

УДК 624.1

Савченко А.С., студентка  
Хімінчук О.М., студентка  
Кафедра Геоінженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЛЬ ШТУЧНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ҐРУНТУ В ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

**Анотація.** Інтеграція технології заморожування ґрунту в сучасні інженерні проекти забезпечує надійність і безпеку при реалізації складних інфраструктурних проектів, особливо у районах з високим рівнем ґрунтових вод або нестабільними ґрунтовими умовами. Використання техніки заморожування ґрунту дозволяє контролювати рух ґрунтових вод, забезпечуючи сухість та стабільність, що є критично важливим для безпеки і ефективності будівельних робіт. Актуальність цього методу в сучасному освоєнні території підкреслюється його екологічною сумісністю і здатністю адаптуватися до складних умов, що робить його незамінним у вирішенні інженерних завдань в умовах підвищеної урбанізації.

**Ключові слова:** заморожування, стабілізація, екологічні технології, спеціальні методи будівництва, урбанізм, підземний простір.

**Вступ.** У сучасному цивільному будівництві вирішення проблем, пов'язаних зі стабілізацією ґрунту і контролем рівня ґрунтових вод, стає дедалі важливішим, особливо в умовах підвищеної урбанізації та ускладнених ґрунтових умов. Техніка штучного заморожування ґрунту набуває актуальності завдяки своїй здатності забезпечити надійність і безпеку будівельних проектів, де традиційні методи можуть бути недостатньо ефективними або екологічно небезпечними. Цей метод особливо корисний в районах з високим рівнем ґрунтових вод та нестабільними ґрунтовими умовами, що робить його незамінним у вирішенні інженерних завдань в сучасних містах.

**Мета та завдання.** Метою є дослідження ролі штучного заморожування ґрунту у цивільному будівництві, аналіз його історичного розвитку, технологічних аспектів та переваг, а також обґрунтування його застосування як ефективного та екологічного методу стабілізації ґрунтів. Дослідження підкреслює важливість цього методу в сучасних інфраструктурних проектах і показує, як він може бути використаний для підвищення безпеки та ефективності будівельних робіт в умовах складної геологічної обстановки. Наукова новизна полягає у комплексному підході до аналізу штучного заморожування ґрунту як сучасного методу в цивільному будівництві. Досліджуються новітні технологічні розробки та їх вплив на ефективність і безпеку будівельних робіт. Крім того, зроблено аналіз різних методів заморожування ґрунту, їхніх переваг та недоліків, а також розглядаються екологічні аспекти застосування цієї технології. Це дозволяє сформулювати цілісне уявлення про можливості та перспективи штучного заморожування ґрунту у вирішенні сучасних інженерних завдань. Завдання дослідження включають:

- оцінку ефективності техніки заморожування ґрунту в умовах різних геологічних обставин;
- аналіз історичних випадків застосування цієї технології у будівництві;
- розробку рекомендацій щодо оптимальних методів та умов застосування заморожування ґрунту;

– дослідження екологічних аспектів застосування технології заморожування ґрунту.

– порівняння економічної ефективності різних методів стабілізації ґрунтів, включаючи заморожування.

**Матеріал і результати досліджень.** Техніка заморожування ґрунту – це метод, який використовується в цивільному будівництві для стабілізації ґрунту та запобігання проникненню води в землю під час будівництва. Ця техніка передбачає зниження температури ґрунту нижче точки замерзання води, що призводить до утворення непроникної крижаної стіни навколо ділянки, що викопується. Цей метод в основному використовується в районах, де звичайні методи зневоднення не є ефективними або здійсненними.

Вперше схожі технології були застосовані в Сибірі та Китаї. Природним способом виморожували ґрунти для відкопування колодязів і котлованів, цей метод носив назву «поморожування». У будівельній сфері цей метод почав застосовуватися лише в 18 столітті коли французький інженер Анрі Дюбуа використав замерзання ґрунту для будівництва тунелю під річкою Сена в Парижі [1-2], в той час як в гірничій сфері цей метод набув популярності коли німецький маркшейдер Г.Петш уперше використав спосіб штучного замороження ґрунтів для кріплення стовбура шахти який заходився в водонасиченому ґрунті. На початку 20-го століття заморожування ґрунту також використовувалося при будівництві системи метро Нью-Йорка. Відтоді та дотепер цей спосіб є невід’ємною частиною розвитку будівельних технологій людства, оскільки за допомогою нього побудовані: шахти, кар’єри, тунелі, резервуари для зберігання. Зважаючи на виклики нашого часу актуальним прикладом є будівництво бомбосховищ, за цією технологією. Проводячи паралель з історією, а конкретно з Другою світовою війною можна згадати та додати до цього списку будівництво сховищ артилерійських снарядів та інших військових об’єктів. Його також використовують як тимчасовий засіб для створення стін навколо глибоких інженерних виробок в складних умовах. Попри всю тяжкість та об’єм роботи який необхідний аби реалізувати цей метод, в своїй технології він являється досить простим. Для цього навколо контуру майбутньої виробки в один або декілька рядів буряться свердловини і обладнують їх заморожувальними колонками якими циркулює холодоносії [3]. Це приводить до утворення стовпчиків які постійно розширюються (вода змінюючи свій агрегатний стан з рідкого в твердий стан і розширюється приблизно на 9% [2]) поки не утворять собою стінку з льоду, яка захищає виробку від водяних проривів протягом виконання робіт. У загальному випадку штучне заморожування ґрунтів передбачає такі роботи:

- буріння свердловин,
- монтаж заморожувальної станції й мережі,
- створення кригоґрунтової стінки (активне заморожування),
- підтримання цієї стінки в мерзлом стані в період виконання будівельних робіт (пасивне заморожування),
- період заморожених ґрунтів.

