
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 624. 012.45; 624.131.5; 624.21; 69.059.3;
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.56>

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТЕХНОЛОГІЮ ЗВЕДЕННЯ ПІДЗЕМНИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ГРАВІТАЦІЙНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Галенко Є. О. – аспірант

Київського національного університету будівництва та архітектури

ORCID ID: 0000-0001-9306-658X

Махия О. М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних технологій

Київського національного університету будівництва та архітектури

ORCID ID: 0000-0001-7167-2857

У статті презентовано результати дослідження технології гравітаційного видавлювання армобетонних конструкцій, орієнтованої на зведення підземних залізобетонних конструкцій у складних гідрогеологічних умовах. Запропонована технологія синтезує переваги методів «стіна в ґрунті» та «ковзної опалубки», що дозволить покращити якість монолітних конструкцій у порівнянні із методом «стіна в ґрунті» та підвищити їхні гідроізоляційні властивості. Це вказує на широкі перспективи застосування даної технології для зведення шлюзів, насосних станцій, берегозахисних стін і фундаментів у зонах ризику підтоплення.

В процесі дослідження були проаналізовані групи факторів, що впливають на технологію гравітаційного видавлювання армобетонних конструкцій, а саме: фактори конструктивних рішень конструкцій, фактори зовнішнього середовища, фактори конструктивних рішень опалубної системи, фактори фізико-механічних властивостей бетонної суміші, технологічні, організаційні, економічні й організаційні фактори та фактори аварійних ситуацій. Була виконана попередня оцінка 54 факторів впливу методом ранжування. Ранжування факторів було здійснено по десятковим безрозмірним шкалам «Важливість» і «Бажаність». При цьому шкала «Важливість» передбачала оцінку фактору за ступенем його критичності, тобто, наскільки його значення впливає на можливість функціонування технології зведення конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Шкала «Бажаність» передбачала оцінку фактору за ступенем його необхідності, тобто, наскільки його значення впливає на ефективність і доцільність технології зведення конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Було виявлено 16 основних факторів, що впливають на технологію зведення підземних армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання. В подальшому на основі аналізу науково-технічних джерел щодо досвіду застосування методу «стіна в ґрунті» та методу зведення конструкцій у ковзній опалубці були виявлені інтервали змін 16 основних факторів впливу на технологію гравітаційного видавлювання.

Отримані результати можуть бути використані при подальшому дослідженні і удосконаленні технології виготовлення підземних армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання.

Ключові слова: технологія гравітаційного видавлювання, армобетонні конструкції, залізобетонні конструкції, монолітне будівництво, гідротехнічні споруди, підземні споруди, метод «стіна в ґрунті», ковзна опалубка, фактори впливу, глинистий розчин, бетонування.

Halenko Ye. O., Makhynia O. M. Research on factors influencing the technology of underground structure construction using the gravitational extrusion method

The article presents the results of a study on the technology of gravitational extrusion of reinforced concrete structures, designed for the construction of underground reinforced concrete structures in challenging hydrogeological conditions. The proposed technology synthesizes the advantages of the diaphragm wall and slip form methods, which will improve the quality of monolithic structures compared to the diaphragm wall method and enhance their waterproofing properties. This highlights the broad prospects for applying this technology in the construction of locks, pumping stations, shoreline protection walls, and foundations in flood-prone areas.

The study analyzed groups of factors influencing the technology of gravitational extrusion of reinforced concrete structures, namely: factors of structural design solutions, environmental factors, factors of formwork system design, factors of the physical and mechanical properties of concrete mix, as well as technological, organizational, economic, and emergency-related factors. A preliminary assessment of 54 influencing factors was conducted using a ranking method. The ranking of factors was carried out based on decimal dimensionless scales of "Importance" and "Desirability." The "Importance" scale assessed factors based on their criticality, i.e., the extent to which their values affect the feasibility of using the gravitational extrusion construction method. The "Desirability" scale assessed factors based on their necessity, i.e., the extent to which their values influence the efficiency and feasibility of the gravitational extrusion construction method.

As a result, 16 key factors affecting the construction of underground reinforced concrete structures using gravitational extrusion were identified. Subsequently, based on an analysis of scientific and technical sources on the application experience of the diaphragm wall method and the slip form construction method, the variation ranges of the 16 key influencing factors on the gravitational extrusion technology were determined.

The obtained results can be used for further research and improvement of the technology for constructing underground reinforced concrete structures using gravitational extrusion.

Key words: gravitational extrusion technology, reinforced concrete structures, monolithic construction, hydraulic structures, underground structures, diaphragm wall method, slip form, influencing factors, clay slurry, concreting.

