

Олійник Н.В.

кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельного виробництва,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса
ORCID ID: 0000-0003-4492-7003

Духіна В.С.

здобувач вищої освіти архітектурно-художнього інституту,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса
ORCID ID: 0000-0002-5560-2434

ТЕХНОЛОГІЯ ВЛАШТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ХЕМПКРІТУ

Анотація. Сучасні тенденції у будівництві спрямовані на створення енергоефективних, екологічних і економічно доцільних будівельних рішень. Одним із перспективних матеріалів, що відповідають вимогам сталого розвитку, є хемпкріт (hempcrete) – легкий біокompat, виготовлений на основі волокон промислової коноплі та вапняного в'язучого, який відзначається високими теплоізоляційними властивостями, паропроникністю, легкістю та здатністю до поглинання вуглецю. Огороджувальні конструкції з хемпкріту характеризуються високими теплоізоляційними, звукоізоляційними та екологічними властивостями, що робить їх перспективним вибором для енергоефективного та сталого будівництва. У статті представлено комплексний аналіз технології влаштування огороджувальних конструкцій з хемпкріту, підкреслюється його потенціал заміщення традиційних багатошарових стінових систем завдяки інтеграції функцій теплоізоляції, вологостійкості та вогнестійкості в одношаровій структурі. В роботі розглядаються основні етапи влаштування конструкцій з хемпкріту, а також специфічні вимоги до підготовки будівельних майданчиків і особливості експлуатації матеріалу в різних кліматичних умовах. Досліджено конструктивні особливості та функціональні властивості хемпкріту, які дозволяють мінімізувати необхідність у додаткових елементах, таких як пароізоляція, пінопластові утеплювачі, повітряні прошарки та зовнішні облицювання, що спрощує структуру будівельної оболонки та знижує її вуглецевий слід. Окрему увагу приділено методам влаштування стін з хемпкріту для забезпечення їх довговічності та стійкості до вологи. Проаналізовано також здатність матеріалу забезпечувати високу вогнестійкість, зберігаючи стабільність під час тривалого впливу високих температур, і його вагомий внесок у досягнення цілей сталого розвитку. Актуальність дослідження обумовлена зростаючим попитом на екологічні матеріали та необхідністю зменшення енергоспоживання будівель. Застосування хемпкріту у будівництві не лише знижує екологічний вплив будівельних процесів, але й відповідає завданням ініціативи Architecture 2030, сприяючи скороченню викидів вуглецю та реалізації довгострокових екологічних цілей.

Ключові слова: хемпкріт, огороджувальні конструкції, енергоефективність, екологічні матеріали, сталий розвиток, технологія будівництва.

Постановка проблеми. Будівництво з використанням інноваційних та екологічно чистих матеріалів набувають все більшого значення в умовах глобальних викликів, пов'язаних із енергоефективністю, екологічною безпекою та сталим розвитком. Одним із таких матеріалів є хемпкріт (hempcrete) або конопляний бетон – біокompat на основі промислової коноплі та вапна, що вирізняється своїми високими теплоізоляційними властивостями, паропроникністю, легкістю і здатністю аку-

мулювати вуглець. Використання хемпкріту у будівництві, зокрема для огороджувальних конструкцій, відкриває нові можливості для створення енергоефективних, екологічних і довговічних споруд.

Технологія влаштування огороджувальних конструкцій з хемпкріту потребує детального вивчення і вдосконалення, адже матеріал має свої особливості як у проектуванні, так і під час безпосереднього виконання робіт на будівельному майданчику. Враховуючи природні

