

## Теоретичні дослідження монтажної ваги армовидавлювальних конструкцій

Олександр МАХИНЯ<sup>1</sup>, Євгеній ГАЛЕНКО<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037,

<sup>1</sup>magnusrocot@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7167-2857

<sup>2</sup>yevhenii.halenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9309-658X

DOI: 10.32347/0475-1132.49.2024.77-85

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню зміни монтажної ваги армовидавлювальних конструкцій залежно від конструктивних, технологічних та інших факторів. Технологія влаштування армовидавлювальних конструкцій є інноваційною і важливим кроком у підвищенні ефективності та швидкості зведення підземних споруд. Суть технології полягає в тому, що монолітна конструкція виготовляється на поверхні ґрунту у модульній формі, а потім під власною вагою опускається у викопану траншею до проектної глибини, де закріплюється для подальших робіт. Тому одним із ключових параметрів, що визначає безпечність і надійність процесу, є монтажна вага конструкції.

У статті детально розглянуто складові, що формують монтажну вагу конструкції, та проаналізовано вплив конструктивних, технологічних і інших факторів на її значення. Теоретично досліджено допустимі максимальні та мінімальні варіанти монтажної ваги за зміни геометричних параметрів: довжина (від 6 до 18 м), ширина (від 0,4 до 0,8 м) і висота (від 10 до 50 м). Результати показують, що зміна цих параметрів суттєво впливає на вагу конструкції як загалом, так і під час монтажу.

Досліджено також вплив густини глинистої суспензії, що застосовується для стабілізації стінок траншеї та запобігання їх обваленню. Встановлено, що збільшення густини суспензії знижує монтажну вагу завдяки ефекту плавучості. Наприклад, при густині 1,5 т/м<sup>3</sup> монтажна вага знижується до 37%, а при мінімальній густині 1,03 т/м<sup>3</sup> – до 25%.

Результати досліджень підтверджують важливість точного підбору геометричних розмірів і властивостей матеріалів. Виявлені закономірності демонструють, що збільшення довжини



**Олександр МАХИНЯ**  
доцент кафедри  
будівельних технологій  
к.т.н., доц.



**Євгеній ГАЛЕНКО**  
аспірант кафедри  
будівельних технологій

конструкції може підвищити монтажну вагу до 67%, ширини – до 50%, а висоти – до 80%. Це дослідження є основою для подальшої оптимізації конструкцій, спрямованої на зменшення їхньої ваги без втрати міцності та надійності.

Отримані результати відкривають перспективи для подальших досліджень, спрямованих на оптимізацію конструктивних рішень і вдосконалення технології влаштування армовидавлювальних конструкцій. Зокрема, важливо розробити методи зниження монтажної ваги за рахунок використання легших матеріалів і оптимізованих форм конструкції без втрати необхідної міцності.

**Ключові слова.** Монтажна вага, армовидавлювальна конструкція, модуль-форма, монолітні залізобетонні елементи, глиниста суспензія, сила Архімеда, оптимізація параметрів.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Армовидавлювальні конструкції [1, 2] виготовляються в модуль формі, з поступовим їх опусканням під дією власної ваги до досягнення проектного положення. Зокрема, вони опускаються у заздалегідь викопану траншею, заповнену глинистим розчином, де згодом фіксуються.

Одним із ключових чинників, що впливає на розробку конструктивних рішень обладнання для влаштування армовидавлювальних конструкцій та технологічно-організаційних аспектів їх монтажу, є монтажна вага таких конструкцій. Тому дослідження змін монтажної ваги армовидавлювальних конструкцій залежно від конструктивних, технологічних та інших факторів є актуальним завданням для вдосконалення технології їх влаштування. У даній роботі розглядаються теоретичні закономірності впливу цих факторів на монтажну вагу конструкцій, що може слугувати основою для розробки обладнання та оптимізації технологічних рішень монтажу армовидавлювальних конструкцій.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У процесі роботи були розглянуті схожі моделі для виготовлення армовидавлювальних конструкцій [1-2]. Оскільки технологія влаштування армовидавлювальних конструкцій має схожість із влаштуванням збірних конструкцій методом «стіна в ґрунті», було проаналізовано фактори, що впливають на цей процес [3-8]. Крім того, в рамках аналізу попередніх досліджень розглядалися фактори, які впливають на процес виготовлення вертикальних конструкцій у ковзній опалубці [10-13] так як виготовлення конструкцій у модуль-формі має схожий характер.

## МЕТА РОБОТИ

Метою цього дослідження є виявлення теоретичних закономірностей зміни монтажної ваги армовидавлювальної конструкції залежно від її геометричних характеристик, фізичних властивостей матеріалів, з яких вона виготовлена, параметрів технологічної

оснастки та опалубки, а також властивостей глинистого розчину.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Монтажна вага є важливим чинником, який визначає конструктивні рішення опорної балки армовидавлювальної конструкції, опорної частини опалубної системи [1, 2], а також впливає на кількість, переріз і розташування підтримувальних елементів (канатів), тощо. Крім того, монтажна вага впливає на технологічні режими та параметри виготовлення армовидавлювальної конструкції.

