

Питання екологічності та безпеки теплоізоляційних матеріалів для військового будівництва

Issues of environmental friendliness and safety of thermal insulation materials for military construction

Дмитро Ліннік^A

Corresponding author: к.тех.н., доцент, доцент кафедри забезпечення військ (сил), e-mail: amskafedra@gmail.com, ORCID: 0009-0001-3718-5104

Олександр Фролов^A

старший викладач кафедри забезпечення військ (сил), e-mail: sanec418@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0941-4299

Тетяна Рабоча^A

к.тех.н., доцент, доцент кафедри забезпечення військ (сил), e-mail: 888tanyava8@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0941-4299

Галина Кушнарєва^A

к.тех.н., доцент, доцент кафедри забезпечення військ (сил), e-mail: sopromat.galina@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2631-2435

Віктор Прогульний^A

д.тех.н., професор, професор кафедри забезпечення військ (сил), e-mail: varkadia@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8310-3823

Dmytro Linnik^A

Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Military (Force) Support, e-mail: amskafedra@gmail.com, ORCID: 0009-0001-3718-5104

Oleksandr Frolov^A

Senior Lecturer at the Department of Troops (Forces) Support, e-mail: sanec418@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0941-4299

Tatiana Rabochaya^A

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Military (Force) Support, e-mail: 888tanyava8@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0941-4299

Galina Kushnareva^A

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Military (Force) Support, e-mail: sopromat.galina@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2631-2435

Victor Progulny^A

Dr of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Military (Force) Support, e-mail: varkadia@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8310-3823

^A Військова академія, м. Одеса, Україна

^A Military Academy, Odesa, Ukraine

Received: June 19, 2024 | Revised: June 29, 2024 | Accepted: June 30, 2024

DOI: 10.33445/sds.2024.14.3.7

Мета роботи: стаття спрямована на дослідження питань екологічності та безпеки теплоізоляційних матеріалів, які використовуються у військовому будівництві.

Метод дослідження: аналіз, синтез, індукція, дедукція.

Результати дослідження. Аналіз показав, що на сьогоднішній день існує низка теплоізоляційних матеріалів для військового будівництва, які відповідають критеріям екологічності та безпеки. До таких матеріалів відносяться мінеральна вата, спінений перліт, арболіт, арболітобетон, аерогелі, спеціальні піни.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження розширює теоретичні знання про властивості теплоізоляційних матеріалів із спеціальним акцентом на їхню екологічність та безпеку в контексті військового будівництва.

Практична цінність дослідження. Результати статті можуть бути використані для вдосконалення вибору теплоізоляційних матеріалів у військовому будівництві з метою забезпечення найвищого рівня безпеки і зменшення негативного впливу на довкілля.

Цінність дослідження. Стаття має оригінальність, оскільки об'єднує аспекти теплоізоляції, екологічності та безпеки матеріалів в контексті військового будівництва, що має велике значення в умовах сучасних викликів сталого розвитку.

Майбутні дослідження. Одним з обмежень є обмежений асортимент матеріалів, які були розглянуті у дослідженні. Майбутні дослідження можуть включати детальніші експериментальні випробування з іншими типами теплоізоляційних матеріалів та їхнім впливом на довкілля.

Тип статті. Теоретичний.

Purpose: the article is aimed at researching issues of environmental friendliness and safety of heat-insulating materials used in military construction.

Method: analysis, synthesis, induction, deduction.

Findings. The analysis showed that today there are a number of thermal insulation materials for military construction that meet the criteria of environmental friendliness and safety. Such materials include mineral wool, foamed perlite, arbolite, arbolite concrete, aerogels, special foams.

Theoretical implications. The study expands theoretical knowledge about the properties of thermal insulation materials with a special emphasis on their environmental friendliness and safety in the context of military construction.

Practical implications. The results of the article can be used to improve the selection of thermal insulation materials in military construction in order to ensure the highest level of safety and reduce the negative impact on the environment.