Прикладом холодоносіїв можна взяти дві сполуки  $\text{CaCl}_2$  (кальцій хлорид)- його типова температура циркуляції від  $-15$  до  $-27$  °C, час заморожування від тижня до місяця, повільна швидкість замерзання та з спеціалізованого обладнання йому необхідна мобільна холодильна установка.  $\text{LN}_2$  (рідинний азот)- його точка кипіння  $-196$  °C, час заморожування від кількох днів до кількох тижнів, велика швидкість замерзання ґрунтових вод, з обладнання спеціальні резервуари для рідкого азоту або резервуари Дьюара [4].

Заморожування ґрунту — це техніка, яка використовується для створення твердого і непроникного бар'єру навколо будівельних майданчиків шляхом контрольованого заморожування ґрунту. Найефективніше цей метод застосовується в районах вічної мерзлоти- полярних і субполярних регіонах світу, де ґрунт промерзає на значну глибину, стандартні методи будівництва стають неможливими. Заморожування ґрунту стає практичним та економічно ефективним рішенням для виїмки мерзлої землі, запобігаючи при цьому шкоді природному середовищу. Ділянки з високим рівнем ґрунтових вод- колодязі та системи колодязів, коли земля заморожена, вода в ній замерзає утворюючи суху ділянку яка являється безпечною для проведення будівельних робіт. Дрібнозернисті ґрунти- такі як глина та мул, мають низьку проникність і можуть бути складними для зневоднення. В таких умовах можна використовувати промерзання ґрунту для зменшення проникності ґрунту та створення непроникного бар'єру. Також найефективніше цей метод застосовується для: потоків ґрунтових вод під високим тиском, глибоких виїмок, зберігання небезпечних матеріалів. Заморожування ґрунту дозволяє створити замерзлий бар'єр, який ізолює шкідливі речовини від навколишнього середовища, запобігаючи їхньому поширенню і впливу на екосистему. Такий підхід мінімізує потребу в хімічних агентах для очищення або інших потенційно шкідливих технологіях, знижуючи екологічний відбиток будівельних проектів. Застосування цієї техніки може значно підвищити безпеку і знизити витрати на будівництво, особливо в складних умовах та в умовах щільної забудови.

**Висновок.** Заморожування ґрунту виступає як ефективний і багатофункціональний спосіб стабілізації ґрунту у різноманітних будівельних і інженерних проектах. Заснований на принципах термодинаміки, цей метод надає багато переваг, включаючи збільшення міцності ґрунту, зменшення його проникності та зниження витрат на земляні роботи. Він застосовується у таких сферах, як тунельне будівництво, стабілізація фундаментів, освоєння підземного простору міст. З розвитком технологій, метод заморожування ґрунту продовжує удосконалюватись, стаючи все більш цінним варіантом для проектів, які вимагають стабілізації ґрунту. Все це робить заморожування ґрунту надійним і ефективним рішенням для будь-яких проектних потреб.

### Список використаних джерел

1. Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. Спеціальні вибухові технології в геоінженерії: монографія. Київ : КІП ім. Ігоря Сікорського, 2022, 316 с. ISSN 978-617-518-542-7 URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49097> (дата звернення: 13.05.2024).
2. Andersland, O. and Ladanyi, B. Frozen Ground Engineering, 2nd ed., Wiley and Sons, Hoboken, NJ. 2004.
3. Заморожування ґрунтів – Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Заморожування\\_ґрунтів](https://uk.wikipedia.org/wiki/Заморожування_ґрунтів) (дата звернення: 13.05.2024).
4. Klein, J. FAQs for Brine Freezing of Shafts. <https://mail.geoengineer.org/education/ground-improvement/ground-freezing/brine-freezing-of-shafts-faqs> (дата звернення: 13.05.2024).

Науковий керівник: к.т.н., ст.викл. О.В. Ган

UDC 624.1

Savchenko A.S., student  
Khiminchuk O.M., student  
Department of Geoengineering  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## THE ROLE OF ARTIFICIAL SOIL FREEZING IN CIVIL ENGINEERING

**Abstract.** *The integration of soil freezing technology into modern engineering projects ensures reliability and safety in the implementation of complex infrastructure projects, especially in areas with high groundwater levels or unstable soil conditions. The use of soil freezing techniques allows you to control the movement of groundwater, ensuring dryness and stability, which is critical for the safety and efficiency of construction work. The relevance of this method in the modern development of the territory is emphasized by its environmental compatibility and ability to adapt to difficult conditions, which makes it indispensable in solving engineering problems in conditions of increased urbanization.*

**Keywords:** *freezing, stabilization, environmental technologies, special construction methods, urbanism, underground space.*

### References

1. Boyko V.V., Han A.L., Han O.V. Special Explosive Technologies in Geoengineering: Monograph. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. 316 p. ISBN 978-617-518-542-7. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49097> (date of access: 13.05.2024).
2. Andersland, O. and Ladanyi, B. Frozen Ground Engineering, 2nd ed., Wiley and Sons, Hoboken, NJ. 2004.
3. Ground freezing – Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ground\\_freezing](https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_freezing) (date of access: 13.05.2024).
4. Klein, J. FAQs for Brine Freezing of Shafts. <https://mail.geoengineer.org/education/ground-improvement/ground-freezing/brine-freezing-of-shafts-faqs> (date of access: 13.05.2024).

Scientific supervisor: Ph.D., Senior Lecturer Olena Han