властивості хемпкріту, виникає необхідність адаптації традиційних будівельних технологій та підходів для забезпечення належної міцності, довговічності та ефективності огорожувальних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Технологія влаштування огорожувальних конструкцій із хемпкріту або конопляного бетону є предметом досліджень багатьох вітчизняних та закордонних науковців. Загальні положення щодо використання хемпкріту у будівництві сформульовані в численних дослідженнях і наукових публікаціях, зокрема у працях Бевана Р., Вулей Т. [1], Лоуренса М., Волкера П. [2], Волкера Р., Павія С. [3], Буребраб М.А., Дюран Ф. та Тейлор С.Є. [4] досліджують важливі характеристики, необхідні для ефективного застосування хемпкріту під час влаштування огорожувальних конструкцій, наголошуючи на здатності матеріалу витримувати ударні та сейсмічні навантаження. Перспективи застосування конопляного бетону в масовому будівництві, загальні переваги та недоліки матеріалу розкриваються в роботах закордонних та вітчизняних дослідників: Равіндра Б., Кіран П. та Раджу К. [5], Горковлюка І.І., Ковальського В.П., Примакової О.А. Технологія влаштування огорожувальних конструкцій із хемпкріту відображена у дослідженнях Магвуда К. [6], Стенвікса В., Спероу А. [7], Алліна С. [8].

Метою статті є дослідження особливостей технології влаштування огорожувальних конструкцій з хемпкріту, аналіз переваг та недоліків матеріалу, а також формування рекомендацій щодо його застосування у різних типах будівель. Особливу увагу приділено питанням термофізичних властивостей хемпкріту, конструктивної міцності огорожувальних конструкцій та економічної доцільності використання цього матеріалу у сучасному будівництві. Вирішуються завдання: дослідити специфіку підготовки матеріалу, формування стін та інших огорожувальних конструкцій з хемпкріту, а також оптимальних умов для досягнення високої якості будівництва; провести аналіз конструктивної міцності та довговічності огорожувальних конструкцій, стійкості хемпкріту до механічних навантажень, впливу зовнішніх факторів та його здатності зберігати функціональні властивості протягом експлуатації; вивчити можливості масового застосування хемпкріту у сучасному будівництві.

Результати досліджень. Ізоляційні матеріали, що використовуються для житлових і комерційних будівель, залишаються незмінними протягом десятиліть, водночас більшість із них мають серйозні екологічні та/або шкідливі для здоров'я впливи. У контексті зростаючих вимог щодо енергоефективності будівель, обсяги ізоляційних матеріалів, що використовуються, значно зростатимуть. Логічним рішенням є використання матеріалів, які є поновлюваними, екологічно безпечними і походять з відходів або побічних продуктів інших процесів. Хемпкріт відповідає цим вимогам і має багато переваг у порівнянні з традиційними ізоляційними матеріалами [6].

Хемпкріт (конопляний бетон, костробетон) є сучасним теплоізоляційним матеріалом з екологічними перевагами, що робить його перспективним вибором для будівництва. Однак, попри популярність і значне висвітлення цього матеріалу, багато тверджень щодо його продуктивності та впливу на довкілля залишаються перебільшеними. Насправді хемпкріт є ефективним ізоляційним матеріалом, але не є універсальним рішенням усіх екологічних проблем.

Хемпкріт – це унікальний будівельний матеріал, що складається з біоволокна (конопляної костриці) та мінерального в'язучого (вапна). Ці інгредієнти змішуються з водою та зволожена в'язуча речовина покриває всі частинки конопляної костриці. Між вапняним в'язучим і водою відбувається хімічна реакція, в результаті якої в'язуче схоплюється і склеює частинки конопляної стружки між собою. Коли в'язуче схопилося і затверділо, а вся додаткова вода з суміші висохла, в результаті утворюється конопляний бетон. На відміну від багатьох будівельних композитів, хемпкріт характеризується високим відсотком порожнин, що підвищує його теплоізоляційні та вологостійкі властивості [1]. В'язуча речовина не заповнює всі порожнечі, а лише покриває конопляні частинки, створюючи легку, але міцну структуру. Завдяки цьому матеріал можна ефективно застосовувати для огорожувальних конструкцій дахів, стін та перекриттів [9].