Originality. The article is original, as it combines the aspects of thermal insulation, environmental friendliness and safety of materials in the context of military construction, which is of great importance in the conditions of modern challenges of sustainable development.

Future research. One of the limitations is the limited range of materials that were considered in the study. Future research may include more detailed experimental testing with other types of thermal insulation materials and their environmental impact.

Paper type. Theoretical

Ключові слова: екологічність, енергозбереження, пожаростійкість, горючість, арболітобетон, квартирно-експлуатаційна служба.

Key words: environmental friendliness, energy saving, fire resistance, combustibility, arbolite concrete, military town, housing and maintenance service, provision of troops (forces).

Вступ

У сучасних умовах військового будівництва питання екологічності та безпеки матеріалів набувають особливої актуальності. Забезпечення надійної теплоізоляції військових об'єктів є важливим аспектом як з точки зору енергоефективності, так і з точки зору захисту від екстремальних погодних умов. Однак, поряд з цими вимогами, матеріали, що використовуються у будівництві, повинні відповідати високим стандартам екологічної безпеки, оскільки вони безпосередньо впливають на здоров'я військовослужбовців та навколишнє середовище.

Екологічність теплоізоляційних матеріалів визначається багатьма факторами, включаючи їх виробництво, використання та утилізацію. Вибір таких матеріалів має враховувати не лише їх теплоізоляційні властивості, але й можливість впливу на повітря, воду та ґрунт. Окрім цього, важливим є питання безпеки під час їх експлуатації, зокрема в умовах можливих бойових дій.

Актуальним є розгляд основних вимог до теплоізоляційних матеріалів, які використовуються у військовому будівництві, аналізу їхніх екологічних та безпекових характеристик, а також формулювання рекомендацій щодо вибору найбільш відповідних матеріалів для забезпечення ефективної та безпечної експлуатації військових об'єктів.

Теоретичні основи дослідження

Дослідження питань екологічності та безпеки теплоізоляційних матеріалів у військовому будівництві базується на ряді теоретичних підходів і концепцій, які охоплюють різні аспекти матеріалознавства, екології, інженерії та безпеки.

Матеріалознавчі основи представлені дослідженнями теплофізичних властивостей теплоізоляційних матеріалів. Також охоплені роботи з питань механічних характеристик матеріалів, таких як міцність, стійкість до зносу та деформацій, що є надзвичайно важливим у військовому будівництві (Kryvenko, Pushkareva, & etc., 2012; Pushkareva, 2012; Neri, Pilotelli, & etc., 2021).

Екологічні підходи та питання сталого розвитку висвітлені низкою науковців у контексті нетоксичності та відновлюваності матеріалів, зменшення енергоспоживання будівель (Tkachuk, Dzyubinskyi, 2016; Tsyhychko, 2012; Chernigovskii, Kazimagomedov, & etc., 2014).

Огляд теоретичних підходів і попередніх висновків щодо екологічності та безпеки теплоізоляційних матеріалів у військовому будівництві показує багатогранність і комплексність цього питання. Наукові дослідження і практика у цій сфері спираються на декілька ключових теорій і концепцій.

Одна з найпоширеніших теорій, що використовується для оцінки екологічності матеріалів, це теорія життєвого циклу продукту (LCA – Life Cycle Assessment). LCA дозволяє оцінити вплив теплоізоляційних матеріалів на довкілля на всіх етапах їхнього життєвого циклу: від видобутку сировини, виробництва, транспортування, експлуатації до утилізації. Використання LCA для аналізу теплоізоляційних матеріалів у військовому будівництві дозволяє виявити ключові екологічні ризики та оптимізувати процеси для зменшення негативного впливу на довкілля (Ококріп'є, Essien, 2022).

Інтеграція екологічних стандартів та нормативів у військово будівництво є ще однією важливою теоретичною та практичною основою. Військові об'єкти повинні відповідати не лише національним, але й міжнародним екологічним стандартам, таким як LEED (Leadership

in Energy and Environmental Design) та BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) (Chala, Orlovska, & etc. 2023).

