

**Макарчук О. В., к.т.н., доцент, Нестеренко В.П., к.т.н., доцент,
Романовський О. Л., к.т.н., доцент, Карплюк В. Р., інженер**
(Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОСНАРЯДА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЩІЛИН У ҐРУНТІ

Аналізуються способи, засоби та технічні рішення для зведення підземних споруд методом «стіна у ґрунті»; пропонується нова конструкція віброснаряда ножового типу; представлені результати теоретичних досліджень оптимізації геометричних параметрів робочого органу, а також результати експериментальних досліджень із визначення установочних кутів робочого органу; представлена розроблена методика визначення основних параметрів запропонованого віброснаряда.

Ключові слова: технологія стіна у гранті; віброснаряд; нова конструкція; вібробуджувач.

Вступ. Одною з сучасних технологій спорудження підземних об'єктів, є технологія «стіна у ґрунті».

Реалізація такої технології передбачає два основних способи – траншейний і безтраншейний, останній реалізується за допомогою трьох груп машин – статичної, ударної і вібраційної дії.

Найбільш перспективним методом в наш час для такого будівництва визнано застосування машин вібраційної дії.

Область застосування технології «стіна у ґрунті»

Вказана технологія, особливо при застосуванні машин вібраційної дії, забезпечує високу продуктивність, простоту, малу трудоемкість і економічність, зменшення вартості і строків будівництва.

Наведені показники поставили цю технологію поза конкуренцією в порівнянні з іншими, особливо в умовах міського будівництва при реалізації підземних споруд в щільно забудованих районах, або на території промислових об'єктів.

В ряді випадків в складних гідрогеологічних умовах «стіни в ґрунті» можуть знайти застосування і для влаштування фундаментів глибокого закладання [2].

В гідротехнічному будівництві ця технологія знаходить застосування переважно для спорудження протифільтраційних завіс і екранів, шлюзів, портових споруд (глибоководні причали, набережні стінки, які занурюються на 20 м і глибше) [1].

Виходячи з проведеного аналізу і визначених при цьому переваг і недоліків розглянутої технології будівництва способом «стіна у ґрунті», **завданням** даної роботи є розробка і дослідження нової конструкції установки на базі одноківшевого гідравлічного екскаватора з віброснарядом ножового типу.

Об'єктом дослідження в даній роботі є нова конструкція установки на базі одноківшевого гідравлічного екскаватора з вібраційним снарядом ножового типу.

Предметом дослідження є вібраційний снаряд виконаний у вигляді порожнистої штанги (товстостінної труби), у нижній частині якої закріплений гострий конічний наконечник 10, та щілиноутворюючі ножі 8. У штанзі в її нижній частині між ножами і наконечником, виконані отвори 9 для подачі стіноформуєчого матеріалу від бетононасосу в робочу зону. Зверху на штанзі, яка за допомогою прямої 6 з'єднана з стрілою 2 екскаватора, розташований віброзбуджувач 4. Для підйому віброснаряда з сформованої щілини застосовується лебідка 3, що монтується на робочому обладнанні базової машини 1. Переведення установки в транспортне положення забезпечується гідроциліндром 11.

Працює машина наступним чином. За допомогою стріли 2 снаряд встановлюється на робочу позицію. Лебідка 3 розгальмовується, вмикається віброзбуджувач 4, снаряд занурюється у ґрунт, ножами 8 і наконечником 10 формується щілина. При досягненні проектної глибини, вмикається підйомна лебідка 3 і у порожнину штанги через штуцер 5 подається стіноформуєчий матеріал, який через отвори 9 надходить у щілину, заповнюючи останню по мірі підйому снаряду.

Таке виконання обладнання забезпечує спорудження стінок у ґрунті на проекту глибину з мінімально можливими витратами матеріалів, що формують стінку і виключає виніс мінерального ґрунту на поверхню. Це в цілому забезпечує мінімальний техногенний вплив на навколишнє середовище, значно зменшуються об'єми земляних робіт і відповідно загальні енерговитрати.

