

Пневматична опалубка: досвід і перспективи застосування

Даниїл Прокопенко, аспірант¹ (ORCID: 0000-0001-6085-2032),
Ганна Шпакова, проф., д-р екон. наук¹ (ORCID: 0000-0003-2124-0815)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

У статті проаналізовано досвід та розглянуто перспективи застосування технології пневматичної опалубки у сучасному будівництві. Описано принцип дії та конструктивні особливості мембранних систем, їхні переваги й обмеження. Проаналізовано сфери використання як у підземному будівництві, так і в надземних архітектурних об'єктах. Показано, що розвиток технології пов'язаний із використанням нових полімерних матеріалів та цифрового моделювання, що відкриває нові можливості для формування складних просторових конструкцій.

Ключові слова: пневматична опалубка, гнучкі мембрани, будівництво підземних об'єктів, Binishells.

1. ВСТУП

Сучасне будівництво потребує інноваційних технологій, які забезпечують швидкість, економічність та високу якість новобудов. Одним із перспективних рішень є застосування технології пневматичної опалубки.

Головною особливістю цієї технології є використання оболонки куполоподібної форми, виготовленої з міцної мембрани, яка виконує роль опалубки для бетону. Цю мембрану наповнюють повітрям під високим тиском за допомогою компресорів і підтримують у заданій формі впродовж усього технологічного процесу до моменту схоплення бетонної суміші [1].

На відміну від традиційних щитових систем, пневматична опалубка мінімізує кількість монтажних елементів, скорочує терміни будівництва та дає змогу створювати монолітні конструкції різноманітних форм.

2. МЕТА РОБОТИ

Проаналізувати потенціал застосування пневматичної опалубки в сучасному будівництві та визначити її переваги, обмеження й перспективи розвитку в умовах зростання технічних можливостей і соціальних викликів.

3. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ

Технологія пневматичної опалубки полягає у використанні спеціальної оболонки – мембрани. Така мембрана виготовлена з синтетичних волокон, зокрема поліестеру та нейлону, або подібних за характеристиками матеріалів, здатних витримувати значний тиск повітря. Її надувають повітрям та підтримують у проектній формі за допомогою компресорів до моменту схоплення бетонної суміші, нанесеної на мембрану. Після набору міцності бетону оболонку демонтують і, за потреби, використовують повторно. Такий підхід значно скорочує час монтажу та кількість допоміжних конструктивних елементів порівняно з традиційними щитовими системами.

4. ЗАСТОСУВАННЯ ПНЕВМОПАЛУБКИ

Сфера застосування пневматичної опалубки є надзвичайно широкою, оскільки ця технологія поєднує універсальність та адаптивність. Вона може використовуватися як у підземному будівництві для створення транспортних і захисних споруд, так і в надземному — для архітектурних експериментів, громадських об'єктів та екологічних інфраструктурних рішень. У кожному випадку ключовою перевагою є здатність швидко формувати складні криволінійні конструкції без застосування традиційних громіздких форм.

4.1. Підземне будівництво.

Пневматична опалубка є інноваційною технологією, яка може бути застосована для зведення широкого спектра підземних споруд. Ось деякі приклади підземних споруд, де можна ефективно застосовувати пневматичну опалубку

Тунелі метро. Тунелі метрополітену є одним із найбільш складних і відповідальних об'єктів підземного будівництва. Ця технологія дозволить за менший проміжок часу зводити більше кілометрів тунелів метро на невеликих глибинах [2].

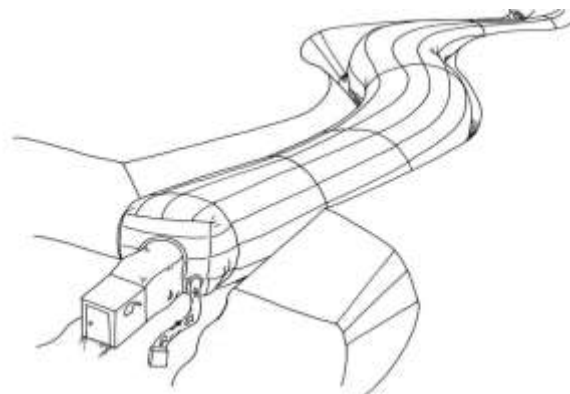


Рисунок 1. Ескіз використання пневматичної опалубки для зведення тунельних споруд

Автотунелі. Пневматична опалубка також може бути використана для будівництва автотунелів, що є важливою

частиною сучасної транспортної інфраструктури. Пневматична опалубка забезпечує швидкий процес монтажу та дозволяє досягати необхідної міцності і довговічності тунелів.

Крім того, пневматична опалубка може бути застосована для зведення різноманітних підземних об'єктів, таких як підземні паркінги, водопровідні та каналізаційні тунелі, підземні електростанції та інші елементи критичної інфраструктури, що потребують додаткового захисту [2].