Хемпкріт є перспективним рішенням для енергоефективного будівництва, однак його ефективність залежить від правильного вибору параметрів складників суміші та специфіки укладання. Дослідження матеріалу ускладнюється тим, що всі три компоненти

біокомпозиту можуть мати різні типи та характеристики, а також додаватися у змінних пропорціях [10].

Конопляна костриця – це дерев'яна серцевина стебла конопель, яка зазвичай залишається як побічний продукт після вилучення волокна. Характеристики цієї складової можуть змінюватися за розміром та фракційним складом костриці, за обсягом і довжиною волокон (рис. 1).

Вапняне в'язуче є важливим будівельним матеріалом, що використовується протягом віків, зокрема в рецептурах для виготовлення розчинів і штукатурок. Існують різні види та класи вапна, а також численні добавки, що можуть бути включені до складу в'язучого [2]. Ці змінні впливають на час схоплювання, міцність та довговічність хемпкритої суміші. Виробники пропонують спеціальні вапняні в'язучі для конопляного бетону, проте також існують рецептури для приготування в'язучого з окремих інгредієнтів [4].

Обсяг води, доданої до хемпкритої суміші, значно впливає на кінцевий результат, навіть якщо інші змінні, такі як костриця та вапно, визначені. Конопляна костриця є високопористим матеріалом, здатним поглинати значно більше води, ніж необхідно для створення якісної суміші [2]. Надмірна кількість води може збільшити щільність матеріалу, сповільнити процес схоплювання в'язучого та суттєво подовжити час висихання.

Укладання та ущільнення. Ключовим етапом технології є укладання суміші в конструкцію. Для застосування в стінах і підлогах матеріал вимагає певного рівня механічного ущільнення для забезпечення належного зчеплення та міцності. Проте ступінь ущільнення може значно вплинути на характеристики матеріалу, навіть при незмінних пропорціях

суміші [3]. Відмінності в щільності можуть істотно впливати на теплові властивості матеріалу, що підкреслює важливість контролю цього параметра.

Обмеження в оцінці хемпкрити. Незважаючи на зусилля щодо стандартизації інгредієнтів і пропорцій для успішного використання хемпкрити, змінність формуляцій і компонентів ускладнює визначення єдиних параметрів його продуктивності. Це відрізняє хемпкрит від промислових ізоляційних матеріалів, які виготовляються у контрольованих умовах з мінімальними відхиленнями. У даному дослідженні значна увага приділяється аналізу даних тестувань з урахуванням змінних, а також визначенню сфер, де дані є неповними або недостатніми [6-7].

Хемпкрит має численні способи використання як у новому будівництві, так і в проектах реконструкції. Залежно від специфічних вимог, які потрібно виконати, хемпкрит може бути змішаний у різних пропорціях та застосований в різній товщині для досягнення бажаних показників теплоізоляції. В будівництві суміш коноплі та вапна (іноді звану хемпкрит) можна використовувати в таких місцях: стіни, горища, міжповерхові перекриття та для штукатурних покриттів. Спосіб застосування хемпкрити визначає пропорції змішування конопляних стружок, вапняного в'язучого та води [7].

Наприклад, для підлогових покриттів потрібна щільніша суміш, в той час як для зовнішніх стін вигідніше використовувати менш щільну суміш з великою кількістю повітряних порожнин. Використовуючи ті самі інгредієнти, що й у конопляному бетоні, можна також виготовляти вапняну штукатурку на основі коноплі, у якій пропорції змінюються з високим вмістом конопляних стружок та



Рис. 1. Сразки конопляної костриці. Костриця з великою на невеликою кількістю волокон

незначною кількістю вапняного зв'язуючого (як для хемпкріту) до високого вмісту вапна та мінімальної кількості коноплі для штукатурки [8]. Вода, крім того, є важливим чинником не лише для створення ідеальної суміші, а й для забезпечення своєчасного висихання цієї суміші.