Впровадження запропонованої установки у виробництво вимагає досліджень з мінімізації її енерговитрат на формування щілини – оптимізації щілиноформуєчого робочого органу, а також розробки

методики розрахунку і конструювання його геометричних параметрів.

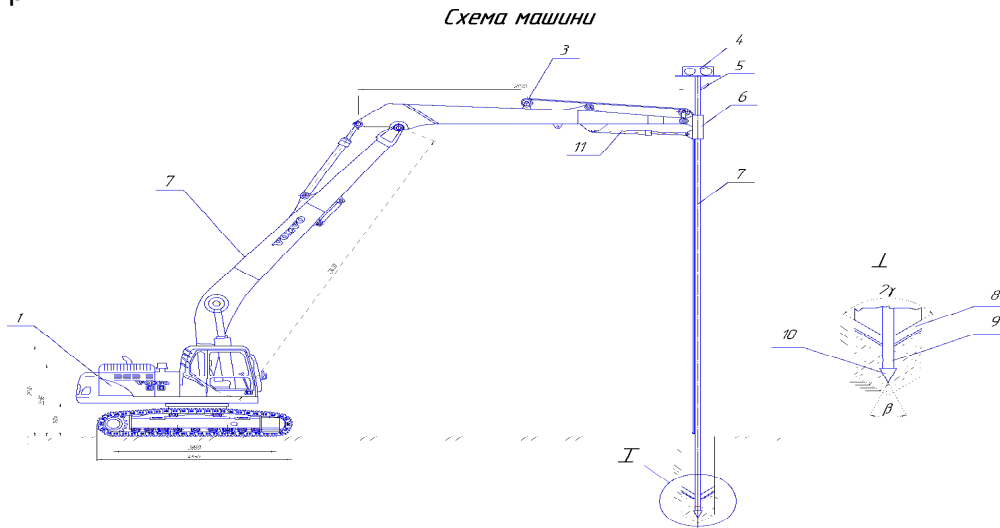


Рис. 1. Загальний вигляд снаряда для спорудження стін у ґрунті

Для реалізації поставлених задач, у НУВГП проводяться теоретичні і експериментальні дослідження запропонованої конструкції стіно формуючого робочого органу машини вібраційної дії.

При цьому вихідними передумовами теоретичних досліджень прийнято: 1. Ґрунт – однорідне ізотропне середовище, яке характеризується зчепленням, внутрішнім і зовнішнім тертям, щільністю і вологістю; 2. Руйнування ґрунту здійснюється з формуванням пластичної деформації з втисканням ґрунту в стінки щілини а частинки ґрунт ковзають по робочих гранях ножа; 3. Вібрація на геометричні параметри впливає несуттєво; 4. Визначальною силою, що впливає на раціональні параметри снаряду є статична. 5. Ножі розташовані симетрично. 6. Тертям ґрунту на бокових поверхнях нехтуємо.

Розрахункова схема для визначення сил, що діють на ніж представлена на рис. 2.

Спроектувавши сили на вісь OY отримаємо:

$$dP_y = dN \cdot \sin \alpha_p \cdot \sin \gamma_{zx} + dT \cdot \cos \delta, \quad (1)$$

де P_y – сила опору занурення снаряда; N – нормальна складова сили опору; α_p – кут між робочою гранню розрізного ножа і площиною $ХОУ$; γ_{zx} – кут нахилу ріжучої кромки до напрямку його занурення; T – дотична складова сили опору; δ – кут між напрямком руху ґрунту і віссю OY ; τ – кут між напрямком руху ґрунту та різальною кромкою.

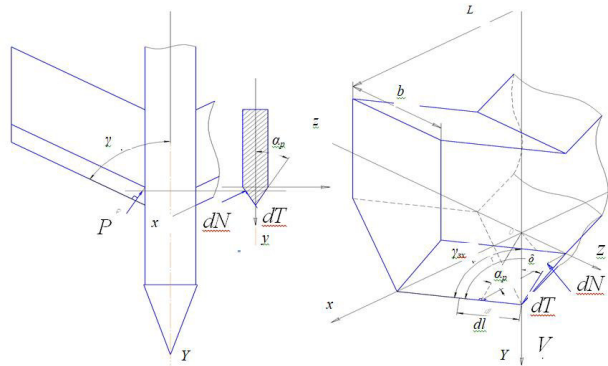


Рис. 2. Схема дії сил на частинку матеріалу, яка знаходиться на грані ножа

Елементарну нормальну силу тиску на робочу грань dN можна виразити через тиск q_i і елементарну площадку dF , тоді