Безпека теплоізоляційних матеріалів включає їхню пожежостійкість, нетоксичність та здатність витримувати екстремальні умови. Сучасні теплоізоляційні матеріали можуть забезпечити високий рівень пожежної безпеки та захисту від токсичних викидів. Крім того, ці матеріали демонструють хорошу стійкість до екстремальних температур та механічних впливів, що є критичним для військових об'єктів. Таким чином актуальності набувають дослідницькі питання у роботі, а саме:

1. Класифікація сучасних теплоізоляційних матеріалів у будівництві.
2. Сучасні теплоізоляційні матеріали та технології у військовому будівництві в контексті екологічності та безпечності.

Постановка проблеми

Питання екологічності та безпеки теплоізоляційних матеріалів у військовому будівництві стає все більш актуальним у сучасному світі, де вимоги до сталого розвитку та екологічної безпеки є високими пріоритетами. Військові об'єкти, які часто експлуатуються в умовах високої навантаженості та екстремальних умов, вимагають особливої уваги до вибору матеріалів, що використовуються для їх будівництва. Проблема полягає в тому, що теплоізоляційні матеріали, які є ефективними з точки зору енергоефективності та механічних властивостей, часто мають потенційно негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей. Також важливо враховувати, що матеріали повинні відповідати вимогам пожежної безпеки, що є критичним аспектом для військових об'єктів, особливо з урахуванням їхньої специфіки та високого ризику пожежі. Отже, головне питання полягає у знаходженні компромісу між високою енергоефективністю, механічною міцністю та безпекою теплоізоляційних матеріалів, з одного боку, та зменшенням їхнього впливу на навколишнє середовище та здоров'я, з іншого.

Методологія дослідження

В роботі використані такі методи дослідження:

- пошуковий по наявній методичній та науковій літературі із аналізом знайденого матеріалу;
- індукція: аналіз різноманітних досліджень та публікацій щодо питань екологічності та безпеки теплоізоляційних матеріалів для військового будівництва;
- дедукція: використання для пояснення принципів ефективного вибору екологічних та безпечних теплоізоляційних матеріалів для військового будівництва.

Результати

Ми часто говоримо про екологічні проблеми, вважаючи, що основну загрозу становлять забруднене повітря, вода, ґрунт і продукти харчування. Однак людина проводить 80–90% свого часу вдома. Житло не лише слугує захистом від несприятливих впливів природи, але й є потужним фактором, що впливає на здоров'я людини. Екологічна безпека будівель включає такі важливі аспекти, як якість огорожувальних конструкцій, матеріалів оздоблення, меблів та елементів декору. Для забезпечення здорових умов проживання, житлові приміщення повинні відповідати нормам мікроклімату: бути просторими, теплими, сухими, добре провітрюваними та освітленими.

Сучасна екологія охоплює сукупність принципів і підходів до взаємодії природного середовища і діяльності людини, включаючи будівельну сферу. Це означає визначення

взаємозв'язків між архітектурою та екологією та вибір напрямів діяльності архітектурної екології, які сприятимуть сталому розвитку сучасних міст. Для підвищення стандартів якості життя необхідно забезпечити екологічну оптимізацію архітектурно-будівельних, конструктивних і технологічних рішень, враховуючи запобігання негативним впливам на довкілля. Особливу увагу слід приділити питанням якості та безпеки будівельних матеріалів.

На сьогоднішній день виділяють такі основні критерії екологічності будівельних матеріалів:

- матеріал не виділяє токсичних або пожежонебезпечних речовин;
- рівень радіоактивного випромінювання мінімальний;
- у процесі виробництва завдається мінімальна шкода навколишньому середовищу;
- матеріал придатний для повторного використання та може бути безпечно утилізований.

У наших домівках можна знайти десятки хімічних сполук, багато з яких є токсичними, наприклад, формальдегід, діоксид азоту, бензол, толуол та інші. Деякі з них проникають у приміщення ззовні разом із забрудненим повітрям, а інші надходять із будівельних матеріалів, потрапляючи з стінових панелей, підлогових покриттів, меблів тощо. На рисунку 1 представлена класифікація властивостей будівельних матеріалів, що забезпечує екологічність в будівлях.