Вступ. Технологія гравітаційного видавлювання армобетонних конструкцій – це метод улаштування монолітних залізобетонних конструкцій підземних споруд шляхом безперервного бетонування конструкції у нерухомій модульній формі на рівні землі з поступовим її опусканням під дією власної ваги у попередньо викопану траншею, де вона закріплюється у проектному положенні. Метод гравітаційного видавлювання за своєю суттю відтворює принцип, описаний у патенті, що стосується способу зведення монолітної будівельної конструкції (рис. 1) [1, с. 2].

Спосіб зведення монолітної будівельної конструкції (3), що передбачає встановлення риштовання (2), монтаж опалубки (4) та гальмівного пристрою на ньому, приєднання днища (5) до нижнього краю опалубки (4), встановлення в опалубці (4) арматурного каркаса (10), укладання бетонної суміші (11) з подальшим витриманням до її затужавіння, після чого затужавілу бетонну суміш (12) разом із арматурним каркасом (10) опускають за допомогою гальмівного пристрою. Відмінністю цього способу є те, що опалубку (4) встановлюють по всьому фронту будівельної конструкції (3) на рівні її верхнього краю, який знаходиться вище проектної відмітки (9). Арматурний каркас (10) закріплюють на тязі (6) гальмівного пристрою, а укладання бетонної суміші (11) виконують ярусами (12) вздовж усього фронту опалубки (4), одночасно здійснюючи нарізання арматурного каркаса (10). Днище (5) відокремлюють від затужавілого бетону, після чого будівельну конструкцію (3) опускають таким чином, щоб рівень верхнього краю її

затужавілого ярусу (12) збігався з рівнем нижнього краю опалубки (4), доки будівельна конструкція (3) не досягне проєктної відмітки (9) [1, ст. 1–2].

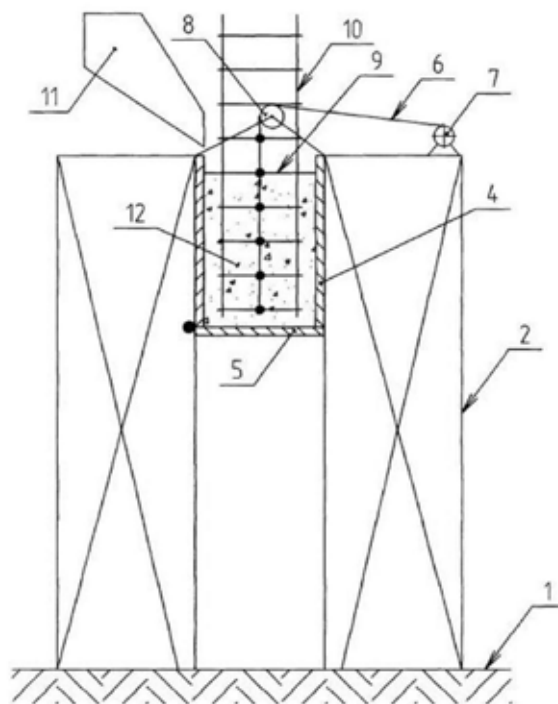


Рис. 1. Принципова схема способу зведення монолітної будівельної конструкції

В обох випадках використовується модульна форма, де бетонна суміш неперервно укладається ярусами в конструкцію, а потім поступово опускається у проєктне положення під дією власної ваги. Паралельно із укладанням бетонної суміші виконується монтаж арматурного каркасу та встановлення закладних деталей.

Технологія гравітаційного видавлювання армобетонних конструкцій складається з наступних основних операцій. Спочатку викопують піонерну траншею, виготовляють форшахту (верхнє кріплення стінок траншеї) і елементи настилу для розміщення опалубної системи гравітаційного видавлювання. Далі викопується траншея на проєктну глибину в середовищі глинистого розчину, який запобігає руйнуванню стінок траншеї в процесі виконання робіт. Після викопування траншеї, виконується монтаж опалубної системи гравітаційного видавлювання. Потім встановлюється і фіксується опорна балка, яка підвішується до системи опускання конструкції. Виконують встановлення арматурного каркасу, укладають і ущільнюють бетонну суміш першого ярусу конструкції. Після набирання бетоном потрібної міцності, знімають тимчасові фіксатори опорної балки і починають поступово опускати конструкцію до траншеї. Одночасно із опусканням готової частини конструкції до траншеї виконують підろщування арматурного каркасу і безперервне бетонування конструкції до її проєктного розміру. Після досягнення проєктного рівня конструкції у нижню частину траншеї через ін'єкційну трубу під тиском подається дрібнозернистий бетон для формування бетонної підготовки, яка додатково фіксує

споруди в ґрунті. Після демонтажу опалубної системи виконують заповнення порожнин між стінками траншеї і готовою армобетонною конструкцією.

