

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯDOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.73.507-519>

УДК 624.041

Галенко Євгеній Олександрович,*аспірант кафедри будівельних технологій**Київського національного університету будівництва і архітектури*halenko_yo@knuba.edu.ua<https://orcid.org/0000-0001-9309-658X>**Махиня Олександр Миколайович,***кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних технологій**Київського національного університету будівництва і архітектури*makhynia.om@knuba.edu.ua<https://orcid.org/0000-0001-7167-2857>**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
ПІДЗЕМНИХ СТІНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ
ГРАВІТАЦІЙНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ**

Анотація: у статті висвітлюються результати моделювання технологічного процесу виготовлення підземних стінових конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Технологія гравітаційного видавлювання конструкцій передбачає зведення підземних стінових залізобетонних (армобетонних) конструкцій у попередньо викопаній траншеї. При цьому сама стінова конструкція виготовляється у опалубній модуль-формі на рівні поверхні ґрунту. У процесі виготовлення, під тиском укладених шарів бетонної суміші під час безперервного бетонування, стінова конструкція поступово видавлюється з модуль-форми у попередньо викопану траншею, заповнену глинистим розчином, при цьому її опускання здійснюється під контролем опускних механізмів. Після досягнення проєктної відмітки стінова конструкція закріплюється у проєктному положенні. В процесі дослідження було розроблено модель процесу виготовлення стінової конструкції методом гравітаційного видавлювання, що охоплює технологічний процес від початку монтажу опалубної модуль-форми над попередньо влаштованою траншеєю до демонтажу модуль-форми після зведення стінової конструкції. Також було виконано аналітичне моделювання тривалості циклу виготовлення окремої секції стінової конструкції, тривалості безперервного бетонування монолітної частини

конструкції, визначення необхідної інтенсивності бетонування та врахування необхідних обмежень при виконанні робіт.

Отримані результати аналітичного дослідження дають змогу дослідити область раціонального застосування, конструктивні і технологічні параметри виготовлення стінових конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Також отримані результати можуть бути використані при проєктуванні конструкцій, технологічних рішень і обладнання для технології гравітаційного видавлювання армобетонних конструкцій підземних споруд.

Ключові слова: метод гравітаційного видавлювання; «стіна в ґрунті»; монолітні залізобетонні конструкції; технологічні параметри; інтенсивність бетонування; зведення підземної частини будинку.

Постановка проблеми. Однією з найбільш ефективних технологій зведення підземних стінових конструкцій є метод «стіна в ґрунті», що дозволяє зводити монолітні, збірні та збірно-монолітні стінові конструкції. При цьому найбільшого поширення набули монолітні конструкції, так як збірні конструкції мають обмежені розміри за рахунок транспортних габаритів та велику кількість стиків зі складною технологією їх влаштування і неможливістю контролю якості на етапі виготовлення конструкції. Застосування збірно-монолітних конструкцій за своєю технологічною складністю і вартістю практично зводить нанівець ефект від застосування збірних елементів. При цьому зведення монолітних стінових конструкцій методом «стіна в ґрунті» має свої недоліки, а саме, влаштування конструкції виконується шляхом укладання бетонної суміші на значну глибину під шаром глинистого розчину, що поступово, витісняється із траншеї. В результаті цього можливе перемішування бетонної суміші із глинистим розчином та навколишнім ґрунтом, а також налипання глини на арматурний каркас, що в свою чергу веде до значного зниження якості стінової конструкції. Усунення цих недоліків можливе шляхом застосування методу гравітаційного видавлювання [1, 2] для виготовлення підземних стінових конструкцій. Цей метод дозволяє контролювати якість виготовленої конструкції до опускання її в траншею та максимально зменшити кількість стиків між конструктивними елементами. Але ефективне застосування методу гравітаційного видавлювання потребує ґрунтовне дослідження технології та її технологічних параметрів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Метод гравітаційного видавлювання ґрунтується на методах «стіна в ґрунті» та методі виготовлення монолітних залізобетонних конструкцій у ковзних опалубних системах. Тому для дослідження технології і технологічних параметрів методу гравітаційного видавлювання були проаналізовані геотехнічні та технологічні фактори, що впливають на влаштування траншей під захистом глинистого розчину [4–7] і

конструктивні рішення і технологія застосування ковзних опалубних систем [8–9]. Також у дослідженні були використані роботи, що розглядають рецептури бетонних сумішей та методи контролю їх міцності [10–15].