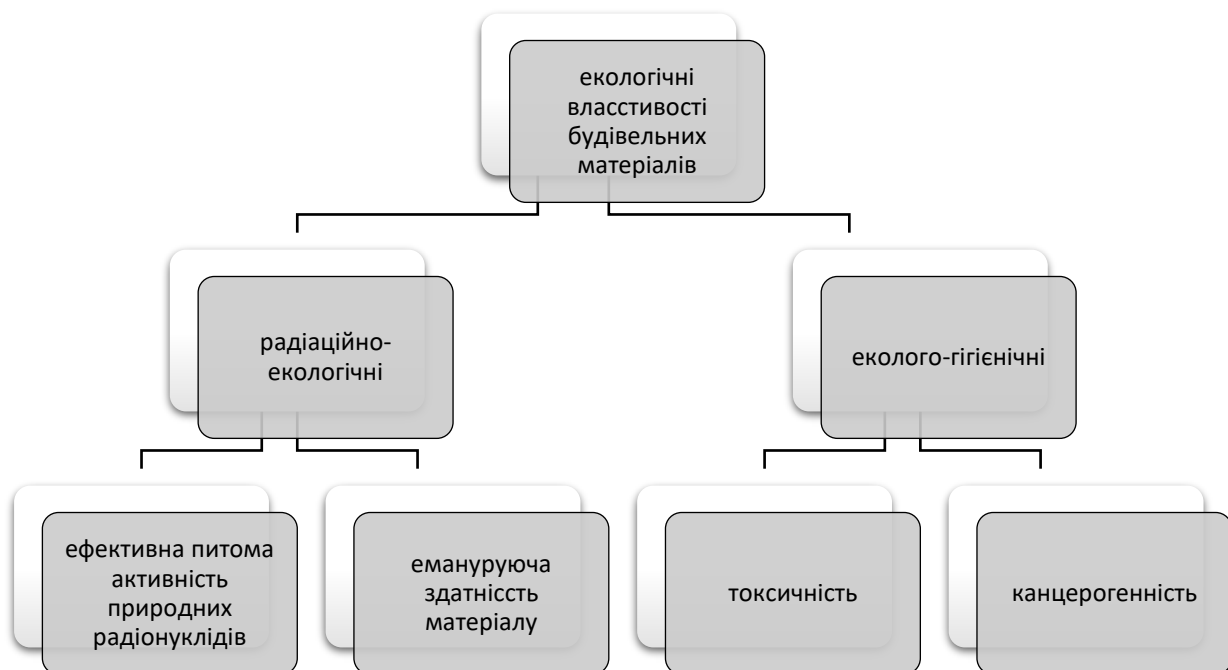


Рисунок 1 – Класифікація властивостей будівельних матеріалів, що забезпечує екологічну безпеку

Джерело: Kryvenko, P. V., Pushkareva, E. K., Baranovskyi, V. B., & et al. (2012). *Construction materials science*.

Екологічність будматеріалів можна визначити за таким маркуванням:

- E1 – повністю безпечні будівельні матеріали для дитячого і будь-який інший кімнати;
- E2 – підходить для кухні, ванної, коридорів;
- E3 – не підходить для житлових приміщень, застосовується для обробки технічних приміщень (Tkachuk, Pryadko, 2018).

Теплоізоляційні матеріали відіграють ключову роль у забезпеченні енергоефективності будівель, включаючи військові об'єкти, що є важливим як для зменшення витрат на опалення

та кондиціонування, так і для зниження викидів парникових газів. Проте, не менш важливим аспектом є їхній вплив на екологію протягом усього життєвого циклу – від виробництва до утилізації.

Військове будівництво має свої специфічні вимоги, зокрема стосовно довговічності та стійкості матеріалів в екстремальних умовах. У цьому контексті екологічні теплоізоляційні матеріали повинні забезпечувати не лише ефективну теплоізоляцію, але й бути безпечними для здоров'я людей та мінімально впливати на природні ресурси. Низькотоксичність, відсутність шкідливих викидів під час експлуатації, можливість переробки чи безпечної утилізації – всі ці фактори стають критично важливими.