Монтажна вага включає в себе не лише власну вагу конструкції, а й сили, що діють на конструкцію під час монтажу. В загальному монтажна вага являє собою сумою векторів сил що діє на підтримувальні елементи армовидавлювальної конструкції, тобто:

$$Q = \sum q_i + \sum q_j^0 - P_B - P_C - P_{оп} \quad (1)$$

де:

$Q$  – монтажна вага армовидавлювальної конструкції;

$\sum q_i$  – вага власне армовидавлювальної конструкції, що являє собою суму складових елементів;

$\sum q_j^0$  – вага будівельної оснастки армовидавлювальної конструкції;

$P_B$  – сила Архімеда;

$P_C$  – сила тертя конструкції в середовищі глинистої суспензії;

$P_{оп}$  – сила тертя бетонної сумішшю об опалубку

В дослідженнях власну вагу армовидавлювальної конструкції визначали наступним чином:

$$\sum q_i = abh\rho_6g + \mu abh\rho_{ар}g + q_{зд}g + q_6g \quad (2)$$

де:

$a, b, h$  – довжина, ширина та висота монолітної частини армовидавлювальної конструкції;

$\rho_6$  – щільність бетонного каменю на стадії виготовлення;

$g$  – прискорення вільного падіння;  
 $\mu$  – коефіцієнт армування конструкції;  
 $\rho_{ар}$  – щільність матеріалу арматури;  
 $q_{зд}$  – сумарна маса закладних деталей;  
 $q_6$  – маса підтримувальної балки армовидавлювальної конструкції

В дослідженнях вагу будівельної оснастки визначали наступним чином:

$$\sum q_j^0 = P_{ст} h \rho_{ст} g + q_{осн} g \quad (3)$$

де:  $P_{ст}$  – сумарний переріз канатів для опускання армовидавлювальної конструкції;

$\rho_{ст}$  – щільність матеріалу канатів для опускання армовидавлювальної конструкції;

$q_{осн}$  – сумарна маса інших засобів оснащення конструкції

В дослідженнях силу Архімеда визначали за відомою формулою [14]:

$$P_B = (abh + V_6) \rho_c g \quad (4)$$

де:  $V_6$  – об'єм підтримувальної балки армовидавлювальної конструкції;

$\rho_c$  – густина глинистої суспензії.

В теоретичних дослідженнях, на основі попереднього аналізу методу «стіна в ґрунті» [3-8], були розглянуті найбільш передбачувані інтервали геометричних розмірів армовидавлювальної конструкції, а саме: довжина конструкції ( $a$ ) – від 6 до 18 м, її ширина ( $b$ ) – від 0,4 до 0,8 м, висота конструкції ( $h$ ) – від 10 до 50 м.

В дослідженнях була прийнята наступна щільність матеріалів, а саме щільність бетонного каменю  $\rho_6 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>, щільність металевої арматури  $\rho_{ар} = 7850$  кг/м<sup>3</sup>. Густина глинистої суспензії ( $\rho_c$ ) приймали на основі досвіду застосування методу «стіна в ґрунті» і вона була в інтервалі від 1030 до 1500 кг/м<sup>3</sup>. Було прийнято, що коефіцієнт армування армовидавлювальної конструкції становив  $\mu = 0,2$ . При цьому маса закладних деталей становила  $q_{зд} = 500$  кг, а маса підтримувальної балки  $q_6 = 150$  кг. Було прийнято, що відстань між підтримувальними канатами армовидавлювальної конструкції буде ставити 2 м, а їх товщина – 18 мм (0,018 м).

Теоретичні дослідження власної ваги

армовидавлювальної конструкції за залежністю (2) виявили, що монтажна вага конструкції залежить від її геометричних розмірів та фізичних характеристик матеріалів. Так, при мінімальних розмірах конструкції (довжина  $a = 6$  м, ширина  $b = 0,4$  м,  $h = 10$  м) монтажна вага становить 965 кН, а при максимальних розмірах (довжина  $a = 18$  м, ширина  $b = 0,8$  м,  $h = 50$  м) монтажна вага збільшується до 28754 кН.

Теоретичні дослідження ваги будівельної оснастки за залежністю (3) виявили, що вага будівельної оснастки для мінімальних розмірів армовидавлювальної конструкції буде становити  $q_j^0 = 6,1$  кН. При збільшенні геометричних розмірів конструкції вага будівельної оснастки, також, збільшиться і при максимальних розмірах, вона буде становити  $q_j^0 = 22,5$  кН.