Хемпкріт з густиною в межах від 250 до 350 кг/м³ ефективно використовується для утеплення зовнішніх стін у більшості малоповерхових (до трьох поверхів) проектах та в будівлях середньої поверховості (до шести поверхів) [7]. Для реалізації стінових конструкцій необхідно передбачити структурні елементи, найчастіше у вигляді дерев'яного каркасу, що відповідає встановленим нормам. Хемпкріт є заповнювачем у стіновій конструкції або формується на зовнішній чи внутрішній поверхні структурного каркаса [9]. Фахівці використовують результати різноманітних досліджень на міцність, аби оцінити, наскільки структурний каркас здатний підтримувати стіну з хемпкріту як ізоляційний елемент. За необхідності розміри стійок можуть бути оптимізовані, а відстань між ними може бути збільшена з метою зменшення витрат на деревину.

Хемпкріт з густиною від 200 до 250 кг/м³ може бути застосований для утеплення дахів більшості будівель. Цей матеріал може використовуватися як засипна ізоляція для плоских стель або бути утрамбованим у конструкції аркових дахів. З огляду на те, що хемпкріт має вищу щільність, ніж традиційні матеріали для покрівельної теплоізоляції, необхідно проводити розрахунки враховуючи додаткові навантаження [7]. В якості покрівельної теплоізоляції, хемпкріт має значну перевагу у запобіганні появі шкідників. Конопляний бетон є більш стійким до вологи в порівнянні з традиційними теплоізоляційними матеріалами. Оскільки більшість будівель стикаються з проблемою протікання дахів упродовж свого експлуатаційного терміну, вологостійкий теплоізоляційний матеріал може забезпечити необхідну стійкість до негативних факторів [9].

Хемпкріт з густиною від 375 до 500 кг/м³ може бути використаний для влаштування перекриття, хоча це застосування є менш поширеним. Вантажопідйомність хемпкріту коливається від 1.1 до 2.0 МПа, що є достатнім для підтримки багатьох типів підлогових плит [7]. Хемпкріт, використаний для влаштування підлоги першого поверху, має бути розміще-

ний на стабільній, добре дренованій основі, а між ґрунтом і теплоізоляцією має бути встановлена пароізоляція.

Хоча застосування хемпкріту для ізоляції вікон не є розповсюдженим, дослідник Кріс Маквуд [6] має численні успішні приклади, які свідчать про потенційну цінність застосування матеріалу у цьому напрямку. Суміш хемпкріту, що містить певний відсоток волокон коноплі, може використовуватися для заповнення простору між віконними блоками та каркасом, замінюючи традиційні утеплюючі матеріали, такі як вата або розширена піна. Вікна можна обрамляти звичним способом, або ж хемпкріт може бути сформований для створення зовнішнього і/або внутрішнього обрамлення вікон. Це відкриває унікальні естетичні можливості та забезпечує герметичне ущільнення навколо вікон без використання нафтопродуктів, що підвищує їх енергоефективність.

У будівництві існує три основні типи застосування хемпкріту: змішування на будівельному майданчику, використання попередньо сформованих блоків хемпкріту і встановлення виготовлених панелей з хемпкріту. Перевага зазвичай віддається використанню блоків з конопляного бетону, оскільки вони забезпечують гнучкість у будівництві завдяки можливості створення модульних одиниць. Хемпкріт як теплоізоляційний матеріал є універсальним продуктом, що може бути використаний як в процесі реконструкції існуючих будівель, так і в якості альтернативного теплоізоляційного рішення у типовій будівельній практиці [10–12].

Змішування хемпкріту на будівельному майданчику є трудомістким процесом, що вимагає уважності, особливо для новачків (рис. 2). Виробники пропонують пакети з хемпом (конопляною кострицею) і вапном вагою 20-25 кг, які можна використовувати окремо або разом. Процес змішування, зазвичай виконується за допомогою бетонозмішувачів, забезпечує досягнення однорідної суміші за допомогою простих інструментів. Правильні пропорції хемпу, вапна та води є критичними і становлять 1:1.5:1.5 або 1:2:2 [9].