Питаннями забезпечення ефективного функціонування військових об'єктів, включаючи теплоізоляційні матеріали, які використовуються у будівництві займається квартирно-експлуатаційна служба (КЕС), яка грає важливу роль у контексті питань екологічності та безпеки теплоізоляційних матеріалів військового будівництва. Її функції включають контроль якості, екологічну оцінку, безпеку в експлуатації, пожежну безпеку, стійкість до хімічних речовин та стратегії зберігання та утилізації, що забезпечує надійність та довговічність військових об'єктів у різних умовах експлуатації.

Теплоізоляційними називаються будівельні матеріали для теплової ізоляції огорожувальних конструкцій будівель, промислового та енергетичного обладнання й трубопроводів. Ці матеріали повинні мати теплопровідність не вищу ніж $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ та середню щільність не більш як $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ (Тсупушко, 2012).

На практиці теплоізоляційні матеріали прийнято ділити на три види (по виду основного вихідної сировини): органічні, неорганічні, змішані (Тсупушко, 2012).

Органічні теплоізоляційні матеріали отримують з переробки неділової деревини, відходів деревообробки, сільськогосподарських відходів та торфу. Зазвичай вони мають низьку водо- і біостійкість. До цієї категорії належать деревноволокнисті плити, деревностружкові плити, торфоплити тощо.

Неорганічні теплоізоляційні матеріали включають мінеральну вату (мінераловатні плити), легкі і ніздрюваті бетони (газобетон і пінобетон), піноскло, скляне волокно, вироби з спученого перліту тощо. Вони отримуються з розплавів гірських порід або металургійних шлаків в склоподібне волокно. Об'ємна маса виробів з мінеральної вати зазвичай коливається від 75 до $350 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Змішані теплоізоляційні матеріали містять азбестові компоненти (азбестовий картон, папір, повсть) або суміші азбесту з мінеральними в'язкими речовинами. Також до цієї категорії входять вироби на основі спучених гірських порід, таких як вермикуліт і перліт.

Інші види класифікацій теплоізоляційних матеріалів представлені на рисунку 2.

Вибір теплоізоляційних матеріалів для будівництва має ґрунтуватися на ретельному аналізі їх екологічних та безпекових характеристик. Доцільно надавати перевагу теплоізоляційним матеріалам, виготовленим з відновлюваних або біорозкладних ресурсів. Це можуть бути целюлоза, деревина, пробка, льон та коноплі. Такі матеріали не лише екологічно чисті, але й сприяють збереженню природних ресурсів.

Серед екологічних та безпечних теплоізоляційних матеріалів для будівництва можна мінеральну вату, спінений перліт, арболіт, аерогель та спеціальні піни.

Мінеральна вата (скловата, шлаковата) – це волокнисті матеріали з гірських порід, шлаків, що мають високу теплоізоляцію, негорючість, стійкість до вологи. Мінеральна вата є одним з найпопулярніших та ефективних теплоізоляторів.

Спінений перліт являє собою негорючий, екологічно безпечний, стійкий до вологи теплоізоляційний матеріал, отриманий шляхом термообробки алюмосилікатної вулканічної породи. Має хороші теплоізоляційні властивості.