Технологія влаштування підземних армовидавлювальних конструкцій передбачає, що опускання готової конструкції буде здійснюватися в середовищі глинистого розчину, який буде утримувати стінки попередньо викопаної траншеї від руйнування. А тому в процесі опускання на конструкцію буде діяти підйомна сила – сила Архімеда. Дослідження зміни її значень виконували за залежністю (4). В результаті було встановлено, що сила Архімеда залежно від густини глинистого розчину приймає наступні значення:

– при мінімальних розмірах армовидавлювальної конструкції і мінімальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1030$  кг/м<sup>3</sup>, вона становить  $P_B = 242,6$  кН;

– при мінімальних розмірах армовидавлювальної конструкції і максимальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, вона становить  $P_B = 353,3$  кН;

– при максимальних розмірах армовидавлювальної конструкції і мінімальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1030$  кг/м<sup>3</sup>, вона досягає  $P_B = 7275,4$  кН;

– при максимальних розмірах армовидавлювальної конструкції і максимальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, вона досягає  $P_B = 10595,2$  кН.

Отже, при збільшенні розмірів

конструкції і густини глинистого розчину, збільшується значення сили Архімеда.

На наступному, було виконане теоретичне дослідження монтажної ваги армовидавлювальної конструкції, яке виконувалось за залежністю (1). В результаті було встановлено, що монтажна вага армовидавлювальної конструкції ( $Q$ ) змінюється в наступних межах:

– при мінімальних розмірах армовидавлювальної конструкції і мінімальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1030 \text{ кг/м}^3$ , вона становить  $Q = 728,1 \text{ кН}$ ;

– при мінімальних розмірах армовидавлювальної конструкції і максимальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1500 \text{ кг/м}^3$ , вона становить  $Q = 617,4 \text{ кН}$ ;

– при максимальних розмірах армовидавлювальної конструкції і мінімальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1030 \text{ кг/м}^3$ , вона становить  $Q = 21501,1 \text{ кН}$ ;

– при мінімальних розмірах армовидавлювальної конструкції і максимальній густині глинистого розчину  $\rho_c = 1500 \text{ кг/м}^3$ , вона становить  $Q = 18182,3 \text{ кН}$ .

Були виконані теоретичні дослідження впливу геометричних розмірів армовидавлювальної конструкції на її монтажну вагу.

Спочатку досліджено вплив зміни довжини конструкції в діапазоні від 6 до 18 м на її монтажну вагу при фіксованих значеннях інших розмірів (рис. 1). Встановлено дві області залежностей: перша – для мінімальної ширини  $b$  і висоти  $h$  конструкції (рис. 1, а), друга – для максимальних значень ширини  $b$  і висоти  $h$  (рис. 1, б). Дослідження проводилося з урахуванням зміни густини глинистої суспензії в інтервалі від 1030 до 1500  $\text{кг/м}^3$ . Результати показали, що збільшення довжини конструкції з 6 до 18 м може призвести до зростання монтажної ваги до 67%.

Наступним етапом було досліджено вплив зміни ширини конструкції від 0,4 до 0,8 м на її монтажну вагу при фіксованих значеннях інших параметрів (рис. 2). Виявлено дві області залежностей: перша – для мінімальної довжини  $a$  і висоти  $h$  конструкції (рис. 2, а), друга – для максимальних значень довжини  $a$  і висоти  $h$  (рис. 2, б). Аналіз також проводився з урахуванням інтервалу

густини глинистої суспензії від 1030 до 1500  $\text{кг/м}^3$ .

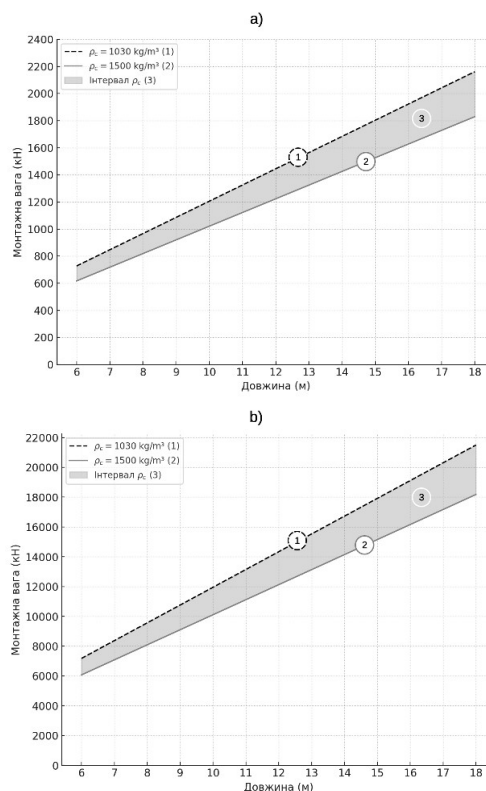


Рис. 1. Залежність монтажної ваги армовидавлювальної конструкції від зміни довжини конструкції від 6 до 18 м, при а) – мінімальних інших розмірах конструкції ( $b = 0,4 \text{ м}$ ,  $h = 10 \text{ м}$ ); б) – максимальних інших розмірах конструкції ( $b = 0,8 \text{ м}$ ,  $h = 50 \text{ м}$ ); 1-залежність, при  $\rho_c = 1030 \text{ кг/м}^3$ ; 2- залежність при  $\rho_c = 1500 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – область інших значень монтажної ваги при зміні густини розчину від 1030 до 1500  $\text{кг/м}^3$ .

