. U.S. Department VA of Veterans Affairs, 2016, p. 216. Available: https://www.wbdg.org/FFC/VA/VADEMAN/healing_envir.pdf.
- [7] D. Fang, N. Brown, C. De Wolf, and C. Mueller, "Reducing embodied carbon in structural systems: A review of early-stage design strategies," *Journal of Building Engineering*, vol. 76, p. 107054, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.107054>.
- [8] J. Abed, S. Rayburg, J. Rodwell, and M. Neave, "A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures," *Sustainability*, vol. 14, no. 9, p. 5570, May 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su14095570>.
- [9] "Maggie's Yorkshire," *Maggie's Centres*. <https://www.maggies.org/our-centres/maggies-yorkshire/> (accessed May 10, 2024).
- [10] "Tanne, Swiss Foundation for Persons with Deafblindness," *Tanne, Swiss Foundation for Persons with Deafblindness*. <https://tanne.ch/en/> (accessed May 10, 2024).
- [11] "Ronald McDonald House BC & Yukon - Keeping Families Together," *Ronald McDonald House BC*. <https://rmhbc.ca/> (accessed May 10, 2024).
- [12] ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [valid from 2007-01-01]. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2006. 75 p.
- [13] ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення [valid from 2018-01-02]. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2017. 111 p.
- [14] Mykhailovskyi D. V. Vrachuvannya diisnoho napruzhenno-deformovanoho stanu u vuzlakh ta

elementakh konstruktsii z kleienoi derevyny : dys. ... d-a tekhn. nauk : 05.23.01. Kyiv, 2020. 378 p.

- [15] DSTU-N B EN 1995-1-1:2010. Yevrokod 5. Proektuvannia derevianykh konstruktsii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud (EN 1995-1-1:2004, IDT) [valid from 2013-01-07]. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2013. 147 p.

INVESTIGATION OF THE CREEP EFFECT ON THE STRESS-STRAIN STATE ON TIMBER-REINFORCED CONCRETE MULTISTOREY BUILDINGS

Shekhorkina S.Y., Dr. Sc. (Tech.), Professor,
svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4377-3746

Merylova I.O., PhD (Arch.), Associate Professor,
irina.merilova@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2019-0780

Nikiforova T.D., Dr. Sc. (Tech.), Professor,
nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0688-2759

Kosiachevska S.M., PhD (Engin.), Associate Professor,
s.n.k72@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5539-2847

Kovtun K.A., post-graduate student,
kyryllkovtun@icloud.com

Holubieva-Sudakina V.A., student
zbkk@pgasa.dp.ua

Ukrainian State University of Science and Technologies

Abstract. In the conditions of military aggression against Ukraine, a special attention should be paid to the development of innovative solutions in various fields, which will allow effective rehabilitation of veterans and civilians. The building as an artificial environment is an integral part of how a person experiences trauma and has the potential to calm the body's response to perceived stressors by modulating and leveling the surrounding triggers. The development of project based on the concept of biopositive design involves taking into account the criteria of biophilic design, the use of "green" environmentally safe materials and resource-efficient structural solutions.

The article presents the results of the experimental design of a biopositive rehabilitation building using the example of a prototype project of a residential block. The proposed structural solution of a biopositive building-prototype consisting of modular prefabricated elements: three-layer panels for walls and roof, consisting of two layers of cross-glued wood, connected with each other by flexible ties, and heat and sound insulation arranged between the layers made of an effective environmentally friendly material; ribbed floor panels consisting of glulam beams and cross-glued wood slabs, joined together with high-strength bio-based non-formaldehyde glue.

To substantiate the proposed structural solution of the biopositive building, a study of the stress-strain state was carried out using the LIRA-CAD software complex. Theoretical provisions were formulated and an assessment of the degree of utilization of the load-bearing capacity of structural elements made of cross-laminated and glued laminated timber as well as an analysis of deflections and displacements was carried out. The degree of utilization of the load-bearing capacity of the floor panel in terms of normal stresses from the action of the bending moment is 45%, in terms of shear stresses is 18%. For wall and roof panels under the simultaneous action of compressive and bending stresses, the degree of utilization of the load-bearing capacity is 58%. The calculated floor deflection considering creep deformations and the maximum horizontal displacements from the wind load do not exceed the maximum allowable values.

Keywords: biopositive building, prototype project, cross-laminated timber, glued laminated timber, bearing capacity, displacement.