Запропонована система гравітаційного видавлювання, на відміну від запатентованого способу зведення монолітної будівельної конструкції, передбачає опускання конструкції до траншеї, де вона фіксується у проєктному положенні. Замість гальмівного пристрою задіяна опорна балка, підвішена на системі опускання, для плавного опускання конструкції під дією її власної ваги.

Методи дослідження. В процесі дослідження було розглянуто 54 фактори впливу на технологію влаштування армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Фактори впливу були розділені на наступні групи: фактори конструктивних рішень конструкцій, фактори зовнішнього середовища, фактори конструктивних рішень опалубної системи, фактори фізико-механічних властивостей бетонної суміші, технологічні, організаційні, економічні й організаційні фактори та фактори аварійних ситуацій (табл. 1).

На основі методу експертних оцінок [2, ст. 4–5], зокрема методу ранжування і безпосередньої оцінки, було проведено попереднє оцінювання впливу кожного фактору на технологію зведення армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Ранжування факторів було здійснено по десятковим безрозмірним шкалам «Важливість» і «Бажаність». При цьому шкала «Важливість» передбачала оцінювання факторів за ступенем їх критичності, тобто, наскільки їх значення впливає на можливість функціонування технології зведення конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Шкала «Бажаність» передбачала оцінку факторів за ступенем їх необхідності, тобто, наскільки їх значення впливає на ефективність і доцільність технології зведення конструкцій методом гравітаційного видавлювання. В подальшому на основі аналізу науково-технічних джерел і досвіду застосування технологій зведення підземних конструкцій методом «стіна в ґрунті» і зведення конструкцій у ковзній опалубці було виконано ранжування кожного фактору за шкалою «Важливість» і «Бажаність».

На основі отриманих результатів була побудована матриця розподілу факторів впливу на технологію виготовлення армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання (рис. 2). В результаті було виявлено найбільш впливові фактори на технологію зведення конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Вони розташовані у верхньому правому квадраті матриці, що виділений сірим кольором (рис. 2).

Основна частина. На наступному етапі дослідження було більш детально проаналізовано кожен із виявлених факторів, що мають найбільший вплив на технологію зведення конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Аналіз виконувався на основі досвіду застосування методу «стіна в ґрунті» і методу зведення конструкцій у ковзній опалубці.

x_{11} – Товщина конструкції. При виготовленні монолітних конструкцій методом «стіна в ґрунті» товщина конструкції знаходиться в межах від 0,6 до 1,5 м [3, ст. 105], а при застосуванні ковзної опалубки в межах від 0,12 до 0,8 м [4, ст. 432]. У випадку зведення підземної конструкції збільшення її товщини збільшує просторову жорсткість споруди. При цьому збільшення товщини конструкцій, що зведені методом «стіна в ґрунті», виникає за рахунок того, що бетонна суміш укладається в розпір зі стінками траншеї. Для методу гравітаційного видавлювання, де можливий контроль товщини конструкції, оптимальною товщиною може бути інтервал від 0,4 до 0,8 м, що забезпечить необхідну жорсткість споруди та зменшить матеріалоемність конструкції.

Таблиця 1

Загальний перелік розглянутих факторів впливу на технологію виготовлення армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання

Фактори конструктивних рішень конструкції гравітаційного видавлювання X₁₁ – Товщина конструкції. X₁₂ – Висота конструкції. X₁₃ – Довжина конструкції. X₁₄ – Спосіб армування конструкції. X₁₅ – Діаметр арматурних стержнів. X₁₆ – Крок арматурних стержнів. X₁₇ – Клас бетону. X₁₈ – Розміщення і складність закладних деталей.	Фактори конструктивних рішень опалубної системи X₂₁ – Розмір опалубних щитів. X₂₂ – Матеріал палуби (пластик, метал, дерево тощо). X₂₃ – Нахил опалубних щитів до поверхні конструкції. X₂₄ – Жорсткість опалубної системи. X₂₅ – Дефекти виготовлення палуби. X₂₆ – Пористість матеріалу палуби. X₂₇ – Шорсткість покриття палуби. X₂₈ – Маса системи гравітаційного видавлювання. X₂₉ – Точність виготовлення елементів опалубки.
Фактори зовнішнього середовища X₃₁ – Ширина траншеї. X₃₂ – Довжина захватки траншеї. X₃₃ – Глибина траншеї. X₃₄ – Температура зовнішнього повітря. X₃₅ – Температура прохідницького (глинистого) розчину. X₃₆ – Вологість зовнішнього повітря. X₃₇ – Тиск вітру. X₃₈ – Фізико-механічні властивості ґрунтів. X₃₉ – Однорідність ґрунтів. X_{3,10} – Густина прохідницького (глинистого) розчину. X_{3,11} – Реологічні властивості прохідницького розчину. X_{3,12} – Гідростатичний тиск ґрунтових вод.	Фактори фізико-хімічних властивостей бетонної суміші для конструкції гравітаційного видавлювання X₄₁ – Марка і активність цементу. X₄₂ – Гранулометричний склад заповнювачів. X₄₃ – Форма зерен заповнювачів. X₄₄ – Спосіб замішування бетонної суміші. X₄₅ – Властивості домішок. X₄₆ – Температура бетонної суміші під час укладання. X₄₇ – Густина бетонної суміші.
Технологічні фактори X₅₁ – Спосіб подавання арматурних елементів конструкції. X₅₂ – Спосіб влаштування арматурних елементів. X₅₃ – Товщина шару бетонної суміші, що укладається. X₅₄ – Спосіб укладання бетонної суміші. X₅₅ – Інтенсивність укладання бетонної суміші. X₅₆ – Спосіб ущільнення бетонної суміші. X₅₇ – Ущільнення бетонної суміші. X₅₈ – Спосіб підвищування конструкції виготовленої шляхом гравітаційного видавлювання. X₅₉ – Діаметр і форма елементів підвищування армовидавлювальної конструкції до опалубної системи. X_{5,10} – Крок елементів підвищування конструкції виготовленої шляхом гравітаційного видавлювання.	Фактори аварійних ситуацій X₆₁ – Удари, які виникають при укладанні бетонної суміші. X₆₂ – Удари, які виникають при монтажі арматури. X₆₃ – Зносостійкість опалубної системи. X₆₄ – Несправність системи опускання конструкції.
Організаційні фактори X₇₁ – Концентрація людей, що розміщується на системі виготовлення армобетонних конструкцій. X₇₂ – Концентрація матеріалів, що розміщується на системі виготовлення армобетонних конструкцій. X₇₃ – Концентрація механізмів і обладнання, що розміщується на системі виготовлення армобетонних конструкцій.	Економічні фактори X₈₁ – Собівартість армобетонних конструкцій.

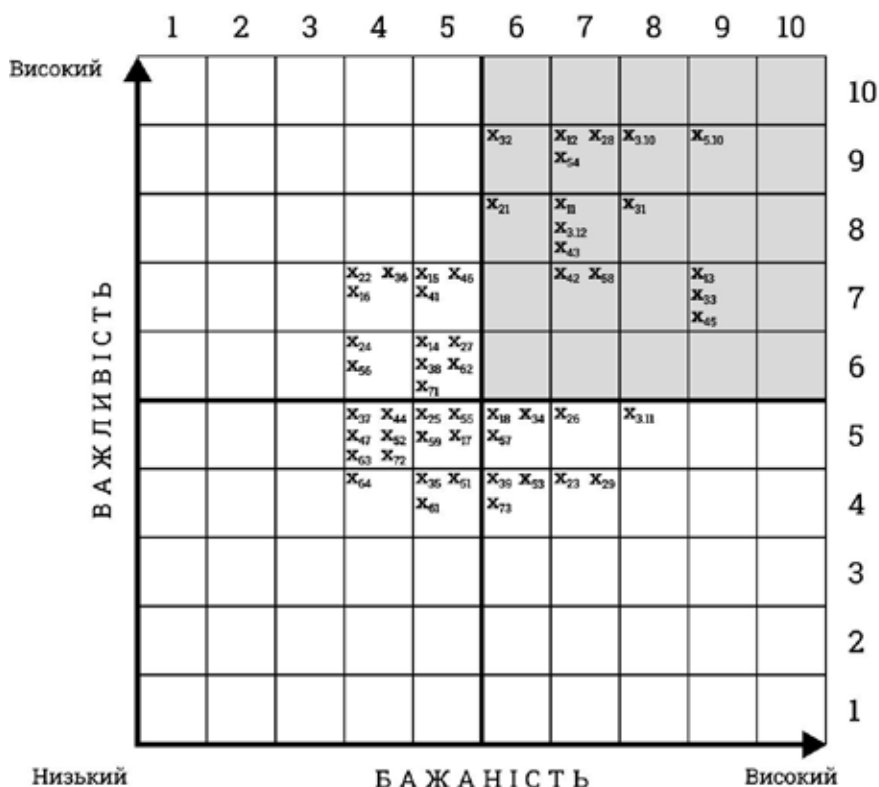


Рис. 2. Матриця розподілу факторів впливу на технологію виготовлення армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання

x_{12} – Висота конструкції. Зазвичай висота монолітної стінової конструкції, що зведена методом «стіна в ґрунті» може коливатись в межах від 8 до 30 м, в окремих випадках вона досягає 50 м [3, с. 108]. Висота монолітної стінової конструкції, що зведена у ковзній опалубці, може коливатись в межах від 20 до 100 м, а для окремих висотних об'єктів і до 150 м [4, с. 436]. Для методу гравітаційного видавлювання оптимальний діапазон висоти конструкції може бути розглянутий в межах від 10 до 50 м.