Fig. 1. Dependence of the installation weight of the reinforced concrete structure on the change in the length of the structure from 6 to 18 m, at a) - minimum other dimensions of the structure ( $b = 0.4 \text{ m}$ ,  $h = 10 \text{ m}$ ); b) - maximum other dimensions of the structure ( $b = 0.8 \text{ m}$ ,  $h = 50 \text{ m}$ ); 1 - dependence at  $\rho_c = 1030 \text{ kg/m}^3$ ; 2 - dependence at  $\rho_c = 1500 \text{ kg/m}^3$ ; 3 - range of other values of the installation weight when changing the density of the solution from 1030 to 1500  $\text{kg/m}^3$ .

В результаті було встановлено, що зміна ширини конструкції в межах від 0,4 до 0,8 м

може призвести до зростання монтажної ваги до 50%

Далі було досліджено вплив зміни висоти конструкції від 10 до 50 м на її монтажну вагу при зафіксованих інших розмірах (рис. 3).

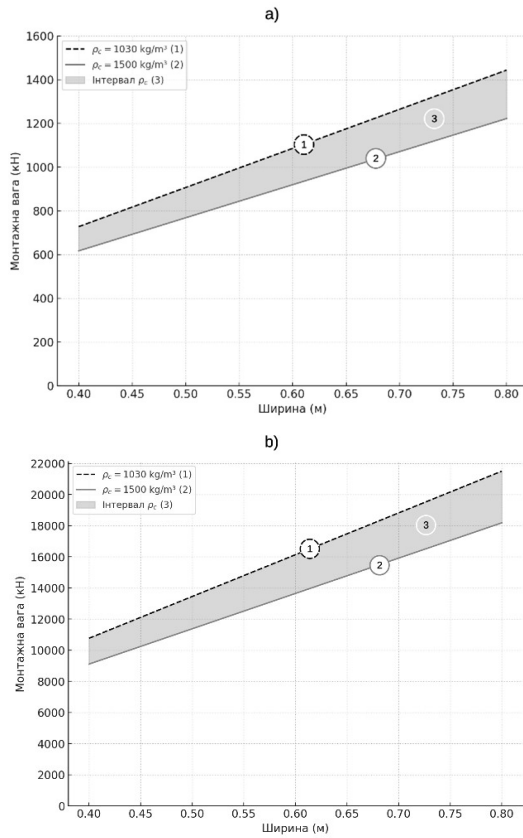


Рис.2. Залежність монтажної ваги армовидавлювальної конструкції від зміни ширини конструкції від 0,4 до 0,8 м, при а) – мінімальних інших розмірах конструкції ( $a = 6 \text{ м}$ ,  $h = 10 \text{ м}$ ); б) – максимальних інших розмірах конструкції ( $a = 18 \text{ м}$ ,  $h = 50 \text{ м}$ ); 1-залежність, при  $\rho_c = 1030 \text{ кг/м}^3$ ; 2- залежність при  $\rho_c = 1500 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – область інших значень монтажної ваги при зміні густини розчину від 1030 до 1500  $\text{кг/м}^3$ .

Fig.2. Dependence of the installation weight of the reinforced concrete structure on the change in the width of the structure from 0.4 to 0.8 m, at а) - minimum other dimensions of the structure ( $a = 6 \text{ m}$ ,  $h = 10 \text{ m}$ ); б) - maximum other dimensions of the structure ( $a = 18 \text{ m}$ ,  $h = 50 \text{ m}$ ); 1 - dependence at  $\rho_c = 1030 \text{ kg/m}^3$ ; 2 - dependence at  $\rho_c = 1500 \text{ kg/m}^3$ ; 3 - range of other values of the installation weight when changing the density of the solution from 1030 to 1500  $\text{kg/m}^3$ .