Метою публікації є оприлюднення результатів дослідження технологічного процесу виготовлення стінових підземних конструкцій методом гравітаційного видавлювання.

Основна частина. Технологія гравітаційного видавлювання залізобетонних (армобетонних) конструкцій — це метод зведення монолітних залізобетонних стінових конструкцій підземних споруд у попередньо влаштованих траншеях, який полягає у поступовому видавлюванні із стаціонарної опалубної модуль-форми, що розташована на рівні поверхні ґрунту, залізобетонної конструкції до траншеї, під вагою поступово укладених шарів бетонної суміші (рис. 1) [1].

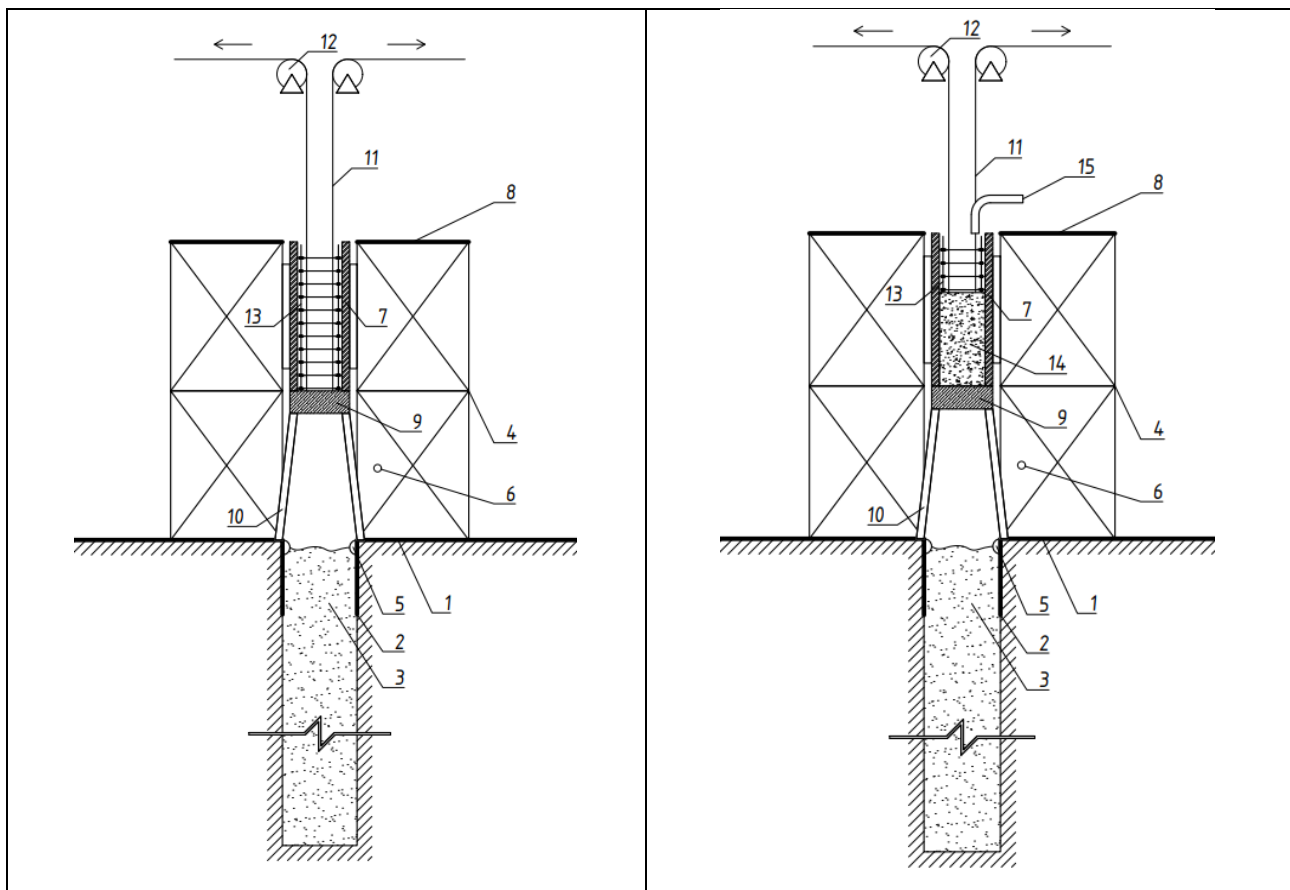


Рис. 1 Принципова схема зведення підземної стінової конструкції методом гравітаційного видавлювання.