ЗА ОБ'ЄМНОЮ МАСОЮ В СУХОМУ СТАНІ	<ul style="list-style-type: none"> • марки 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 і 700
НА ВИГЛЯД ЗА ФОРМОЮ	<ul style="list-style-type: none"> • формовані (листи, плити, мати, рулони, шкаралупи, сегменти, цегла, блоки) • безформні (засипки, набивання, штукатурки і т. д.)
ЗА ХАРАКТЕРОМ БУДОВИ	<ul style="list-style-type: none"> • жорсткі (плити, камені, цегла, шкаралупи, сегменти) • гнучкі (мати, напівжорсткі плити, шнури, джгути, листи, рулони) • рихлі (волокнисті, зернисті, порошкоподібні)
ЗА ГАЛУЗЗЮ ЗАСТОСУВАННЯ	<ul style="list-style-type: none"> • ізоляційно-будівельні • ізоляційно-монтажні
ЗА РЕАКЦІЄЮ НА ВОГОНЬ	<ul style="list-style-type: none"> • неспалимі • важкозайmistі • спалимі

Рисунок 2 – Класифікація теплоізоляційних матеріалів

Джерело: Pushkareva, K. K. (2012). *Suchasni ukrainski budivelni materiali, viroby ta konstruktсии*

Арболіт (або деревошлакоблок) – будівельний матеріал, який виготовляється з відходів деревообробної промисловості та шлаку вугільних і теплових станцій. Він є екологічно чистим і ефективним матеріалом для будівництва. Арболітобетон є довговічним екологічним будівельним матеріалом, який славиться високими теплосберігаючими властивостями. Теплопровідність арболітобетона складає 0,08–0,17 Вт/м·К, чим перевершує керамзитобетон в 2,5–3,5 рази, цеглину – в 4–5 разів. Для обігріву приміщень із стінами з арболітобетона завтовшки 30 см потрібні в два рази менше енергоносіїв, ніж для приміщень із стінами з цеглини завтовшки 75 см (три цеглини). Унікальні теплоізоляційні властивості дозволяють застосовувати його при будь-яких температурах і у будь-яких регіонах (Linnik, 2021).

На рисунку 3 зображені зразки ізоляційних матеріалів з мінеральної вати, перліту, арболіту.

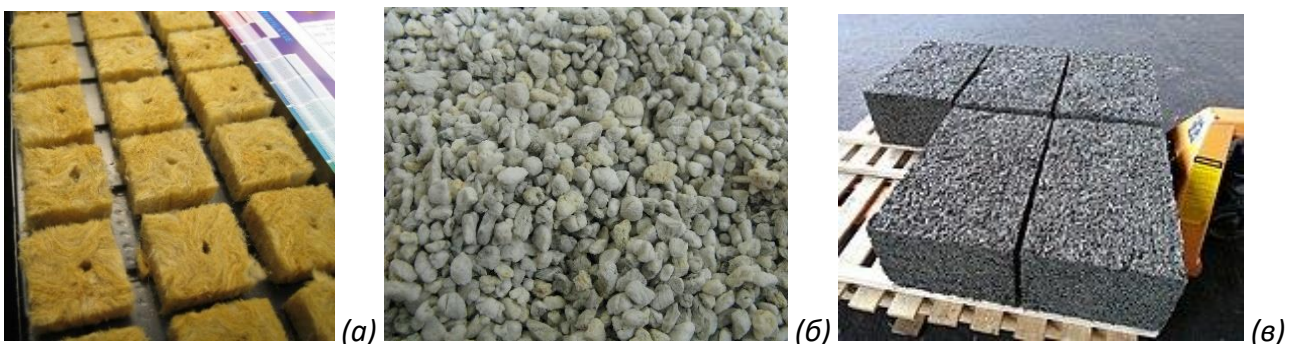


Рисунок 3 – Зразки ізоляційних матеріалів: а) мінеральна вата; б) перліт; в) арболіт

Джерело: Thermal Insulation Materials. Wikipedia.

Аерогелі – це надзвичайно легкі, пористі матеріали, які мають вражаючі теплоізоляційні властивості завдяки своїй структурі, що складається з понад 90% повітря. Аерогелі мають надзвичайно низьку теплопровідність, що робить їх одними з найкращих теплоізоляційних матеріалів. Аерогелі є екологічно безпечними матеріалами. Вони нетоксичні, не виділяють шкідливих речовин під час експлуатації, що робить їх безпечними для здоров'я військовослужбовців (Aerogels. Wikipedia).