Щільність суміші та сила ущільнення безпосередньо впливають на теплоізоляційні властивості бетону, тому рекомендована товщина стін варіюється від 23 до 30 см. Важливо зазначити, що суміші можуть відрізнятися залежно від призначення конструкції, що підвищує складність застосування.



Рис. 2. Використання конопляного бетону змішуванням на будівельному майданчику для влаштування стінових конструкцій

Використання опалубки є ще одним важливим аспектом, оскільки для підтримки хемпкріту під час затвердіння потрібні додаткові конструкції. Застосування зсувних опалубок із фанери дозволяє швидко звести конструкції. Попередньо виготовлені блоки та панелі з хемпкріту значно спрощують будівництво, усуваючи потребу у виготовленні опалубки на місці, що знижує навантаження на будівельні компанії [13].

Попередньо виготовлені блоки з хемпкріту виробляються шляхом змішування коноплі, вапна та води, які відливаються в бажаних розмірах. Блоки конопляного бетону укладаються і фіксуються подібно до бетонних, з використанням вапняного розчину. Кожен ряд блоків зміщений, як у традиційних кам'яних системах. Блоки з хемпкріту легкі, їх зручно транспортувати і легко підганяти під специфічні умови [9].

Блоки з хемпкріту не можуть укладатися без належних структурних елементів. У порівнянні з попередньо виготовленими панелями або заливними конструкціями, блоки можуть впливати на загальну стійкість та надійність конструкції. Товстий шар покриття розчину з хемпкріту на зовнішній поверхні стіни стабілізує блоки, створюючи однорідну і міцну поверхню. Важливо враховувати, що хемпкріт є органічним матеріалом, який при контакті з іншими органічними елементами може зазнавати хімічних змін, що впливають на його властивості [13–14]. В багатьох випадках в підземному будівництві споруд з конопля-

ного бетону використовуються залізобетонні конструкції, оскільки бетонні фундаментні стіни забезпечують необхідну структурну цілісність і захист від підвищеної вологості.

Влаштування попередньо виготовлених стінових систем є найшвидшим способом монтажу огорожувальних конструкцій серед усіх зазначених варіантів. Основними перевагами попередньо виготовлених панелей є швидкість монтажу, мінімальні трудозатрати та зменшений ризик виникнення теплових мостів, оскільки панелі заповнюють всю стінову порожнину і є вогнестійкими [9].

Інтеграція хемпкріту у будівництво змінює традиційні підходи до проектування стінових систем, замінюючи декілька шарів типових конструкцій. Застосування хемпкріту дозволяє відмовитися від теплоізоляційних матеріалів із синтетичними антипіренами, зовнішніх облицювань, пароізоляційних бар'єрів та внутрішніх фінішних покриттів. Така спрощена система зменшує складність конструкції, знижує собівартість та скорочує вуглецевий слід у будівельних процесах [10]. Традиційні огорожувальні конструкції, такі як системи з цегляним облицюванням або дерев'яною обшивкою, включають численні шари: конструктивні елементи, повітряні порожнини, теплоізоляційні матеріали, гідроізоляцію та внутрішні фінішні покриття. У стінах із низькою теплоємністю необхідні додаткові ізоляційні матеріали для забезпечення енергоефективності відповідно до сучасних норм.

У конструкціях із блоків хемпкріту залишаються лише основні елементи, такі як конструктивні опори, гідроізоляційні елементи та розчини для скріплення. Ця мінімізація не тільки прискорює будівельні процеси, але й сприяє зменшенню витрат, що є особливо важливим для зведення доступного житла. Здатність хемпкріту до ефективного заповнення стінових порожнин забезпечує високі показники теплоізоляції та вогнестійкості, що є важливими характеристиками для сучасного будівництва [9]. Відповідно до будівельних норм, зовнішні стіни повинні мати вогнестійкість від 1 до 3 годин, що забезпечує достатньо часу для евакуації мешканців. Згідно з результатами випробувань, проведених у Європі, хемпкрітні блоки товщиною 300 мм витримують вплив полум'я протягом 1 години та 40 хвилин без займання. Було зафіксовано, що при цих випробуваннях руйнування відбувалося спочатку в розчині між блоками, тоді як самі блоки залишалися непошкодженими [14].