1 – форшахта; 2 – траншея; 3 – глинистий розчин; 4 – модуль-форма системи гравітаційного видавлювання; 5 – направляючі стінової конструкції; 6 – зона для контролю якості стінової конструкції; 7 – палуба модуль форми; 8 – робочий майданчик модуль-форми; 9 – опорна балка стінової конструкції; 10 – фіксатори опорної балки; 11 – підтримувальні канати; 12 – лебідки; 13 – арматурний каркас; 14 – бетон; 15 – бетонолітна труба.

Метод гравітаційного видавлювання передбачає попереднє влаштування вузької та глибокої траншеї (поз. 2, рис. 1), що заповнюється глинистим розчином (поз. 3, рис. 1) для збереження форми, за технологією «стіна в ґрунті». Для усунення осипання ґрунту та розміщення обладнання у верхній частині траншеї і прилеглий території влаштовуються конструкції форшахти (поз. 1, рис. 1). Над траншеєю монтують опалубну модуль-форму (поз. 4, 7 і 8 рис. 1), в якій встановлюють збірну частину стінової конструкції (опорну балку), на яку повинна обпиратися монолітна частина в процесі виготовлення конструкції (поз. 9 рис. 1). Опорну балку перед опусканням фіксують у потрібному положенні (поз. 10 рис. 1). До модуль-форми опорна балка кріпиться за допомогою канатів (поз. 11 рис. 1), що з'єднані із лебідками (поз. 12 рис. 1), які забезпечують рівномірність опускання стінової конструкції. В процесі виготовлення стінової конструкції поступово підрощується арматурний каркас (поз. 13 рис. 1), а бетонна суміш укладається горизонтальним шарами (поз. 14 рис. 1) і подається через бетонолітні труби (поз. 15 рис. 1). В конструкції опалубної модуль-форми передбачається зона контролю якості (поз. 6 рис. 1), що дозволяє усунути можливі дефекти бетонування в процесі опускання стінової конструкції. Для забезпечення проєктного положення конструкції к траншеї передбачається встановлення направляючих стінової конструкції (поз. 5 рис. 1).

В процесі дослідження була розроблена модель процесу виготовлення стінової конструкції методом гравітаційного видавлювання (рис. 2), що передбачає виконання робіт з початку монтажу опалубної модуль-форми над попередньо влаштованою траншеєю, яка викопана за методом «стіна в ґрунті» до демонтажу модуль-форми після зведення стінової конструкції. Модель процесу передбачає виконання наступних операцій:

- 1) монтаж опалубної системи гравітаційного видавлювання;
- 2) стабілізація траншеї на період виконання робіт за допомогою глинистого розчину, що передбачає заміну глинистого розчину після викопування траншеї, його очищення і регенерацію;
- 3) улаштування збірної частини стінової конструкції, або опорної балки, на яку повинна обпиратися монолітна частина в процесі виготовлення конструкції;
- 4) армування конструкції, що передбачає влаштування арматурного каркасу та встановлення необхідних закладних деталей;
- 5) бетонування і поступове видавлювання конструкції до траншеї;
- 6) вистоювання бетону передбачається після влаштування першого монолітного ярусу до набирання бетоном необхідної розпалубної міцності;