4.2. Надземне будівництво.

Пневматичні системи дають змогу створювати складні просторові форми, що раніше потребували значних витрат часу та матеріалів. Відомим прикладом є концепція *Binishells*, розроблена італійським архітектором Данте Біні, де купольні споруди формувалися шляхом надування мембрани та подальшого бетонування [3].

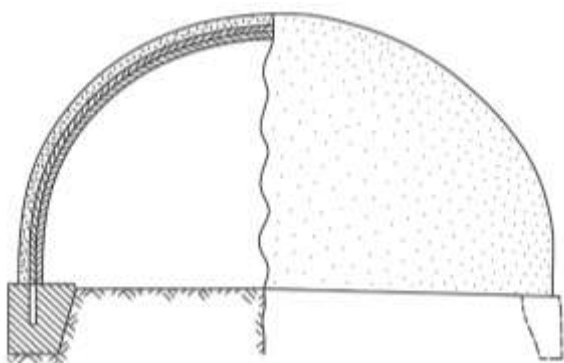


Рисунок 2. Ескіз будинку збудованого за допомогою технології пневматичної опалубки.

У сучасній практиці приклади застосування можна знайти й у спеціальних *інфраструктурних проектах*. Так, у 2016 році в Австрії на залізничній лінії *Koralmbahn* з метою збереження екологічного паритету між людиною та природним середовищем було зведено міст-перехід [4].

Дахи й оболонки великого прольоту. У Німеччині та Австрії застосовували пневматичні форми для створення тонких бетонних оболонок дахів і павільйонів. Зокрема, Schlaich & Sobek (1986) реалізували купольні покрівлі з ребрами жорсткості, сформованими під час надування форми [4].

5. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ТЕХНОЛОГІЇ

Як і будь-яке інноваційне рішення, технологія пневматичної опалубки має не лише очевидні переваги, але й певні обмеження, які необхідно враховувати при її впровадженні у практику будівництва.

Переваги:

- скорочення термінів будівництва;
- зниження матеріальних та трудових витрат;
- можливість повторного використання мембрани;
- архітектурна свобода у створенні криволінійних форм;
- енергоефективність завдяки меншій витраті ресурсів.

Недоліки:

- потреба у точному контролі тиску всередині оболонки;
- ризик пошкодження мембрани під час монтажу;
- обмеження при роботі у складних геологічних умовах;
- недостатня кількість нормативної бази для масового впровадження.

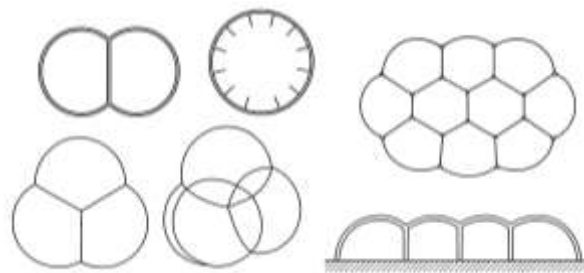


Рисунок 3. Ескізи можливих форм пневматичної опалубки

6. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Подальший розвиток технології пов'язаний із використанням нових полімерних матеріалів для виготовлення мембран, впровадженням цифрового моделювання для точного прогнозування форми, а також інтеграцією енергоефективних рішень. Поєднання пневматичної опалубки з армованими композитами та 3D-друком бетону може відкрити новий етап у розвитку будівництва складних споруд.

7. ВИСНОВКИ

Технологія пневматичної опалубки є перспективним напрямом сучасного будівництва, що поєднує швидкість, економічність та архітектурну гнучкість. Вона знаходить застосування як у підземних інфраструктурних об'єктах, так і в надземних архітектурних конструкціях. Приклади світової практики, такі як міст-перехід у Австрії чи купольні системи *Binishells*, підтверджують ефективність і багатofункціональність цього методу. Подальший розвиток і вдосконалення технології здатні зробити пневматичну опалубку одним із провідних інструментів сучасного будівництва.

Список літератури

- [1] Shpakova H., Prokopenko D. Shallow tunnel construction technology using pneumatic formwork. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2024. Т. 1, № 53. С. 103–110. URL: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(1\).103-110](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(1).103-110).
- [2] Shpakova H., Prokopenko D. Pneumatic Formwork as an Effective Method for Constructing Underground Structures. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2024. Т. 3, № 53. С. 308–317. URL: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(3\).308-317](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(3).308-317).
- [3] Kromoser B., Huber P. Pneumatic Formwork Systems in Structural Engineering. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016. Т. 2016. С. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1155/2016/4724036>.
- [4] Flexible formwork technologies - a state of the art review / W. J. Hawkins та ін. *Structural Concrete*. 2016. Т. 17, № 6. С. 911–935. URL: <https://doi.org/10.1002/suco.201600117>.