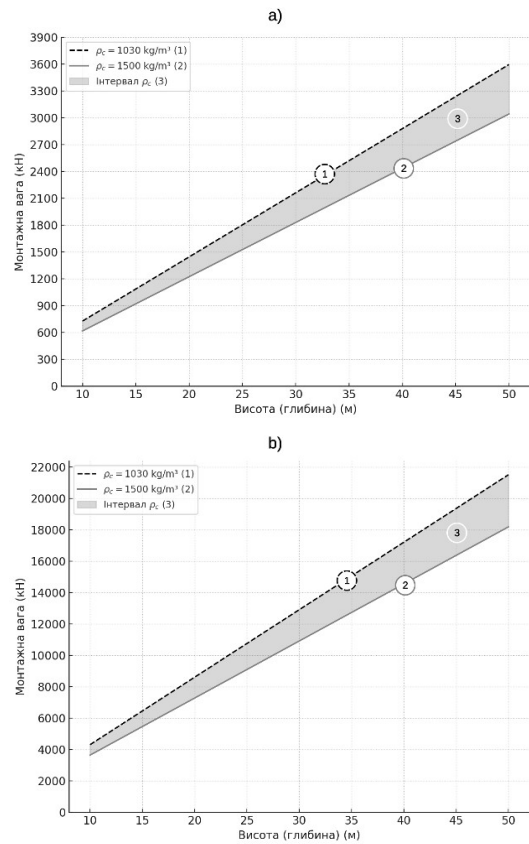


Рис.3. Залежність монтажної ваги армовидавлювальної конструкції від зміни висоти конструкції від 10 до 50 м, при а) – мінімальних інших розмірах конструкції ( $a = 6 \text{ м}$ ,  $b = 0,4 \text{ м}$ ); б) – максимальних інших розмірах конструкції ( $a = 18 \text{ м}$ ,  $b = 0,8 \text{ м}$ ); 1-залежність, при  $\rho_c = 1030 \text{ кг/м}^3$ ; 2- залежність при  $\rho_c = 1500 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – область інших значень монтажної ваги при зміні густини розчину від 1030 до 1500  $\text{кг/м}^3$ .

Fig.3. Dependence of the installation weight of the reinforced concrete structure on the change in the height of the structure from 10 to 50 m, at а) - minimum other dimensions of the structure ( $a = 6 \text{ m}$ ,  $b = 0.4 \text{ m}$ ); б) - maximum other dimensions of the structure ( $a = 18 \text{ m}$ ,  $b = 0.8 \text{ m}$ ); 1 - dependence at  $\rho_c = 1030 \text{ kg/m}^3$ ; 2 - dependence at  $\rho_c = 1500 \text{ kg/m}^3$ ; 3 - range of other values of the installation weight when changing the density of the solution from 1030 to 1500  $\text{kg/m}^3$ .

Було встановлено дві області залежностей, перша – при мінімальній довжині (а) і ширині (b) конструкції (рис. 3, а), друга - при максимальній довжині (а) і ширині (b) конструкції (рис. 3, b). Було розглянуто зміну монтажної ваги в інтервалі густин глинистої суспензії від 1030 до 1500 кг/м<sup>3</sup>.

В результаті було встановлено, що зміна висоти конструкції в діапазоні від 10 до 50 м може призвести до зростання монтажної ваги до 80%.

Окремо було досліджено вплив сили Архімеда на монтажну вагу армовидавлювальної конструкції.

В результаті теоретичного дослідження були побудовані графічні залежності зміни монтажної ваги армовидавлювальної конструкції від висоти конструкції при різних товщинах конструкцій і різних густинах глинистого розчину (рис. 4). Були розглянуті конструкції в інтервалі висоти від 10 до 50 м, при її товщинах 0,4 м (рис. 4, а), 0,5 м (рис. 4, b), 0,6 м (рис. 4, c), 0,7 м (рис. 4, d), 0,8 м (рис. 4, e).

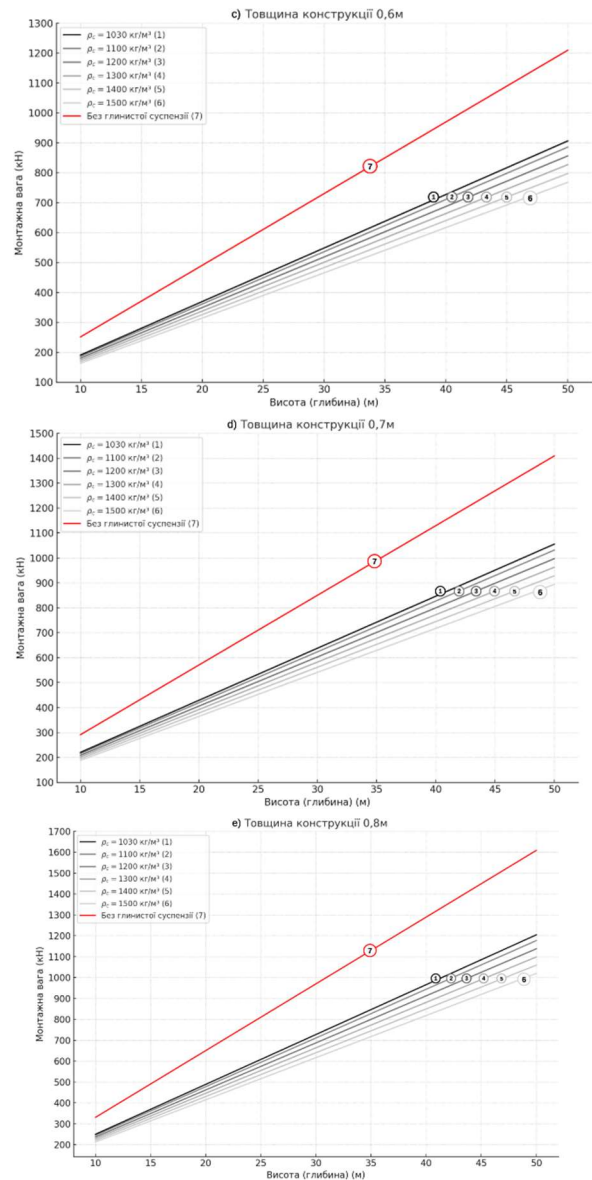
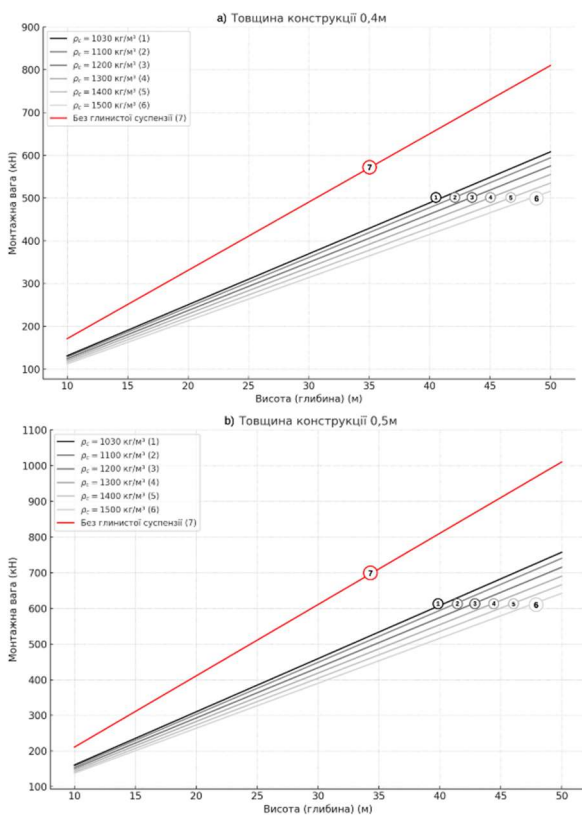