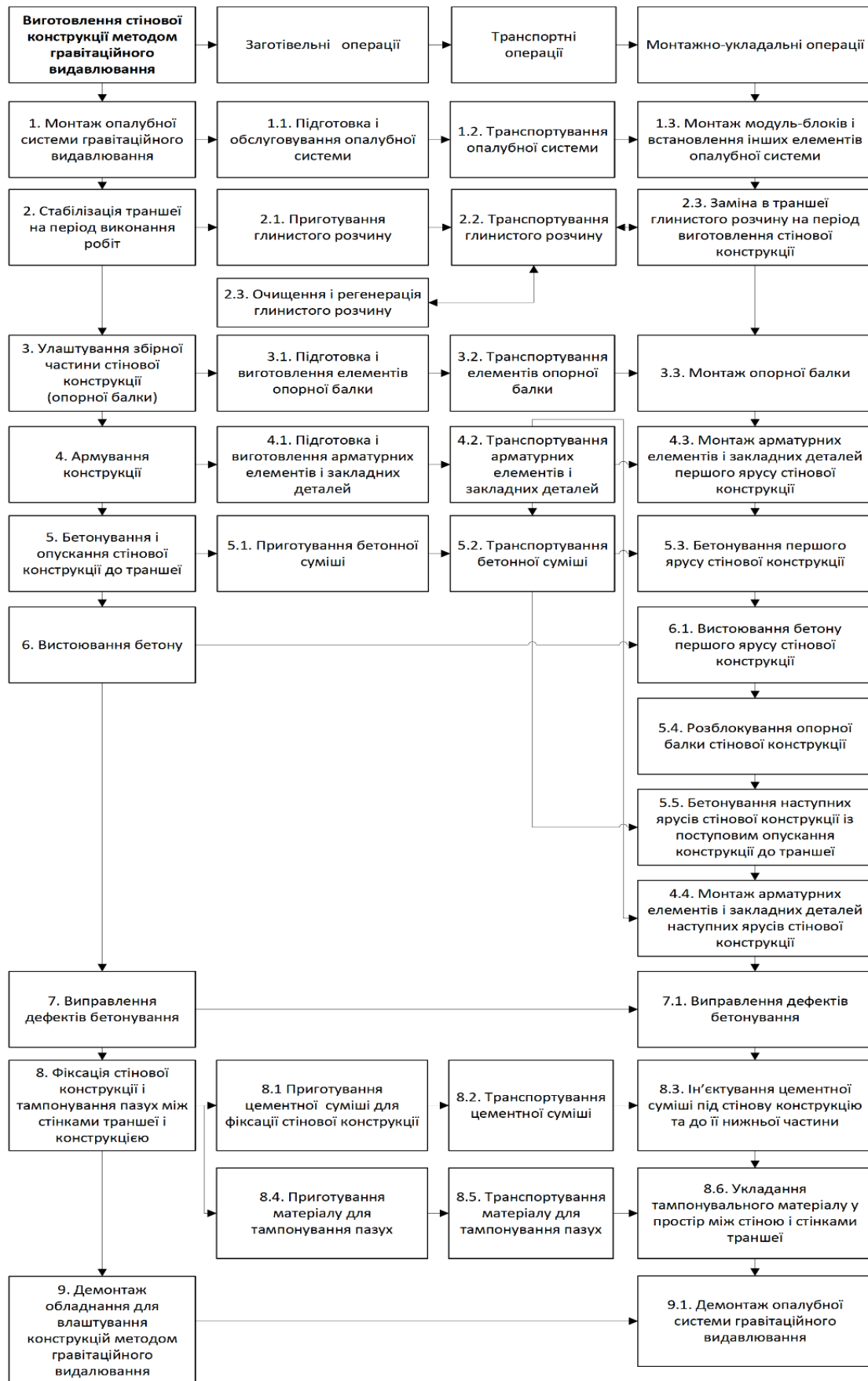


Рис. 2 Модель процесу виготовлення стінової конструкції методом гравітаційного видавлювання / розроблено у співпраці з науковим керівником О.М. Махиною

- 7) виправлення можливих дефектів бетонування стінової конструкції після видавлювання конструкції із стаціонарної опалубної модуль-форми;
- 8) фіксація стінової конструкції у проєктному положенні;
- 9) заповнення пазух між стіновою конструкцією і стінками траншеї тампонажним матеріалом;
- 10) демонтаж обладнання для влаштування підземної стінової конструкції.

В моделі був виконаний розподіл технологічних операцій на заготівельні, транспортні та монтажно-укладальні та враховано послідовність їх виконання.