$$dN = q_i \cdot dF; \quad (2)$$

де

$$dF = \frac{h \cdot dl}{\sin \alpha_p}; \quad (3)$$

тут

$$h = \frac{b}{2}; \quad dl = \frac{dx}{\sin \gamma_{xx}}. \quad (4)$$

Визначивши силу тертя через нормальну силу тиску dN і коефіцієнт тертя $f = \operatorname{tg} \varphi$, отримаємо

$$dT = f \cdot dN, \quad (5)$$

де φ – кут зовнішнього тертя ґрунту.

Кут δ визначається на основі припущення, що у фазі стискання ґрунт рухається в напрямку реалізації максимальної питомої сили різання.

$$\cos \delta = \frac{\sqrt{\cos^2 \alpha_p + \operatorname{ctg}^2 \gamma_{xx}}}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \gamma_{xx}}}. \quad (6)$$

Підставивши вирази (2)–(6) у вираз (1) і виконавши спрощення, отримаємо

$$dP_y = \frac{q_i \cdot b}{2} \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \sqrt{\cos^2 \alpha_p + \operatorname{ctg}^2 \gamma_{xx}}}{\sin \alpha_p} \right) \cdot dx. \quad (7)$$

Інтегруємо вираз (7) в межах від 0 до L:

$$P_y = \int_0^l \frac{q_i \cdot b}{2} \left(1 + \frac{tg\phi \cdot \sqrt{\cos^2 \alpha_p + ctg^2 \gamma_{zx}}}{\sin \alpha_p} \right) \cdot dx = \quad (8)$$

$$= \frac{q_i \cdot b}{2} \left(1 + \frac{tg\phi \cdot \sqrt{\cos^2 \alpha_p + ctg^2 \gamma_{zx}}}{\sin \alpha_p} \right) \cdot l,$$

де b і l відповідно товщина і довжина ножа.

Виражаємо q_s через q_{kp} – несуча спроможність ґрунту:

$$q_i = q_{kp} \cdot K; K = \frac{q_{\gamma_{zx}}}{q_{\gamma_{zx}=90^\circ}} = \frac{\cos \alpha_p - \sin \alpha_p \cdot tg\phi}{1 - \sin^2 \gamma_{zx} \cdot (1 - \cos \alpha_p) - \sin \gamma_{zx} \cdot \sin \alpha_p \cdot tg\phi}, \quad (9)$$

де K – коефіцієнт співвідношення між тисками середовища на робочій грані ножа при косому різанні.

Тоді вираз (1) прийме вигляд:

$$P_y = \frac{q_{kp} \cdot b}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_p - \sin \alpha_p \cdot tg\phi}{1 - \sin^2 \gamma_{zx} \cdot (1 - \cos \alpha_p) - \sin \gamma_{zx} \cdot \sin \alpha_p \cdot tg\phi} \times \left(1 + \frac{tg\phi \cdot \sqrt{\cos^2 \alpha_p + ctg^2 \gamma_{zx}}}{\sin \alpha_p} \right) \cdot l. \quad (10)$$

Візьмемо похідну $\frac{dP_y}{d\gamma_{zx}}$ і прирівняємо її до 0:

$$\frac{dP_y}{d\gamma_{zx}} = \frac{q_{kp} \cdot b \cdot l}{2} \cdot \left[\left(-\frac{tg\phi \cdot ctg\gamma_{zx}}{\sin \alpha_p \cdot \sqrt{\cos^2 \alpha_p + ctg^2 \gamma_{zx}} \cdot \sin^2 \gamma_{zx}} \right) \times \frac{\cos \alpha_p - \sin \alpha_p \cdot tg\phi}{1 - \sin^2 \gamma_{zx} \cdot (1 - \cos \alpha_p) - \sin \gamma_{zx} \cdot \sin \alpha_p \cdot tg\phi} + \right. \quad (11)$$