x_{13} – Довжина конструкції. У методі «стіна в ґрунті» довжина одного сегмента зазвичай становить від 5 до 10 м [3, с. 111], що дозволяє зберігати керованість процесу на великих глибинах. Для масштабних гідротехнічних об'єктів (греблі чи протифільтраційні споруди) загальна довжина конструкції може сягати кількох кілометрів. У ковзній опалубці поділ на окремі вертикальні сегменти (5–10 м) [4, с. 440] допомагає контролювати якість бетонування, тоді як загальна довжина може перевищувати сотні метрів завдяки об'єднаному масиву опалубних листів. Унаслідок цього оптимальний діапазон довжини сегментів для гравітаційного видавлювання може бути розглянутий в межах від 5 до 10 м.

x_{21} – Розмір опалубних щитів. Згідно ряду досліджень [5, с. 321–323] [6, с. 167], щити висотою 2 м дають змогу скоротити тривалість зведення стін приблизно на 28% у порівнянні зі щитами висотою в 1 м, попри зростання витрат

на виготовлення та переміщення більших елементів. Збільшення висоти щитів зменшує собівартість їх монтажу до 17% за рахунок зменшення кількості стиків. Для методу гравітаційного видавлювання оптимальний діапазон висоти щитів доцільно розглянути в межах від 1,5 до 2 м.

x₂₈ – Маса системи гравітаційного видавлювання. Загальна маса комплексу ковзної опалубки зазвичай становить 550...900 кг на 1 погонний метр стіни [7, с. 35].

x₃₁ – Ширина траншеї. При влаштуванні підземних конструкцій методом «стіна в ґрунті» ширина траншеї коливається від 0,6 до 1,5 м [8, с. 60–106]. Цей інтервал доцільно розглянути і в технології гравітаційного видавлювання.

x₃₂ – Довжина захватки. При влаштуванні підземних конструкцій методом «стіна в ґрунті» мінімальна довжина захватки (близько 2 м) забезпечує базову стійкість стінок траншеї і дає змогу уникнути зсувів під час шахової розробки. Для глибоких траншей в умовах слабких ґрунтів доцільно збільшувати мінімальний розмір до 2,5–3 м. Максимальний розмір окремої захватки може досягати 8...10 м [9, с. 730–732]. При застосуванні методу гравітаційного видавлювання довжина захватки бетонування повинна бути якомога більшою, так як зменшення розміру захватки веде до збільшення вертикальних швів, що в свою чергу погіршує гідроізоляційні властивості конструкції. Тому доцільно розглядати захватки від 8 м.

x₃₃ – Глибина траншеї. Глибина траншеї при влаштуванні конструкцій методом «стіна в ґрунті» може змінюватись у діапазоні від 10 м до 50 м [10, с. 312–314].

x_{3,10} – Густина прохідницького (глинистого) розчину. В методі «стіна в ґрунті» густина глинистого розчину може коливатись в межах від 1,03 до 1,10 т/м³, що забезпечує належний гідростатичний тиск для середніх глибин (близько 15–20 м) і достатньо захищає від обвалів. У разі складних ґрунтових умов чи великих глибин доцільно збільшити густину до 1,15 т/м³ і вище. Для гравітаційного видавлювання збільшення густини розчину додатково зменшує монтажну вагу зануреної конструкції завдяки дії архімедової сили. Так математичне моделювання виявило, що при густині глинистого розчину до 1,5 т/м³ монтажна вага конструкції зменшується до 37% у порівнянні із вагою конструкції, що не занурюється в середовище глинистого розчину [11, с. 77–85]. Тому, при опусканні до траншеї готової конструкції, що виготовлена методом гравітаційного видавлювання, бажано, щоб густина глинистого розчину була якомога більшою.

x_{3,12} – Гідростатичний тиск ґрунтових вод. Для глибин до 15 м оптимальним вважають тиск у межах 0,7–1,2 кг/см², що приблизно відповідає 7–12-метровому стовпу води [12, с. 141–142].

x₄₂ – Гранулометричний склад заповнювачів. За оптимального співвідношення фракцій (0,3...10 мм) зменшується кількість пор, що поліпшує щільність і знижує водоцементний коефіцієнт. Для методу «стіна в ґрунті» це означає більш плавне заливання у вузькі шви, скорочення загального часу бетонування (зменшення з 2,5 до 1,5 год. на 1 м³), а також зниження на 10–15% витрат цементу завдяки ефективнішому ущільненню суміші. У ковзній опалубці збалансований підбір фракцій дозволяє уникнути «шлікеру» при надмірі дрібних частинок (<0,3 мм), водночас зберігаючи достатню плинність для швидкої подачі матеріалу. Надлишок найдрібніших зерен (понад 20% фракції <0,5 мм) може прискорити час виготовлення на 30%, однак призводить до втрат міцності (до 20 МПа проти 25 МПа за оптимального складу). Тож рекомендований діапазон крупного наповнювача (6–10 мм) у межах 50%, середніх фракцій (1–6 мм) – 40–45%, а дрібних

(<1 мм) – не більше 10%. Це дозволяє досягти міцності в інтервалі 26–28 МПа та скоротити час формування конструкцій приблизно на 15–20% [13, с. 244–246].