Згідно наведеної моделі технологічного процесу тривалість циклу виготовлення окремої секції стінової конструкції методом гравітаційного видавлювання буде становити

$$t_{\text{ц}}^{\text{ГВ}} = t_{\text{мб}}^{\text{м}} + k_{\text{с}} t_{\text{с}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{б}} + t_{\text{п}} + t_{\text{роз}} + k_{\text{с}} t_{\text{а}} + t_{\text{т}} + t_{\text{мб}}^{\text{д}}, \quad (1)$$

де $t_{\text{мб}}^{\text{м}}$ – тривалість монтажу модуль-форм опалубної системи гравітаційного видавлювання для виготовлення секції стінової конструкції;

$t_{\text{с}}$ – тривалість виконання операцій щодо стабілізації траншеї на період виконання робіт за допомогою глинистого розчину;

$k_{\text{с}}$ – коефіцієнт суміщення виконання операцій у часі;

$t_{\text{оп}}$ – тривалість встановлення і закріплення збірної частини (опорних балок) стінової конструкції із випусками арматури;

$t_{\text{б}}$ – тривалість поступового видавлювання стінової конструкції до траншеї в процесі її безперервного бетонування, що включає в себе укладання бетонної суміші, встановлення арматурних каркасів і закладних деталей та виконання супутніх операцій;

$t_{\text{п}}$ – тривалість технологічної перерви для набирання проєктної розпалубної міцності бетоном першого ярусу стінової конструкції;

$t_{\text{роз}}$ – тривалість розблокування опорної балки стінової конструкції після досягнення бетоном розпалубної міцності;

$t_{\text{а}}$ – тривалість встановлення арматурних елементів і закладних деталей монолітної частини стінової конструкції, при цьому не враховується час на встановлення арматурних елементів і закладних деталей першого ярусу монолітної частини стінової конструкції;

$t_{\text{т}}$ – тривалість фіксації стінової конструкції і заповнення простору між стіновою конструкцією і стінками траншеї (пазух) тампонажним матеріалом;

$t_{\text{мб}}^{\text{д}}$ – тривалість демонтажу модуль-форм опалубної системи гравітаційного видавлювання для виготовлення секції стінової конструкції.

Тривалість монтажу модуль-форм опалубної системи гравітаційного видавлювання буде становити

$$t_{\text{мб}}^{\text{м}} = \sum k_{\text{с}} t_{\text{мб}i}^{\text{м}}, \quad (2)$$

де $t_{\text{мб}i}^{\text{м}}$ – тривалість виконання окремих операцій щодо підготовки, транспортування та встановлення опалубної модуль-форми.

Тривалість виконання операцій щодо стабілізації траншеї на період виконання робіт буде становити

$$t_{\text{с}} = \sum k_{\text{с}} t_{\text{с}i}, \quad (3)$$

де $t_{\text{с}i}$ – тривалість виконання окремих операцій щодо приготування, транспортування, заміни, очищення і регенерації глинистого розчину.

Тривалість встановлення і закріплення збірної частини (опорних балок) стінової конструкції із випусками арматури буде становити

$$t_{\text{оп}} = \sum k_{\text{с}} t_{\text{оп}i} + \sum k_{\text{с}} t_{\text{а}i}^1, \quad (4)$$

де $t_{\text{оп}i}$ – тривалість виконання окремих операцій щодо підготовки, транспортування та встановлення опорної балки (збірної частини) стінової конструкції;

$t_{\text{а}i}^1$ – тривалість виконання окремих операцій щодо підготовки, транспортування та встановлення арматури і закладних деталей першого ярусу монолітної частини стінової конструкції;

Тривалість встановлення арматурних елементів і закладних деталей монолітної частини стінової конструкції, без врахування арматурних елементів і закладних деталей першого ярусу монолітної частини стінової конструкції, буде становити

$$t_{\text{а}} = \sum k_{\text{с}} t_{\text{а}i}. \quad (5)$$

Тривалість поступового видавлювання стінової конструкції до траншеї в процесі її безперервного бетонування, встановлення арматурних каркасів і закладних деталей визначається провідним будівельним процесом, а саме бетонуванням стінової конструкції. Який включає в себе приймання бетонної суміші, розподілення її у модуль-формі та ущільнення. Інші процеси, а саме монтаж арматурних каркасів, встановлення закладних деталей тощо, виконуються паралельно у часі із бетонування стінової конструкції.