$$\left. + \left(1 + \frac{tg\phi \cdot \sqrt{\cos^2 \alpha_p + ctg^2 \gamma_{zx}}}{\sin \alpha_p} \right) \times \frac{\cos \alpha_p - \sin \alpha_p \cdot tg\phi}{(1 - \sin^2 \gamma_{zx} \cdot (1 - \cos \alpha_p) - \sin \gamma_{zx} \cdot \sin \alpha_p \cdot tg\phi)^2} \times \right. \quad (11)$$

$$\left. \times (2 \sin \gamma_{zx} \cdot \cos \gamma_{zx} (1 - \cos \alpha_p) + \cos \gamma_{zx} \cdot \sin \alpha_p \cdot tg\phi) \right] = 0, (11).$$

Задавшись значеннями кутів α_p , з (11) знаходимо γ_{zx} , для чого використовуємо чисельний метод. Результати розрахунку подані на рис. 3.

Графіки, що представлені на рис. 3 свідчать про суттєву залежність кута установки ножа до напрямку його руху від кута загострення і характеристики ґрунту (кута зовнішнього тертя ϕ) при прийнятному мінімальному опорі.

На основі [3] проведений порівняльний розрахунок сил опору занурення, P_2 – для динамічного та P_1 – для статичного, робочого органу.

При цьому величина динамічного ефекту δ_e визначалась за залежністю

$$\delta_e = 1 - \frac{P_2}{P_1} = 0,907. \quad (12)$$

Графіки, що представлені на рис. 3, свідчать про суттєву залежність кута установки ножа до напрямку його руху від кута загострення і характеристики ґрунту (кута зовнішнього тертя φ) при прийнятому мінімальному опорі.

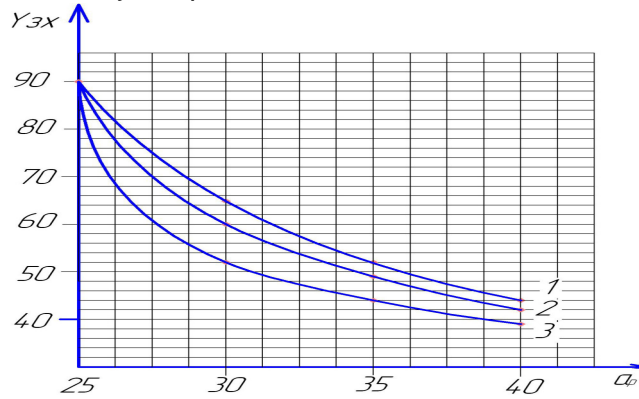


Рис. 3. Залежність кута установки ножа γ_{zx} від кута його загострення α_0 , при мінімальному опорі ґрунту різанню ($\varphi_1=21^\circ$; $\varphi_2=30^\circ$; $\varphi_3=40^\circ$)

Встановлено, що динамічний робочий орган порівняно з статичним забезпечує значно менший опір ґрунту різанню, приблизно на 91%.

З метою перевірки отриманих теоретичних даних виконано експериментальні дослідження на ґрунтовому каналі НУВГП.

Для цього виготовлена установка, що представлена на рис. 4.



Рис. 4. Лабораторна установка:

- 1 – підйомна лебідка; 2 – приводний двигун; 3 – насосна станція;
4 – вібратор; 5 – напрямні; 6 – штанга; 7 – ножі

Для експериментальних досліджень було виготовлено чотири робочі органи, ширина і товщина яких дорівнює: відповідно 250 мм і 20 мм, з кутом загострення ножів $\alpha_p = 30^\circ$, при різних кутах їх встановлення $\gamma_{зх}$ (рис. 5).



Рис. 5. Змінні робочі органи з кутами встановлення ножів $\gamma_{зх}$, відповідно $90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$

В результаті експериментальних досліджень отримано графічну залежність часу занурення вібростаряда від кута встановлення його ножів, що представлена на рис. 6.