Вапно відіграє ключову роль у забезпеченні відповідності стін з хемпкріту нормативним вимогам. Вапняна штукатурка, нанесена на зовнішню поверхню блоків, демонструє високу стійкість до атмосферних впливів та вологи. Завдяки своїм хімічним властивостям і високому рівню рН вапно здатне регулювати рівень вологості всередині стінової конструкції [9-10]. Це виключає потребу в додаткових вентиляційних прошарках чи дренажних матах, які зазвичай використовуються у традиційних облицювальних системах.

Конструкції з хемпкріту мають низку специфічних вимог. Зокрема, через здатність матеріалу поглинати та регулювати вологість, його необхідно ізолювати від контакту з ґрунтом. Це досягається шляхом встановлення хемпкрітних блоків на фундаментні стіни з бетонних блоків або залізобетону. Хемпкріту властива висока теплова інерційність, що робить його ефективним елементом для створення термальної маси [15].

Хемпкріт забезпечує ті самі функції, що й багатошарові традиційні стіни, але при цьому зменшує кількість необхідних матеріалів і знижує вуглецевий слід. За даними організації *Architecture 2030*, яка розробляє стратегії боротьби зі зміною клімату, вуглецеві викиди, пов'язані з будівельними матеріалами (так званий «вбудований вуглець»), фіксуються в момент будівництва. На відміну від операційного вуглецю, який можна зменшувати шляхом модернізації та використання відновлюваної енергії, вбудований вуглець

не піддається корекції після завершення зведення будівлі. Тому скорочення вуглецевого сліду на етапі будівництва є критично важливим для досягнення цілей декарбонізації до 2050 року [9]. Для порівняння, вміст вбудованого вуглецю у типових цегляних стінах становить близько 34,7 кгСО₂/кг, тоді як у хемпкрітних конструкціях цей показник сягає лише 10,4 кгСО₂/кг.

Висновки. Застосування хемпкріту у влаштуванні огорожувальних конструкцій демонструє значний потенціал для підвищення ефективності та екологічної стійкості будівельних процесів. Поєднання теплоізоляційних і конструктивних властивостей цього матеріалу дозволяє оптимізувати традиційні будівельні системи шляхом зменшення кількості шарів у стінах, скорочення матеріальних витрат і підвищення енергоефективності об'єктів. Завдяки високій теплоємності, вогнестійкості та здатності до акумуляції вуглецю, хемпкріт може стати ключовим компонентом у сучасному сталому будівництві.

Порівняно з традиційними матеріалами, такими як цегла чи дерев'яна обшивка, хемпкріт спрощує монтажні процеси, знижує вуглецевий слід та сприяє екологічній прозорості проєктів. Крім того, його здатність регулювати вологість у конструкціях створює здоровий мікроклімат у приміщеннях, що має позитивний вплив на житлове середовище. Водночас інтеграція хемпкріту мінімізує використання синтетичних ізоляційних матеріалів, що додатково знижує ризики для здоров'я та екології.

Для повноцінного впровадження хемпкріту у масове будівництво необхідно вирішити низку викликів. Відсутність нормативного регулювання та стандартизації, а також необхідність у наявності несучих конструктивних елементів обмежують його застосування. Перспективним напрямом є розвиток попередньо виготовлених панелей та блоків, що скорочують будівельні цикли та зменшують вартість об'єктів. Розвиток локального виробництва хемпкріту також сприятиме здешевленню матеріалу та підвищенню його конкурентоспроможності.