Тривалість безперервного бетонування стінової конструкції, при її влаштуванні методом гравітаційного видавлювання становить

$$t_6 = \frac{V_M}{I_6} + \sum t_{oi}^6, \quad (6)$$

де V_M - об'єм монолітної частини стінової конструкції, що виготовляють методом гравітаційного видавлювання;

I_6 - інтенсивність укладання бетонної суміші у модуль-форму опалубної системи гравітаційного видавлювання;

$\sum t_{oi}^6$ - сумарна тривалість організаційних перерв, що виникає внаслідок порушення ритмічності процесу виготовлення стінової конструкції, при цьому необхідно організувати так будівельний процес, що сумарна тривалість організаційних перерв прямувала до нуля, тобто

$$\sum t_{oi}^6 \rightarrow 0 \quad (7)$$

Для забезпечення монолітності конструкції і безперервності бетонування інтенсивність укладання бетонної суміші у модуль-форму опалубної системи гравітаційного видавлювання повинна відповідати наступній умові

$$I_6^{min} \leq I_6 \leq I_6^{max}, \quad (8)$$

де I_6^{min} - мінімально допустима інтенсивність укладання бетонної суміші у модуль-форму для забезпечення монолітності конструкції;

I_6^{max} - максимально допустима інтенсивність укладання бетонної суміші у модуль-форму для забезпечення безперервності бетонування конструкції.

Мінімальну інтенсивність укладання бетонної суміші у модуль-форму визначаємо із умови забезпечення монолітності стінової конструкції, тобто, кожний наступний шар бетонної суміші повинен укладатися у модуль-форму до початку тужавлення попереднього шару бетонної суміші, а саме

$$I_6^{min} = \frac{h_{ш} l_{ст} b_{ст}}{t_{п.т.} - t_{тр}}, \quad (9)$$

де $h_{ш}$ - прийнята висота шару укладання бетонної суміші до модуль-форми;

$t_{п.т.}^6$ - термін початку тужавлення бетонної суміші;

$t_{тр}^6$ - тривалість транспортування бетонної суміші від місця приготування до місця укладання.

Максимальну інтенсивність укладання бетонної суміші у модуль-форму визначаємо із умови забезпечення ковзання затверділого бетону по поверхні палуби, тобто, необхідно забезпечити таку інтенсивність бетонування, щоб в процесі переміщення бетонної суміші вздовж палуби модуль-форми вона набрала міцності, що віде до її зчеплення із матеріалом палуби, відповідно

$$I_{\text{б}}^{\text{max}} = \frac{(h_{\text{оп}} - h_{\text{ук}} - h_{\text{м}}) l_{\text{ст}} b_{\text{ст}}}{t_{\text{ков}} - t_{\text{тр}}}, \quad (10)$$

де $h_{\text{оп}}$ - висота палуби модуль-форми;

$h_{\text{ук}}$ - висота укладеного бетону попереднього ярусу до модуль-форми;

$h_{\text{м}}$ - технологічно необхідна мінімальна відстань від верхньої поверхні укладеної бетонної суміші до верхньої грані палуби;

$t_{\text{ков}}$ - термін набирання максимальної міцності бетоном при якій відсутнє зчеплення з поверхнею палуби (забезпечується ковзання), тобто 0,147...0,196 МПа [2].

Необхідно зауважити, що для забезпечення ритмічності процесу бетонування стінової конструкції методом гравітаційного видавлювання необхідно щоб виконувалась наступна умова

$$\frac{V_{\text{м}}}{I_{\text{б}}} \geq \frac{t_{\text{а}} h_{\text{ш}}}{h_{\text{ст}}} + k_{\text{с}} \sum t_{\text{деф},i}, \quad (11)$$

де $t_{\text{а}}$ - тривалість армування, що визначається за залежністю (5);

$\sum t_{\text{деф},i}$ – сумарна тривалість виправлення дефектів бетонування;

$k_{\text{с}}$ – коефіцієнт суміщення виконання операцій у часі.

І наприкінці, тривалість фіксації стінової конструкції і заповнення простору між стіновою конструкцією і стінками траншеї (пазух) тампонажним матеріалом буде становити

$$t_{\text{т}} = \sum k_{\text{с}} t_{\text{ф}i} + \sum k_{\text{с}} t_{\text{т}i}^1, \quad (12)$$

де $t_{\text{ф}i}$ – тривалість виконання окремих операцій щодо приготування, транспортування та ін'єктування цементного розчину для фіксації нижньої частини стінової конструкції у проектному положенні;

$t_{\text{т}i}^1$ - тривалість виконання окремих операцій щодо приготування, транспортування та заповнення простору між стіновою конструкцією і стінками траншеї (пазух) тампонажним матеріалом.