Спеціальні піни, такі як поліуретанові, фенольні та пінополіізоціануратові піни, використовуються в будівництві завдяки своїм видатним теплоізоляційним властивостям, легкості та простоті в застосуванні. У військовому будівництві ці матеріали набувають особливого значення через необхідність забезпечення надійної ізоляції та безпеки в умовах екстремальних експлуатаційних навантажень. Спеціальні піни мають низьку теплопровідність, що робить їх ефективними теплоізоляційними матеріалами. Вони можуть витримувати значні навантаження, що робить їх придатними для використання в умовах інтенсивної експлуатації. Сучасні піни виробляються з використанням менш токсичних хімічних речовин та більш екологічно безпечних процесів. Поліуретанові піни, наприклад, можуть бути виготовлені з використанням компонентів на основі відновлюваних ресурсів, таких як соєва олія. Також, деякі види спеціальних пін можуть бути перероблені, що сприяє зменшенню кількості відходів. Використання таких безпечних та екологічних теплоізоляційних матеріалів дозволяє знизити вплив будівництва на довкілля, забезпечити здорові умови проживання та зменшити витрати на опалення (Thermal Insulation Materials. Wikipedia).

Висновки

Вибір теплоізоляційних матеріалів для військового будівництва є складним завданням, яке потребує ретельного аналізу всіх факторів. З одного боку, важливо забезпечити високі теплоізоляційні властивості, щоб зберегти тепло в приміщеннях та мінімізувати витрати на енергоносії. З іншого боку, необхідно враховувати екологічність та безпеку матеріалів, щоб не завдати шкоди навколишньому середовищу та не наражати на небезпеку військовослужбовців. Існує широкий спектр екологічно чистих та безпечних теплоізоляційних матеріалів, доступних на ринку. Ці матеріали відповідають суворим вимогам військового будівництва та пропонують високі теплоізоляційні властивості. Використання екологічно чистих та безпечних теплоізоляційних матеріалів у військовому будівництві допоможе зберегти навколишнє середовище, захистити здоров'я людей та забезпечити комфортні умови для військовослужбовців.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Кривенко П. В., Пушкарьова Е. К., Барановський В. Б. та ін. Будівельне матеріалознавство. Київ: Либідь, 2012. 245 с.
2. Пушкарьова К. К. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції. К.: Асоціація «ВСВБМВ», 2012. 664 с.
3. Ткачук В. В., Прядко О. А. Екологічні властивості будівельних матеріалів. *Товарознавчий вісник*. 2018. Вип. 11. С. 142–151.
4. Ткачук В. В., Дзюбинський Д. В. Товарознавча оцінка екологічних показників будівельних матеріалів. *Екологічні нотатки*. 2016. №3. С. 53–58.
5. Цигичко С. П. Екологія в архітектурі і містобудуванні: навч. посібник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х: ХНАМГ, 2012. 146 с.
6. Чала В. С., Орловська Ю. В., Глущенко А. В. Європейські практики інвестування зеленого будівництва: Підручник Д.: ПДАБА. 2023. 148 с.

7. Аерогелі. Вікіпедія: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Аерогелі> (дата звернення: 25.05.2024).
8. Теплоізоляційні матеріали. Вікіпедія: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Теплоізоляційні_матеріали (дата звернення: 25.05.2024).
9. Ліннік Д. С. Арболітобетон на комплексно модифікованому композиційному гіпсовому в'язучому: дис. на здобуття вч. ступеня канд. тех. наук.: 05.23.05 / Одеська держ. академія буд. і архіт., Одеса, 2021. 223 с. URL: https://odaba.edu.ua/upload/files/Linnik_dissertatsiya.pdf (дата звернення: 26.05.2024).
10. Лобанова А. В., Казимагомедов И. Э. Стеновые изделия из арболита на основе костры льна. *Комунальне господарство міст*. 2015. Вип. 124. С. 18–20. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/78065583.pdf> (дата звернення: 25.05.2024).
11. Черниговский В. А., Казимагомедов И. Э., Лобанова А. В. Энергосберегающие стены малоэтажных зданий. *Науковий вісник будівництва*. 2014. № 1. С. 62–65. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/1645/1642> (дата звернення: 25.05.2024).
12. Neri M., Pilotelli M., Traversi M., Levi E., Piana E. A., Bannó M., Cuerva E., Pujadas P., Guardo A. Conversion of End-of-Life Household Materials into Building Insulating Low-Cost Solutions for the Development of Vulnerable Contexts: Review and Outlook towards a Circular and Sustainable Economy. *Sustainability*. 2021. 13 (8). P. 43–97. <https://doi.org/10.3390/su13084397> (дата звернення: 26.05.2024).
13. Okokpujie I., Essien V., Ikumapayi O., Nnochiri E., Okokpujie K., Akinlabi E. An Overview of Thermal Insulation Material for Sustainable Engineering Building Application. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. 2022. №17 (6). P. 831–841. <https://doi.org/10.18280/ijdne.170603>.