Рис.4. Залежність монтажної ваги конструкції від її висоти при різних товщинах (а.-0,4м; b.-0,5м; c.-0,6м; d.-0,7м; e.-0,8м) і при застосуванні глинистого розчину густиною: 1-1030 кг/м<sup>3</sup>; 2-1100 кг/м<sup>3</sup>; 3-1200 кг/м<sup>3</sup>; 4-1300 кг/м<sup>3</sup>; 5-1400 кг/м<sup>3</sup>; 6-1500 кг/м<sup>3</sup>; 7 – без розчину.

Fig.4. Dependence of the installation weight of the structure on its height at different thicknesses (a.-0.4 m; b.-0.5 m; c.-0.6 m; d.-0.7 m; e.-0.8 m) and when using clay mortar with a density of: 1-1030 kg/m<sup>3</sup>; 2-1100 kg/m<sup>3</sup>; 3-1200 kg/m<sup>3</sup>; 4-1300 kg/m<sup>3</sup>; 5-1400 kg/m<sup>3</sup>; 6-1500 kg/m<sup>3</sup>; 7 - without solution.

Було досліджено зміну монтажної ваги конструкції при фіксованих значеннях густини глинистої суспензії, а саме залежність

1 для густини 1030 кг/м<sup>3</sup>; залежність 2 - 1100 кг/м<sup>3</sup>; залежність 3 - 1200 кг/м<sup>3</sup>; залежність 4 - 1300 кг/м<sup>3</sup>; залежність 5 - 1400 кг/м<sup>3</sup>; залежність 6 - 1500 кг/м<sup>3</sup>. Для порівняння були побудовані залежності монтажної ваги конструкції без впливу на неї глинистого розчину (залежність 7), на рис. 4 ці залежності відмічені червоною лінією.

В результаті встановлено, що чим вища густина глинистого розчину, тим менша монтажна вага армовидавлювальної конструкції.

Це пояснюється тим, що глинистий розчин створює додаткову плавучість, що компенсує частину ваги армовидавлювальної конструкції згідно із законом Архімеда. Наприклад, при густині суспензії 1500 кг/м<sup>3</sup> (залежність 6), вага конструкції зменшується значно більше при різних товщинах конструкції, ніж при густині глинистого розчину 1030 кг/м<sup>3</sup> (залежність 1). А тому збільшення густини глинистого розчину на етапі опускання конструкції до траншеї дозволить частково зменшити її монтажну вагу і відповідно навантаження підтримувальні конструкції.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

За результатами теоретичного дослідження, що виконувалось методом математичного моделювання встановлено наступне. При мінімальних значеннях інтервалу розглянутих факторів (довжина конструкції  $a=6\text{м}$ , ширина  $b=0,4\text{м}$ , висота  $h=10\text{м}$ ) монтажна вага армовидавлювальної конструкції становить 617,4 кН, а для максимальних значень (довжина  $a=18\text{м}$ , ширина  $b=0,8\text{м}$ , висота  $h=50\text{м}$ ) – 21500,7 кН. Таким чином, монтажна вага коливається в межах від 617,4 кН до 21500,7 кН, залежно від розмірів конструкції.