Висновки. Запропонована модель процесу виготовлення підземної стінової конструкції методом гравітаційного видавлювання дозволить більш детально дослідити технологію влаштування підземних конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Встановлені аналітичні залежності та обмеження тривалості виготовлення конструкції і необхідної інтенсивності бетонування монолітної частини конструкції можуть бути використані як для дослідження області раціонального застосування, конструктивних і технологічних параметрів виготовлення стінових конструкцій методом гравітаційного видавлювання. Також отримані результати можуть бути використані при проєктуванні конструкцій, технологічних рішень і обладнання для технології гравітаційного видавлювання армобетонних конструкцій підземних споруд.

Список літератури:

1. Галенко Є. О., Махиня О. М. Дослідження факторів впливу на технологію зведення підземних конструкцій методом гравітаційного видавлювання // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2025. Вип. 1. С. 540–550. DOI: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.56>
2. Динеску Т., Шандру А., Рэдулеску К. Скользящая опалубка. Изд. 2-е. Пер. с рум. М.: Стройиздат, 1975. 527 с.
3. Тонкаєв Г. М., Йогов А. М., Чепелянський А. Я., Москаленко В. І. Спосіб зведення монолітної будівельної конструкції: пат. України № 104020; заявник ТОВ фірма «Промбудремонт». № а201113024; заявл. 07.11.2011; опубл. 25.12.2013. URL: <https://iprop-ua.com/inv/kyjsi331/> (дата звернення: 12.06.2025).
4. Снісаренко В. І., Гембарський Л. В., Гембарська М. О. Технології геотехнічного будівництва. Київ : НДІ «Підземспецбуд», 2015. 552 с. ISBN 978-966-2465-5-5.
5. Махиня О. М., Акімов Ф. Н. Методика дослідження оцінки впливу застосування різних розчинозмішувачів на техніко-економічні показники копання траншеї способом “стіна в ґрунті”. Строительство и техногенная безопасность. 2007. Вип. 21. С. 87-92.
6. Foundation engineering handbook / edited by H.-Y. Fang. 2nd ed. New York: Springer, 1991. 923 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3928-5>
7. Ground improvement / edited by K. Kirsch, A. Bell. 3rd ed. London: CRC Press, 2012. 511 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b13678>
8. Галенко Є. О., Махиня О. М. Класифікація ковзних опалубних систем. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2023. № 52(1). С. 157–170. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).157-170](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).157-170)

9. Shapira A. Contemporary trends in formwork standards—A case study // *Journal of Construction Engineering and Management*. 1999. Vol. 125, No. 2. P. 69–77. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:2\(69\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:2(69))
10. Махия. О. М., Терновий В. І. Застосування гідравлічного імпульсного змішувача для приготування прохідницьких глинистих розчинів в способі “стіна в ґрунті”. Нові технології в будівництві. Київ: НДІБВ, 2005. № 1(9). С. 62-65.
11. Li P. L., Yin Z. Y., Song D. B. Experimental investigation and image-based analysis of clay slurry consolidation with prefabricated horizontal drain // *Acta Geotechnica*. 2025. Vol. 20. P. 3905–3927. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-025-02608-9>
12. Ran R. Pradeep S. Achari S. K. Blackwell B. C. Kammer C. Jerolmack D. J. Arratia P. E. Understanding the rheology of kaolinite clay suspensions using Bayesian inference // *Journal of Rheology*. 2023. Vol. 67, No. 1. P. 241–252. DOI: <https://doi.org/10.1122/8.0000556>
13. Diaconu R. Brindasu D. P. Optimum solution for sliding formwork equipment // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 808. P. 298–306. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.808.298>
14. Li W. Lin X. Bao D. W. Xie Y. M. A review of formwork systems for modern concrete construction // *Structures*. 2022. Vol. 38. P. 52–63. URL: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.089>
15. Wilson M. L. Tennis P. D. Design and control of concrete mixtures. 17th ed. Skokie, IL: Portland Cement Association, 2021. 600 p. ISBN 978-0-89312-280-5.