х43 – Форма зерен заповнювачів. Округлі зерна знижують тертя між частинками, що поліпшує плинність суміші, пришвидшує заливання (зростання продуктивності на 20–40%) і забезпечує пласку поверхню готової конструкції. Водночас їх застосування може зменшити загальну міцність на 10–15%. Гострокутні зерна мають більшу площу контакту та кращу адгезію з цементною матрицею, тому підвищують міцність конструкції (на 10–20%), проте ускладнюють подачу розчину через підвищений коефіцієнт тертя й можуть призвести до нерівномірного ущільнення, особливо у вертикальних траншеях [14, с. 109–110].

Для методу «стіна в ґрунті» округлі зерна пришвидшують вертикальне заливання, скорочуючи тривалість укладання з 8–10 до 5–7 хв/м³, але їхнє застосування знижує міцність на 6–10 МПа порівняно з гострокутними фракціями. У ковзній опалубці гострокутні зерна на 5–10% підвищують ризик дефектів на поверхні під час опускання (через різницю в ущільненні), однак збільшують загальну несучу здатність на 4–6 МПа (рис. 3). Тому в конструкціях, виготовлених методом гравітаційного видавлювання, можливе застосування комбінованого підходу: основу й перші шари формують із суміші з переважанням округлих зерен для кращої плинності, тоді як фінішний шар виконується з додаванням 30–40% гострокутної фракції для підвищення міцності.

х45 – Властивості домішок. Застосування суперпластифікаторів на основі сульфованих нафталінформальдегідних сполук з дозуванням 0,5–0,7% від маси цементу дозволяє підвищити рухливість бетонної суміші до 18–25 см, що зменшує витрати цементу приблизно на 15%. Для прискорення процесу тужавіння додатково використовують комбіновані домішки, у складі яких передбачені каталізатори гідратації, що здатні скорочувати початок схоплювання з 6–8 годин до 3–4 годин [15, с. 167–187].

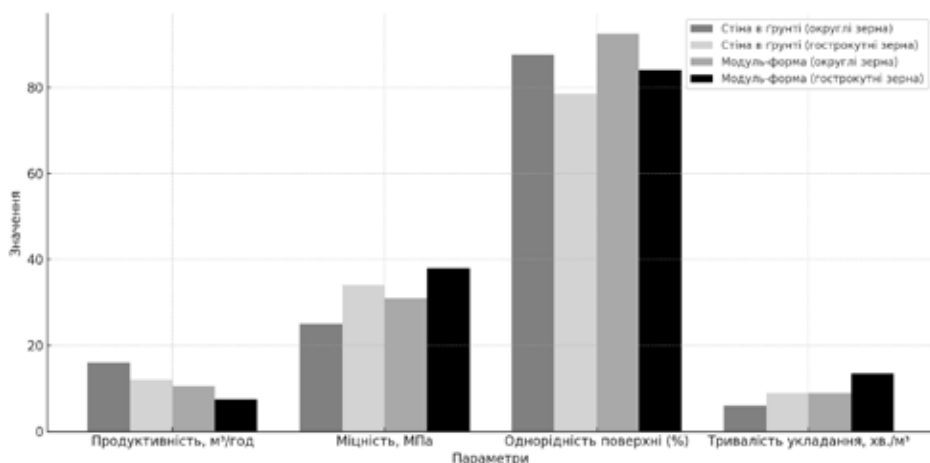


Рис. 3. Порівняння впливу форми зерен заповнювача на технології «стіна в ґрунті» та ковзна опалубка

У методі «стіна в ґрунті» така стратегія сприяє швидкій стабілізації стін і можливості проводити наступні етапи будівництва раніше, ніж зазвичай. У ковзній

опалубці прискорювачі дають змогу раніше звільняти опалубку, прискорювати підйом і знижувати загальні трудовитрати. Наприклад, при дозуванні комбінованих домішок 0,8–1,2% від маси цементу відзначається збільшення міцності на стиск до 10% на першу добу тверднення, що дає змогу зменшити загальний цикл виготовлення конструкції приблизно на 20–25%.