Отже, використання хемпкріту як будівельного матеріалу має значний потенціал для вирішення низки актуальних завдань у галузі архітектури та будівництва. Вона відкриває нові можливості для створення екологічно чистих, економічно ефективних і довговічних будівельних об'єктів, відповідаючи вимогам сучасних тенденцій сталого розвитку.

Література

1. Bevan R., Woolley T. Hemp lime construction: A guide to building with hemp lime composites. Bracknell, UK: IHS BRE Press, 2008. 109 p.
2. Shea A., Lawrence M., Walker P. Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 36. P. 270-275.
3. Walker R., Pavia S. Thermal performance of hemp–lime. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 61. P. 338-343.
4. Bourebrab M.A., Durán F., Taylor S.E. Hemp-lime bio-composite as an alternative building material: A review. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 221. P. 494-513.
5. Ravindra B.M., Kiran P.K., Raju K.Ch. Industrial Cannabis sativa (Hemp fiber): Hempcrete-A Plant Based and Eco-friendly Building Construction Material. *International journal of Research and Innovation in applied sciences (IJREAS)*. 2023. Vol. 8, No. 3. P. 67-78.
6. Magwood Ch. Making Better Buildings: A comparative guide to sustainable construction for homeowners and contractors. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 2014. 464 p.
7. Stanwix W., Sparrow A. The Hempcrete Book: Designing and building with hemp-lime. Kerala, India: Green Books, Cambridge, 2014. 368.
8. Allin St. Building with Hemp, 2nd edition. Kenmare, Ireland: SeedPress, 2005.
9. Mears A., Malloy I., Gonzalez M. Hemplime: Examining the Feasibility of Building with Hemp and Lime in USA. Design and demonstration. New York, USA: Parsons Healthy Materials Lab, 2020. 103 p.
10. Healthy Materials Lab. URL: <https://healthymaterialslab.org/> (дата звернення: 10.10.24)
11. Бойко Г.А., Євтушенко А.В., Максимченко Ю.О., Фурса О.В. Аналіз виробництва інноваційних виробів із волокон луб'яних культур. *Modern engineering and innovative technologies*. 2024. Вип. 34. С. 70-77.
12. Ляліна Н.П., Мороз О.І. Аналіз перспектив використання конопляної сировини в будівельному бізнесі. Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу. 2023. Вип. 2. С. 66-68.
13. Lupu M.L., Isopescu D.N., Baciú I.R., Maxineasa S.G., Pruna L., Gheorghiu R. Hempcrete - modern solutions for green buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 1242. P. 12-21.
14. Asghari N., Memari A.M. State of the Art Review of Attributes and Mechanical Properties of Hempcrete. *Innovative Systems for Biomass Crop Production and Use*. 2024. Vol. 4, No. 1. P. 65-91.
15. Sahmenko G., Sinka M., Namsone E., Korjamins A., Bajare D. Sustainable Wall Solutions Using Foam Concrete and Hemp Composites. *Environmental and Climate technologies*. 2021. Vol. 25, No. 1. P. 917-930.