При цьому був виявлений вплив густини глинистого розчину, який застосовують для утримання стінок траншеї, до якої опускають готову конструкцію. Так застосування глинистого розчину мінімальної густини (1,03 т/м<sup>3</sup>) дозволяє зменшити монтажну вагу до 25%, і при її збільшенні зменшується монтажна вага, так при густині 1,5 т/м<sup>3</sup>

зменшення ваги конструкції може досягати 37%. Це вказує на те, що на етапі опускання армовидавлювальної конструкції у траншею потрібно збільшити густину глинистої суспензії для зменшення монтажної ваги конструкції і зменшення навантаження на підтримувальні конструкції.

Додатково, аналіз показав, що зміна геометричних параметрів конструкції також суттєво впливає на її монтажну вагу. Зокрема, збільшення довжини конструкції в діапазоні від 6 м до 18 м може призвести до зростання монтажної ваги до 67%. Збільшення ширини конструкції з 0,4 м до 0,8 м спричиняє підвищення монтажної ваги на 50%, а зміна висоти конструкції в діапазоні від 10 м до 50 м може призвести до зростання монтажної ваги до 80%. Ці результати підкреслюють важливість мінімізації розмірів конструкції для забезпечення оптимізації навантаження на обладнання, що використовують для опускання конструкції до траншеї.

Отримані результати відкривають перспективи для подальших досліджень, спрямованих на оптимізацію конструктивних рішень і вдосконалення технології влаштування армовидавлювальних конструкцій. Зокрема, важливо розробити методи зниження монтажної ваги за рахунок використання легших матеріалів і оптимізованих форм конструкції без втрати необхідної міцності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дауров М. К. Влаштування прямокутних паль методом занурення з виготовленням на форшахті / М. К. Дауров, Г. М. Тонкачєєв // *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб* – К. – 2017 – Вип. 65. – С. 153 - 157.
2. Тонкачєєв Г. М. Спосіб зведення монолітної будівельної конструкції. / Тонкачєєв Г. М., Югов А.М., Чепелянський А.Я., Москаленко В.І. // *патент на винахід* - державна служба інтелектуальної власності України – 2013
3. Снісаренко В.І. Технології геотехнічного будівництва. / Снісаренко В.І., Гембарський Л.В., Гембарська М.О. // *НДІ ПІДЗЕМСПЕЦБУД*, – 2015 – 552 с.

4. Филахтов А.Л. Опыт возведения сооружений методом «стена в грунте» / Филахтов А.Л., Лубенец Г.К., Писанко Н.В., Янкулин М.Г. // Київ: Будівельник, 1981 – 236с.
5. Абызов А.Г. Возведение сооружений методом «стена в грунте». / Абызов А.Г., Зазуленский А.А., Писанко Н.В., Ткаченко Р.Н., Филахтов А.Л., Янкулин М.Г.К. // Будівельник, 1976 – 204с.
6. Dausch G. Diaphragm Wall Technique – Planning, Execution and Development over the Last 65 Years. / Springer, Cham, 2019 DOI: 10.1007/978-3-030-28516-6\_18
7. James A. Design Specifications for Diaphragm Walls: State of the Art. / James A., Kurian B. // Department of Civil Engineering, Mar Athanasius College of Engineering, Ernakulam, Kerala, 686666, India, 2020 DOI: 10.1007/s40098-016-0202-5
8. Mateusz F. Modern Methods of Diaphragm Walls Design. / Mateusz F., Grzegorz K., Paweł N. // Civil Engineering Faculty, Warsaw University of Technology, 00-661 Warszawa, Poland, 2021. DOI: 10.3390/su14031767
9. Aviad Shapira. Contemporary Trends in Formwork Standards / Shapira Aviad // *Journal of Construction Engineering and Management*. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:2(69)
10. Formwork and falsework for heavy construction / Guide to good practice // *The International Federation for Structural Concrete (fib). Bulletin No. 48*, January 2009. DOI: doi.org/10.35789/fib.BULL.0048
11. Raluca Diaconu. Brindasu Optimum Solution for Sliding Formwork Equipment / Raluca Diaconu, Dan Paul. // *Applied Mechanics and Materials* – 2015. ст. 298-306. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.808.298
12. Wei Li. A review of formwork systems for modern concrete construction. / Wei Li, Xiaoshan Lin, Ding Wen Bao, Yi Min Xie. // *Structures - Volume 38*, April 2022, Pages 52-63 DOI: 10.1016/j.istruc.2022.01.089
13. Putri Arumsari. Cost and time analysis on the selection of formwork installation method. / Putri Arumsari, Christopher Xavier. // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* – 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/426/1/012042
14. Лопатинський І.Є., Зачек І.Р., Лъчук Г.А., Романишин Б.М. Фізика: підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. — Львів: Афіша, 2005. — 386 с.