Водночас використання значних доз прискорювачів потребує ретельного контролю вологості та температури бетону, щоб уникнути небажаних тріщин і надмірного тепловиділення.

x₅₄ – Спосіб укладання бетонної суміші. Застосування бетононасосів зазвичай забезпечує продуктивність 20–30 м³/год і точність розподілу, що важливо для контрольованого формування армобетонних конструкцій. Попри вищу вартість (близько 500 грн/м³), цей метод дає змогу знизити трудомісткість і пришвидшує заливання складних форм. Кран із баддею (10–15 м³/год) є дешевшим (400–450 грн/м³), проте залежить від операторських навичок, а нерівномірне заповнення може знижувати однорідність конструкції [16, с. 8–12]. Використання конвеєрних систем забезпечує прийнятний баланс між продуктивністю (15–20 м³/год) і рівномірністю транспортування, але має обмеження за довжиною та ризик розшарування суміші. Для конструкцій, що виготовляються шляхом гравітаційного видавлювання доцільно використовувати бетононасоси та рідше конвеєри, що забезпечують рівномірний потік і якісне укладання.

x₅₈ – Спосіб підвішування конструкцій виготовлених шляхом гравітаційного видавлювання. Тросові системи з автоматизованими лебідками дають змогу рівномірно розподіляти навантаження на конструкцію гравітаційного видавлювання й контролювати швидкість опускання, що загалом може становити до 1,0–1,5 м/хв. Їхня вантажопідйомність може сягати 20–50 т на одну лебідку і регулюється кількістю тросів [17, с. 523–524]. Такі системи потребують ретельного налаштування та регулярного обслуговування, проте вартість монтажу зазвичай не перевищує 10–15% від загального бюджету опалубки.

x_{5,10} – Крок елементів підвішування конструкцій виготовлених шляхом гравітаційного видавлювання. Крок між канатами безпосередньо впливає на рівномірність розподілу навантаження та зручність монтажу арматури й ін'єкційних труб. У середньому 1,0–2,0 м вважають оптимальним інтервалом. Зменшення кроку забезпечує кращу підтримку по всій довжині та мінімізує ризик локального провисання. Утім, надто часте розміщення канатів обмежує доступ до конструкції, ускладнюючи нарощування арматурного каркаса та прокладання ін'єкційних труб. Збільшення кроку створює більше робочого простору для монтажників, але потребує ретельніших розрахунків, аби виключити нерівномірне розподілення навантаження і уникнути деформацій у центральних секціях конструкції.

Висновки. У дослідженні було розглянуто 54 фактори впливу на технологію влаштування армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання, з яких при попередній оцінці методом ранжування було виявлено 16 факторів, що мали найбільший вплив. При подальшому дослідженні були виявлені інтервали змін факторів впливу. Отримані результати можуть бути використані для подальшого дослідження технології влаштування армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Спосіб зведення монолітної будівельної конструкції: пат. А 2011 13024 Україна : МПК E04G 11/06. № А 2011 13024; заявл. 07.11.2011; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. 4 с.

2. Прийняття рішень з використанням експертних оцінок при розв'язуванні задач в ГВС : лекція 8 / [уклад. І. Ю. Черепанська, В. А. Кирилович, А. Ю. Сазонов, Б. Б. Самотокін] ; Житомирський державний технологічний університет. Житомир : ЖДТУ, 2015. 285 с.

3. Foundation Engineering Handbook / H.-Y. Fang (ed.). New York : Wiley, 2002. 850 с. С. 102–115.

4. Concrete Construction Engineering Handbook / E. G. Nawy (ed.). Boca Raton : CRC Press, 2008. 1072 с. С. 430–445.

5. Hurd M.K. Formwork for Concrete : ACI Manual. 7th ed. Farmington Hills : American Concrete Institute, 2005. 480 с.

6. Галенко Є. О., Махия О. М. Класифікація ковзних опалубних систем. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(1). С. 157–170. Режим доступу: <http://ways.knuba.edu.ua/article/view/297567/290476>.

7. ДСТУ Б Д.2.2-1-2008. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи бетонні та залізобетонні конструкції монолітні. Збирання і розбирання опалубки (збірник 6). [чинний з 1.08.2008 р.]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 35 с.

8. Якименко О. В. Земляні роботи : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Беке-това, 2016. 168 с.

9. Bowles J.E. Foundation Analysis and Design. 5th ed. New York : McGraw-Hill, 1996. 1024 с. С. 730–732.

10. Tomlinson M.J. Foundation Design and Construction. 7th ed. London : Prentice Hall, 2001. 520 с. С. 312–314.

11. Махия О., Галенко Є. Теоретичні дослідження монтажної ваги армо-видавлювальних конструкцій. *Основи та Фундаменти / Bases and Foundations*. 2024. № 49. С. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.77-85>.