References

1. Halenko, Y. O., & Makhynia, O. M. (2025). (2025). Research on factors influencing the technology of underground structure construction using the gravitational extrusion method. *Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences*, (1), 540-550. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.56> (in Ukrainian).
2. Dinescu, T., Sandru, A., & Radulescu, C. (1975). Slipform construction (2nd ed.). Stroyizdat. (in Russian).
3. Tonkaiev, H. M., Yohov, A. M., Chepelianskyi, A. Y., & Moskalenko, V. I. (2013). Method of erecting a monolithic building structure (Ukrainian Patent No.104020). Ukrainian Institute of Intellectual Property (Ukrpatent). URL: <https://iprop-ua.com/inv/kyjsi331/> (in Ukrainian).
4. Snisarenko, V. I., Hembarskyi, L. V., & Hembarska, M. O. (2015). Technologies of geotechnical construction. Research Institute Pidzemspebud. (in Ukrainian).
5. Makhynia, O. M., & Akimov, F. N. (2007). Methodology for studying the assessment of the impact of using different slurry mixers on the technical and economic

indicators of trench excavation by the “diaphragm wall” method. *Construction and Technogenic Safety*, (21), 87–92. (in Ukrainian).

6. Fang, H.-Y. (Ed.). (1991). *Foundation engineering handbook* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3928-5> (in English).

7. Kirsch, K., & Bell, A. (Eds.). (2012). *Ground Improvement* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13678> (in English).

8. Halenko, Y., & Makhynia, O. (2023). Classification of sliding formwork systems. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 1(52), 157–170. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).157-170](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).157-170) (in Ukrainian).

9. Shapira, A. (1999). Contemporary trends in formwork standards—A case study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(2), 69–77. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:2\(69\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:2(69)) (in English).

10. Makhynia, O. M., & Ternovyi, V. I. (2005). Application of a hydraulic impulse mixer for preparation of clay drilling fluids in the "diaphragm wall" method. *New Technologies in Construction*, (1)9, 62–65. (in Ukrainian).

11. Li, P. L., Yin, Z. Y., Song, D. B. et al. Experimental investigation and image-based analysis of clay slurry consolidation with prefabricated horizontal drain. *Acta Geotech.* 20, 3905–3927 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11440-025-02608-9> (in English).

12. Ran, R., Pradeep, S., Achari, S. K., Blackwell, B. C., Kammer, C., Jerolmack, D. J., & Arratia, P. E. (2023). Understanding the rheology of kaolinite clay suspensions using Bayesian inference. *Journal of Rheology*, 67(1), 241–252. <https://doi.org/10.1122/8.0000556> (in English).

13. Diaconu, R., & Brindasu, D. P. (2015). Optimum solution for sliding formwork equipment. *Applied Mechanics and Materials*, 808, 298–306. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.808.298> (in English).

14. Li, W., Lin, X., Bao, D. W., & Xie, Y. M. (2022). A review of formwork systems for modern concrete construction. *Structures*, 38, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.089> (in English).

15. Wilson, M. L., & Tennis, P. D. (2021). *Design and control of concrete mixtures* (17th ed.). Portland Cement Association. (in English).

Abstract

Yevhenii Halenko, graduate student, Department of construction technologies, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Oleksandr Makhynia, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Modeling of the process of manufacturing underground wall structures by the gravity extrusion method

The article highlights the results of modeling the technological process of constructing underground wall structures using the gravity extrusion method. The gravity extrusion technology involves the construction of underground reinforced concrete wall structures in a pre-excavated trench. The wall structure itself is constructed in a formwork module at ground level. During the construction process, under the pressure of the layers of concrete mix laid during continuous concreting, the wall structure is gradually extruded from the module mold into a pre-dug trench filled with clay mortar, while its lowering is controlled by lowering mechanisms. After reaching the design elevation, the wall structure is fixed in the design position. During the research, a model of the wall structure construction process using the gravity extrusion method was developed, covering the technological process from the beginning of the installation of the formwork module over the pre-dug trench to the dismantling of the module after the erection of the wall structure. Analytical modeling of the duration of the construction cycle of a separate section of the wall structure, the duration of continuous concreting of the monolithic part of the structure, determination of the required concreting intensity, and consideration of the necessary restrictions during the execution of works were also performed.

The results of the analytical study make it possible to investigate the area of rational application, design and technological parameters of the construction of wall structures using the gravity extrusion method. The results obtained can also be used in the design of structures, technological solutions, and equipment for the gravity extrusion technology of reinforced concrete structures of underground structures.

Keywords: gravity extrusion method; “diaphragm wall”; sliding formwork; reinforced concrete structures; technological parameters; concreting intensity; construction of the underground part of a building.