References

1. Kryvenko, P. V., Pushkareva, E. K., Baranovskyi, V. B., & et al. (2012). Construction materials science. Kyiv: Lybid'.
2. Pushkareva, K. K. (2012). Modern Ukrainian building materials, products and structures. K.: Asociatsiya «VSVBMW».
3. Tkachuk, V. V., & Pryadko, O. A. (2018). Ecological properties of building materials. *Tovaroznavchyi visnyk*, 11 (142–151).
4. Tkachuk, V. V., & Dzyubynskyi, D. V. (2016). Commodity assessment of ecological indicators of building materials. *Ekolohichni notatky*, 3 (53–58).
5. Tsyhychko, S. P. (2012). Ecology in architecture and urban planning: textbook. Kharkiv: Kharkiv Nats. Akad. Mis'k. Hosp-va.
6. Chala, V. S., Orlovska, Yu. V., & Hlushchenko, A. V. (2023). European practices of investing in green construction: Textbook. Dnipro: PDAbA.
7. Aerogels. Wikipedia: The Free Encyclopedia. Retrieved from : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Аерогелі> (accessed on May 25, 2024).
8. Thermal Insulation Materials. Wikipedia: The Free Encyclopedia. Retrieved from : https://uk.wikipedia.org/wiki/Теплоізоляційні_матеріали (accessed on May 25, 2024).
9. Linnik, D. S. (2021). Arbolitobeton na kompleksno modifikovannom kompozitsionnom gipsovom vyazhuuyuchem: dis. na zdobuvnya vch. stupenya kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Odesa: Odes'ka derzh. akad. bud. i arkhitektury. Retrieved from : https://odaba.edu.ua/upload/files/Linnik_dissertatsiya.pdf (accessed on May 26, 2024).

10. Lobanova, A. V., & Kazimagomedov, I. E. (2015). Stenovye izdeliya iz arbolita na osnove kostry l'na. *Kommunal'noe khozyaistvo mist*, 124 (18–20). Retrieved from : <https://core.ac.uk/download/pdf/78065583.pdf> (accessed on May 25, 2024).
11. Chernigovskii, V. A., Kazimagomedov, I. E., & Lobanova, A. V. (2014). Energoberegayushchie steny maloetazhnykh zdaniy. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 1 (62–65). Retrieved from : <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/1645/1642> (accessed on May 25, 2024).
12. Neri, M., Pilotelli, M., Traversi, M., Levi, E., Piana, E. A., Bannó, M., Cuerva, E., Pujadas, P., & Guardo, A. (2021). Conversion of End-of-Life Household Materials into Building Insulating Low-Cost Solutions for the Development of Vulnerable Contexts: Review and Outlook towards a Circular and Sustainable Economy. *Sustainability*, 13 (8), 4397. <https://doi.org/10.3390/su13084397>.
13. Okokpujie, I., Essien, V., Ikumapayi, O., Nnochiri, E., Okokpujie, K., & Akinlabi, E. (2022). An Overview of Thermal Insulation Material for Sustainable Engineering Building Application. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 17 (6), 831–841. <https://doi.org/10.18280/ijdne.170603>.