12. Kirsch K., Bell A. Ground Improvement. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2013. 414 с. С. 141–142.

13. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. London : Pearson, 2011. 832 с. С. 167–168, 244–246.

14. Mindess S., Young J.F., Darwin D. Concrete. 2nd ed. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 2015. 730 с. С. 109–110.

15. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science, and Technology. 2nd ed. Park Ridge (N.J.) : Noyes Publications, 1995. 1138 с. С. 167–187.

16. ACI Committee 304. Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete : ACI 304R-00. Farmington Hills : American Concrete Institute, 2000. 53 с. С. 8–12.

17. Rossnagel W.E., MacDonald J., Higgins L. Handbook of Rigging: Lifting, Hoisting, and Scaffolding for Construction and Industrial Operations. 4-е вид. New York : McGraw-Hill Professional, 1988. 530 с. ISBN 978-0070539419.

REFERENCES:

1. Tonkacheev G. M., Yuhov A. M., Chepelyanskyi A. Ya., Moskalienko V. I. (2011) Sposib zvedennya monolitnoi budivel'noi konstruktsiyi [Method for the erection of a monolithic building structure]: patent No. A 2011 13024 Ukraine. MPK E04G 11/06; filed 07.11.2011; published 25.12.2013, Bulletin No. 24. 4 p.

2. Cherepanska I. Yu., Kyrylovych V. A., Sazonov A. Yu., Samotokyn B. B. (2015) Pryynyattya rishen z vykorystannyam ekspertnykh otsinok pry rozv'iazuvanni zadach v HVS: lektsiya 8 [Decision making using expert evaluations in solving tasks in hot water supply systems: Lecture 8]. Zhytomyr: Zhytomyr State Technological University, 285 p.

3. Fang, H.-Y. (ed.) (2002) Foundation Engineering Handbook. New York: Wiley, 850 p. (pp. 102–115).

4. Nawy, E. G. (ed.) (2008) Concrete Construction Engineering Handbook. Boca Raton: CRC Press, 1072 p. (pp. 430–445).
 5. Hurd, M. K. (2005) Formwork for Concrete: ACI Manual. 7th ed. Farmington Hills: American Concrete Institute, 480 p.
 6. Halenko, Ye. O., Makhynya, O. M. (2023) Klasifikatsiya kovznykh opalubnykh system [Classification of sliding formwork systems]. Shliakhi pidvyshchennya efektyvnosti budivel'nictva v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn, no. 52(1), pp. 157–170. Retrieved from: <http://ways.knuba.edu.ua/article/view/297567/290476> (accessed 24 February 2025).
 7. (2008) Resursni elementni koshtorysni normy na budivel'ni robo ty betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi monolitni. Zbyrannya i rozbyrannya opalubky (zbirnyk 6): DSTU B D.2.2-1-2008 (chinnyi z 1.08.2008) [Resource element cost norms for concrete and reinforced concrete monolithic structures. Assembly and dismantling of formwork]. Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 35 p.
 8. Yakymenko O.V. (2016) Zemlyani roboty [Earthworks]. Kharkiv: Kharkiv National University of Municipal Economy of O.M. Beketov, 168 p.
 9. Bowles, J. E. (1996) Foundation Analysis and Design. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1024 p. (pp. 730–732).
 10. Tomlinson, M. J. (2001) Foundation Design and Construction. 7th ed. London: Prentice Hall, 520 p. (pp. 312–314).
 11. Makhynya, O., Halenko, Ye. (2024) Teoretychni doslidzhenya montazhnoyi vahy armovydavliuvanykh konstruktsiy [Theoretical investigations of the installation weight of reinforcing systems]. Osnovy ta Fundamenti [Bases and Foundations], no. 49, pp. 77–85. DOI: 10.32347/0475-1132.49.2024.77-85.
 12. Kirsch, K., Bell, A. (2013) Ground Improvement. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 414 p. (pp. 141–142).
 13. Neville, A. M. (2011) Properties of Concrete. 5th ed. London: Pearson, 832 p. (pp. 167–168, 244–246).
 14. Mindess, S., Young, J. F., Darwin, D. (2015) Concrete. 2nd ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 730 p. (pp. 109–110).
 15. Ramachandran, V. S. (1995) Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science, and Technology. 2nd ed. Park Ridge, N.J.: Noyes Publications, 1138 p. (pp. 167–187).
 16. ACI Committee 304. (2000) Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete: ACI 304R-00. Farmington Hills: American Concrete Institute, 53 p. (pp. 8–12).
 17. Rossnagel, W. E., MacDonald, J., Higgins, L. (1988) Handbook of Rigging: Lifting, Hoisting, and Scaffolding for Construction and Industrial Operations. 4th ed. New York: McGraw-Hill Professional, 530 p. ISBN 978-0070539419.
-