## REFERENCES

1. Daurov M. K., Tonkachieiev H. M. (2017) Vlashtuvannia priamokutnykh pal metodom zasurennia z vyhotovlenniam na forshafti. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zb.*, Kyiv, 65, 153 – 157 (in Ukrainian).
2. Tonkachieiev H. M., Yuhov A. M., Chepelianskyi A. Ya., Moskalenko V. I. (2013) Sposib zvedennia monolitnoi budivelnoi konstruksii. patent for an invention. State Intellectual Property Service of Ukraine (in Ukrainian).
3. Snisarenko V. I., Hembarskyi L. V., Hembarska M. O. (2015) Tekhnolohii heotekhnichnoho budivnytstva. NDI PIDZEMSPETSBUD, 552 (in Ukrainian).
4. Filakhtov A. L., Lubenets H. K., Pysanko N. V., Yankulin M. H. (1981) Opyt vozvedeniia sooruzhenii metodom «stena v grunte». Kyiv: Budivelnik, 236. (in Russian).
5. Abyzov A. H., Zazulenskyi A. A., Pysanko N. V., Tkachenko R. N., Filakhtov A. L., Yankulin M. H. K (1976) Vozvedenie sooruzhenii metodom «stena v grunte». Budivelnik, 204. (in Russian).
6. Dausch G. (2019) Diaphragm Wall Technique – Planning, Execution and Development over the Last 65 Years. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-28516-6\_18
7. James A., Kurian B. (2020) Design Specifications for Diaphragm Walls: State of the Art. Department of Civil Engineering, Mar Athanasius College of Engineering, Ernakulam, Kerala, 686666, India. DOI: 10.1007/s40098-016-0202-5
8. Mateusz F., Grzegorz K., Paweł N. (2021) Modern Methods of Diaphragm Walls Design. *Civil Engineering Faculty, Warsaw University of Technology*, 00-661 Warszawa, Poland. DOI: 10.3390/su14031767
9. Aviad Shapira. (1999) Contemporary Trends in Formwork Standards. *Journal of Construction Engineering and Management*. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:2(69)
10. Formwork and falsework for heavy construction. Guide to good practice. (2009) *The International Federation for Structural Concrete (fib). Bulletin No. 48*, January 2009. DOI: doi.org/10.35789/fib.BULL.0048
11. Raluca Diaconu, Dan Paul. Brindasu Optimum (2015) Solution for Sliding Formwork Equipment. *Applied Mechanics and Materials*, 298-306. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.808.298.



12. Wei Li, Xiaoshan Lin, Ding Wen Bao, Yi Min Xie. (2022) A review of formwork systems for modern concrete construction. *Structures*, 38, 52-63 DOI: 10.1016/j.istruc.2022.01.089.
13. Putri Arumsari, Christopher Xavier (2020). Cost and time analysis on the selection of formwork installation method. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. DOI: 10.1088/1755-1315/426/1/012042
14. Lopatynskiy I. Ye., Zachek I. R., Ilchuk H. A., Romanishyn B. M. (2005) *Physics: A textbook for students of engineering and technical specialties of higher educational institutions*. Lviv: Afisha, 386. (in Ukrainian).

further research aimed at optimizing design solutions and improving the technology of reinforced concrete structures. In particular, it is important to develop methods to reduce the installation weight by using lighter materials and optimized structural shapes without losing the required strength.

**Key words.** Installation weight, reinforced concrete structure, sliding formwork, monolithic reinforced concrete elements, clay slurry, Archimedes' force, friction force, parameter optimization.

### Theoretical studies of the installation weight of reinforced concrete structures

*Oleksandr MAKHYNIA,  
Yevhenii HALENKO*

**Summary.** The article is devoted to the study of changes in the installation weight of reinforced concrete extrusion structure depending on structural, technological and other factors. The technology of reinforced concrete extrusion structures is an innovative and important step in increasing the efficiency and speed of construction of underground structures. The essence of the technology is that a monolithic structure is made on the ground surface in a modular form, and then, under its own weight, it is lowered into the excavated trench to the design depth, where it is fixed for further work. Therefore, one of the key parameters that determines the safety and reliability of the process is the installation weight of the structure.

The article describes in detail the components that form the installation weight of a structure and analyzes the influence of design, technical and other factors on its value. The paper theoretically investigates the permissible maximum and minimum variants of the assembly weight with changes in geometric parameters: length (from 6 to 18 m), width (from 0.4 to 0.8 m) and height (from 10 to 50 m). The results show that changing these parameters significantly affects the weight of the structure both in general and during installation.

The effect of the density of the clay slurry used to stabilize the trench walls and prevent their collapse was also investigated. It was found that increasing the density of the suspension reduces the installation weight due to the buoyancy effect. For example, at a density of 1.5 t/m<sup>3</sup>, the installation weight is reduced by up to 37%, and at a minimum density of 1.03 t/m<sup>3</sup> - by up to 25%.

The obtained results open up prospects for