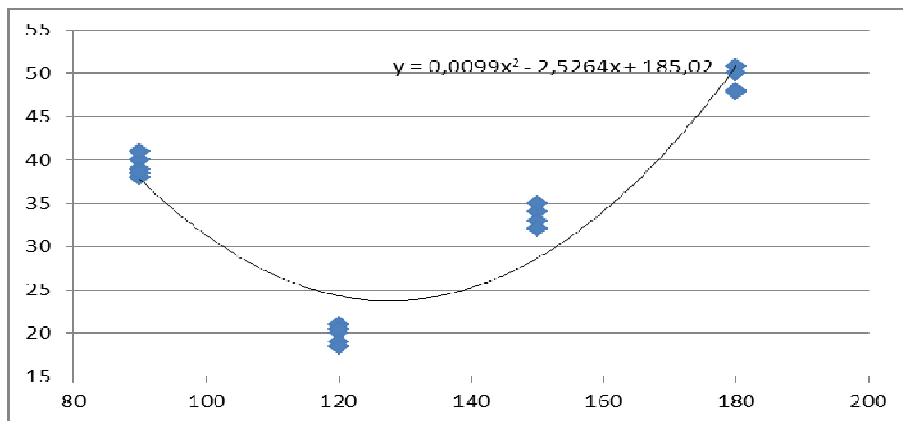


Рис. 6. Залежність часу занурення робочого органа t, s від кута встановлення його ножів $2\gamma_{зх}$, град

Аналіз представлених залежностей підтверджує відповідність експериментальних даних результатам теоретичних досліджень зв'язку кутів α_p і $\gamma_{зх}$.

Висновки. Проведені дослідження підтвердили працездатність та ефективність запропонованого вібростаряда для спорудження

стін у ґрунті. Розроблена методика його проєктування залежно від характеристик ґрунту і умов оточуючого середовища.

1. Возведение сооружений методом «стена в грунте» / Абызов А. Г., Заулинский А. А., Писанко Н. В., Ткаченко Р. Н. К. : Будівельник, 1976. 204 с.
2. Подземные сооружения, возводимые способом «стена в грунте» / под ред. канд. техн. наук В. М. Зубкова. Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1977, 200 с.
3. Ветров Ю. А., Баладинский В. Л. Машины для специальных земляных работ. К. : Вища школа, 1980. 192 с.
4. Раннев А. В. Изготовление стен в грунте из грунтоцементных смесей. *Строительные и дорожные машины*. 2003. № 1.
5. Раннев А. В. Способы возведения «стены в грунте». *Строительные и дорожные машины*. 2004. № 4.
6. Копейко В. Я. Опыт строительства подземных помещений способом «стена в грунте». *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1965. № 6.
7. Вайнсон А. А., Кадыров А. С. Параметры рабочего органа непрерывного действия для устройства фундаментов способом «стена в грунте». *Строительные и дорожные машины*. 1985. № 9.
8. Федоров Б. С., Ткачев Ю. К., Смородинов М. И. Разработка траншей способом «стена в грунте». *Строительные и дорожные машины*. 1981. № 8.
9. Установа для спорудження стін у ґрунті : пат. 85186 МПК E02D 7/18 Україна : / С. В. Кравець, О. Л. Романовський, В. В. Матко, Д. І. Процик. № 200512210 ; 25.06.2007 ; заявл. 19.12.2005 ; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1, 2009.

REFERENCES:

1. Vozvedenie sooruzheniy metodom «stena v grunte» / Abyizov A. G., Zazulinskiy A. A., Pisanko N. V., Tkachenko R. N. K. : Budivelnik, 1976. 204 s.
2. Podzemnyie sooruzheniya, vozvodimyye sposobom «stena v grunte» / pod red. kand. tehn. nauk V. M. Zubkova. L. : Stroyizdat, Leningr. otd-nie, 1977, 200 s.
3. Vetrov YU. A., Baladinskiy V. L. Mashinyi dlya spetsialnyih zemlyanyih rabot. K. : Vischa shkola, 1980. 192 s.
4. Rannev A. V. Izgotovlenie sten v grunte iz gruntotsementnyih smesey. *Stroitelnyie i dorojnyie mashinyi*. 2003. № 1.
5. Rannev A. V. Sposobyi vozvedeniya «stenyi v grunte». *Stroitelnyie i dorojnyie mashinyi*. 2004. № 4.
6. Kopeyko V. Ya. Opyit stroitelstva podzemnyih pomescheniy sposobom «stena v grunte». *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 1965. № 6.
7. Vaynson A. A., Kadyirov A. S. Parametryi rabocheho organa nepreryivnogo deystviya dlya ustroystva fundamentov sposobom «stena v grunte». *Stroitelnyie i dorojnyie mashinyi*. 1985. № 9.
8. Fedorov B. S., Tkachev Yu. K., Smorodinov M. I. Razrabotka transhey sposobom «stena v grunte». *Stroitelnyie i dorojnyie mashinyi*. 1981. № 8.
9. Ustanovka dlia sporudzhennia stin u grunti : pat. 85186 MPK E02D 7/18 Ukraina : / S. V. Kravets, O. L. Romanovskiy, V. V. Matko, D. I. Protsyk. № 200512210 ; 25.06.2007 ; zaiavl. 19.12.2005 ; opubl. 12.01.2009, Biul. № 1, 2009.

Makarchuk O. V., Candidate of Engineering (Ph.D), Associate Professor, Nesterenko V. P., Candidate of Engineering (Ph.D), Associate Professor, Romanovskyi O. L., Candidate of Engineering (Ph.D), Associate Professor, Karpliuk V. R., Engineer (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

RESEARCH AND JUSTIFICATION OF VIBROAPPARATUS PARAMETERS FOR FORMATION OF SLOTS IN SOIL

One of the modern technologies for the construction of underground facilities is the "wall in the ground" technology.

The implementation of this technology involves two main ways - trench and trenchless, the latter is implemented using three groups of machines – static, shock and vibration.

The most progressive method nowadays for such construction is the use of vibrating machines.

The proposed technology, especially using vibrating machines, provides high productivity, simplicity, low complexity, and efficiency, reducing the cost and construction time.

Proposed indicators bring this technology out of competition in comparison with others, especially in the conditions of closely urban construction during the construction of underground structures in densely built-up areas, or on the territory of industrial facilities.

In some cases, in difficult hydrogeological conditions, construction named "walls in the ground" can also be used for deep laying foundations.

In hydraulic engineering, this technology is used mainly for the construction of anti filtration screens, locks, port facilities (deep-water berths, embankment walls, which are immersed at 20 m and deeper).

Based on the analysis and the identified advantages and disadvantages of the considered construction technology by the method of "wall in the ground", the task of this work is to develop and study a new design of a single-bucket hydraulic excavator with a vibrating projectile knife type.

The subject of the research is a vibrating projectile made in the form of a hollow rod (thick-walled tube), in the lower part of which a sharp conical tip is fixed, and slit-forming knives. In the lower part of the rod between the knives and the tip, holes are made for feeding the

wall-forming material from the concrete pump into the working area. On top of the rod, which is connected to the excavator boom by a guide, there is a vibrating exciter. A winch mounted on the working equipment of the base machine is used to lift the vibrating projectile from the formed slit. Transfer of installation to transport position is provided by the hydraulic cylinder.

Keywords: grant wall technology; vibrating projectile; new construction; vibrating exciter.

Макарчук О. В., к.т.н., доцент, Нестеренко В. П., к.т.н., доцент, Романовский О. Л., к.т.н., доцент, Карплюк В. Р., инженер
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОСНАРЯДА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЩЕЛЕЙ В ГРУНТЕ

Анализируются методы, оборудование и технические решения для возведения подземных сооружений способом «стена в грунте»; предлагается новая конструкция виброснаряда ножевого типа; представлены результаты теоретических исследований по оптимизации геометрических параметров рабочего органа, а также результаты экспериментальных исследований по определению установочных углов рабочего органа; представлена разработанная методика определения основных параметров предлагаемого виброснаряда.

Ключевые слова: технология стена в грунте; виброснаряд; новая конструкция; вибровозбудитель.