References

1. Bevan R., Woolley T. Hemp lime construction: A guide to building with hemp lime composites. Bracknell, UK: IHS BRE Press, 2008. 109 p.
2. Shea A., Lawrence M., Walker P. Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 36. P. 270-275.
3. Walker R., Pavia S. Thermal performance of hemp–lime. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 61. P. 338-343.
4. Bourebrab M.A., Durán F., Taylor S.E. Hemp-lime bio-composite as an alternative building material: A review. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 221. P. 494-513.
5. Ravindra B.M., Kiran P.K., Raju K.Ch. Industrial Cannabis sativa (Hemp fiber): Hempcrete-A Plant Based and Eco-friendly Building Construction Material. *International journal of Research and Innovation in applied sciences (IJREAS)*. 2023. Vol. 8, No. 3. P. 67-78.
6. Magwood Ch. Making Better Buildings: A comparative guide to sustainable construction for homeowners and contractors. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 2014. 464 p.
7. Stanwix W., Sparrow A. The Hempcrete Book: Designing and building with hemp-lime. Kerala, India: Green Books, Cambridge, 2014. 368.
8. Allin St. Building with Hemp, 2nd edition. Kenmare, Ireland: SeedPress, 2005.
9. Mears A., Malloy I., Gonzalez M. Hemplime: Examining the Feasibility of Building with Hemp and Lime in USA. Design and demonstration. New York, USA: Parsons Healthy Materials Lab, 2020. 103 p.
10. Healthy Materials Lab. URL: <https://healthymaterialslab.org/> (дата звернення: 10.10.24)
11. Boiko H.A., Yevtushenko A.V., Maksymchenko Yu.O., Fursa O.V. Analiz vyrobnytstva innovatsiinykh vyrobiv iz volokon lubianykh kultur. *Modern engineering and innovative technologies*. 2024. Vyp. 34. S. 70-77.
12. Lialina N.P., Moroz O.I. Analiz perspektyv vykorystannia konoplianoi syrovyny v budivelnomu biznesi. *Problemy henezysu ekonomiky intelektualno-innovatsiinoho kapitalu*. 2023. Vyp. 2. S. 66-68.
13. Lupu M.L., Isopescu D.N., Baciú I.R., Maxineasa S.G., Pruna L., Gheorghiu R. Hempcrete - modern solutions for green buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 1242. P. 12-21.
14. Asghari N., Memari A.M. State of the Art Review of Attributes and Mechanical Properties of Hempcrete. *Innovative Systems for Biomass Crop Production and Use*. 2024. Vol. 4, No. 1. P. 65-91.
15. Sahmenko G., Sinka M., Namsone E., Korjamins A., Bajare D. Sustainable Wall Solutions Using Foam Concrete and Hemp Composites. *Environmental and Climate technologies*. 2021. Vol. 25, No. 1. P. 917-930.

TECHNOLOGY OF INSTALLING ENCLOSURE STRUCTURES WITH HEMPCRETE

Abstract. Construction using innovative and environmentally friendly materials is becoming increasingly important in the face of global challenges related to energy efficiency, environmental safety and sustainable development. One of these materials is hempcrete, or hemp concrete, a biocomposite based on industrial hemp and lime that is characterized by its high thermal insulation properties, vapor permeability, lightness, and ability to accumulate carbon. The use of hempcrete in construction, particularly for enclosing structures, opens up new opportunities for creating energy-efficient, environmentally friendly and durable buildings. This article presents a comprehensive analysis of the technology for constructing enclosure structures using hempcrete, emphasizing its potential to replace traditional multi-layer wall systems. Hempcrete, a biocomposite material consisting of hemp hurds, lime, and water, offers multifunctional performance by integrating thermal insulation, moisture regulation, and fire resistance within a single-layer assembly. The study explores the material's capacity to eliminate the need for conventional elements such as vapor barriers, foam insulation, air cavities, and external cladding, thus reducing the structural complexity and embodied carbon of the building envelope. Special attention is given to the construction methods required to elevate hempcrete walls above ground level, ensuring durability and moisture management through the use of concrete foundations. Hempcrete's ability to meet fire-resistance criteria and withstand combustion for extended periods is also discussed, along with the material's contribution to achieving sustainable construction goals through carbon sequestration. This research demonstrates that hempcrete-based enclosure structures represent a proactive approach to moisture management, outperforming traditional wall assemblies by allowing dynamic vapor exchange across the wall. The study concludes that hempcrete construction not only reduces the environmental impact of building processes but also aligns with the objectives of Architecture 2030 by addressing embodied carbon emissions, contributing to long-term sustainability goals.

Key words: hempcrete, building envelopes, energy efficiency, eco-materials, sustainable development, construction technology.

Oliinyk N.V.

Ph.D in Technical Science, Associate Professor at the Department of Construction Technology,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

Dukhina V.S.

Student at the Institute of Architecture and Art,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa