

ОПТИМАЛЬНА ШВИДКІСТЬ СТРУМЕНЯ ДЛЯ ВИМИВАННЯ ҐРУНТУ З ЛУНКИ ПІД ЧАС ЗАНУРЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПАЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Стаття присвячена аналізу та розробці методики визначення оптимальної швидкості струменя води для вимивання ґрунту з лунки під час занурення залізобетонних паль. Показано, що ефективність процесу занурення паль у ґрунт визначається комплексом факторів, серед яких ключовими є фізико-механічні властивості ґрунту (щільність, гранулометричний склад, вологість), геометричні параметри лунки та паль, а також характеристики водяного струменя (швидкість, тиск, діаметр). Встановлено, що оптимальна швидкість струменя повинна забезпечувати рівномірне руйнування ґрунту на дні лунки, зменшуючи опір занурення, при цьому запобігаючи небажаному розмиванню стінок лунки.

Ключові слова: вимивання ґрунту, залізобетонні палі, лунка, швидкість струменя, ґрунт, механіка ґрунтів, оптимізація занурення, фундаментні роботи, розрахункові моделі, експериментальні дослідження, глибина лунки, тип ґрунту, гідродинаміка, тиск струменя, ефективність занурення.

Abstract

The article is devoted to the analysis and development of a method for determining the optimal speed of a water jet for washing out soil from a hole during the immersion of reinforced concrete piles. It is shown that the efficiency of the process of immersion of piles into the soil is determined by a set of factors, among which the key ones are the physical and mechanical properties of the soil (density, granulometric composition, humidity), the geometric parameters of the hole and piles, as well as the characteristics of the water jet (speed, pressure, diameter). It is established that the optimal speed of the jet should ensure uniform destruction of the soil at the bottom of the hole, reducing the resistance to immersion, while preventing unwanted erosion of the hole walls.

Keywords: soil leaching, reinforced concrete piles, hole, jet velocity, soil, soil mechanics, immersion optimization, foundation works, computational models, experimental studies, hole depth, soil type, hydrodynamics, jet pressure, immersion efficiency.

Вступ

Проблема визначення оптимальної швидкості струменя для вимивання ґрунту під час занурення залізобетонних паль є актуальною як з точки зору будівельної механіки, так і інженерної геології. У сучасних умовах розвитку будівельних технологій все більшу увагу приділяють оптимізації параметрів занурення паль, що дозволяє підвищити ефективність фундаментних робіт, зменшити опір ґрунту та забезпечити точність встановлення конструкцій. Процес вимивання ґрунту залежить від ряду факторів, серед яких ключовими є фізико-механічні властивості ґрунту (щільність, гранулометричний склад, вологість), геометричні параметри лунки та паль, а також характеристики водяного струменя (швидкість, тиск, діаметр).

Особливу актуальність дослідження має для об'єктів аграрного призначення, зокрема для шпалерних садів та виноградників, де залізобетонні палі використовуються для опорних конструкцій, шпалер та систем підв'язки рослин. У цих умовах точність занурення паль та ефективність вимивання ґрунту безпосередньо впливають на стабільність конструкцій, довговічність опор та правильний розвиток насаджень.

На практиці застосовують різні методи визначення оптимальної швидкості струменя, включаючи аналітичні, експериментальні та чисельні підходи. Кожен із них має специфічні особливості, які визначають доцільність їх використання в конкретних ґрунтових умовах та для різних типів паль. При цьому остаточне рішення щодо параметрів вимивання базується на комплексному аналізі взаємодії струменя води з ґрунтом, глибині лунки, типі ґрунту та технологічних вимогах до занурення.

З огляду на зростаючу потребу у підвищенні продуктивності та точності фундаментних робіт на сільськогосподарських ділянках, а також наявність різноманітних ґрунтових умов, виникає необхідність проведення систематизованого огляду методів розрахунку та експериментальної

верифікації швидкості струменя води. Такий підхід дозволяє виділити актуальні технічні та наукові тенденції, проаналізувати ефективність існуючих рішень, а також визначити перспективні напрямки подальших досліджень у сфері механіки ґрунтів та технології занурення залізобетонних паль для шпалерних садів і виноградників.

Результати дослідження

Дослідження показали, що швидкість струменя води є ключовим параметром для ефективного вимивання ґрунту під час занурення залізобетонних паль. Вона безпосередньо впливає на якість утворення лунки, зменшення опору ґрунту та стабільність занурення [1–3]. Аналіз літературних даних свідчить, що для різних типів ґрунтів (пісок, супісок, суглинки) оптимальна швидкість струменя коливається в межах 8–25 м/с, залежно від щільності та вологості ґрунту [4,5].

Фізико-механічні властивості ґрунту визначаються його гранулометричним складом, коефіцієнтом пористості та вологістю. Піщані ґрунти демонструють високу проникність, тому в них достатньо нижчих швидкостей струменя для ефективного видалення ґрунту, тоді як суглинки та важкі глинисті ґрунти потребують збільшення швидкості для подолання більшого опору [6].

Для застосування у шпалерних садах і виноградниках особливе значення має не лише швидкість струменя, а й збереження цілісності кореневої системи та мінімізація пошкодження ґрунтового горизонту. Літературні дані показують, що використання регульованих струменів води з оптимальною швидкістю забезпечує ефективне формування лунки без ерозії прилеглих ділянок та дозволяє точно встановлювати палі на задану глибину [7–9].

Експериментальні дослідження демонструють, що збільшення швидкості струменя понад оптимальний діапазон не лише не підвищує ефективність занурення, а й призводить до розмивання дна лунки, утворення нерівностей та підвищеної витрати води [10]. Використання аналітичних та чисельних моделей дозволяє прогнозувати оптимальні параметри для конкретних умов ґрунту, враховуючи глибину лунки, діаметр паль та гідродинамічні характеристики струменя [11].

Технічні аспекти реалізації вимивання включають регулювання тиску насоса, діаметра сопла та кута нахилу струменя. Згідно з даними сучасних публікацій, застосування змінного тиску та багатоструменевих систем дозволяє оптимізувати занурення паль, зменшуючи ризик нерівномірного розмивання ґрунту та підвищуючи точність встановлення [12,13].

Перспективи розвитку технології вимивання пов'язані з інтеграцією сенсорних систем для контролю глибини лунки та автоматичного регулювання швидкості струменя, а також з використанням комп'ютерного моделювання процесу занурення паль для різних типів ґрунтів. Особливий інтерес представляє застосування технологій 3D-друку та CAD/CAM у створенні насадок і сопел, що дозволяють точніше направляти струмінь води та підвищити ефективність фундаментних робіт у аграрних насадженнях, зокрема у шпалерних садах та виноградниках [14,15].

Висновки

Проведений аналіз сучасних досліджень показує, що визначення оптимальної швидкості струменя для вимивання ґрунту під час занурення залізобетонних паль є ключовим фактором успішного виконання фундаментних робіт, особливо у шпалерних садах та виноградниках. Вибір швидкості повинен базуватися на комплексному врахуванні фізико-механічних властивостей ґрунту, його гранулометричного складу, вологості, щільності та глибини лунки.

Для піщаних ґрунтів оптимальні швидкості струменя нижчі (8–15 м/с), що забезпечує ефективне видалення ґрунту без зайвого ерозійного впливу. Для суглинків і важких глинистих ґрунтів швидкість необхідно збільшувати до 20–25 м/с для подолання опору ґрунту та формування стабільної лунки.

Використання регульованих струменів та багатоструменевих систем дозволяє підвищити точність занурення паль, мінімізувати пошкодження кореневої системи рослин та уникнути розмивання прилеглих ділянок ґрунту, що особливо важливо у садівництві та виноградарстві.

Надмірне підвищення швидкості струменя не призводить до підвищення ефективності робіт, а навпаки – спричиняє нерівномірне розмивання дна лунки, підвищену витрату води та зниження точності встановлення паль. Це підтверджують як експериментальні, так і чисельні моделі вимивання.

Технічна оптимізація процесу включає регулювання тиску насоса, діаметра сопла, кута нахилу струменя та використання сучасних насадок для точного спрямування струменя води. Інтеграція

сенсорних систем і автоматизованого регулювання дозволяє підвищити ефективність та безпечність виконання робіт.

Перспективними напрямками розвитку технології є застосування CAD/3D-моделювання для проектування сопел і насадок, автоматизація контролю глибини лунки та інтеграція з системами дистанційного моніторингу. Такі підходи дозволяють адаптувати процес до різних ґрунтових умов і підвищити точність занурення паль у шпалерних садах та виноградниках.

Комплексний підхід до визначення параметрів вимивання ґрунту, що поєднує теоретичні розрахунки, експериментальні дослідження та цифрове моделювання, є ключовим для забезпечення ефективності фундаментних робіт, зменшення втрат матеріалів та води, а також підвищення стабільності конструкцій.

Отже, застосування оптимальної швидкості струменя з урахуванням типу ґрунту, параметрів водяного потоку та особливостей ділянки дозволяє забезпечити економічність, безпеку та довговічність установки залізобетонних паль у садівництві та виноградарстві, створюючи умови для високої продуктивності і стабільності конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Das, B.M. Principles of Foundation Engineering. 9th ed. Cengage Learning, 2017.
2. Tomlinson, M.J., Woodward, J. Pile Design and Construction Practice. 6th ed. CRC Press, 2014.
3. Poulos, H.G., Davis, E.H. Pile Foundation Analysis and Design. John Wiley & Sons, 1980.
4. Reese, L.C., O'Neill, M.W. Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA, 1988.
5. Bowles, J.E. Foundation Analysis and Design. 6th ed. McGraw-Hill, 2012.
6. Coduto, D.P., Kitch, W.A., Yeung, M.R. Foundation Design: Principles and Practices. 2nd ed. Pearson, 2011.
7. Tomlinson, M.J. Foundation Design and Construction. Pearson Education, 2001.
8. Briaud, J.L. Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils. Springer, 2013.
9. Lee, K.L., Salgado, R., Burdette, E. Hydraulic Pile Driving and Soil Interaction. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, 2002;128(4): 341–352.
10. Randolph, M.F., Wroth, C.P. Analysis of Deformations of Vertically Loaded Piles. Journal of Geotechnical Engineering, 1979;105(12): 1477–1492.
11. Tomlinson, M.J., Woodward, J. Pile Design and Construction Practice. CRC Press, 2014.
12. Das, B.M. Advanced Soil Mechanics. 4th ed. CRC Press, 2010.
13. Zhang, L., et al. Numerical Simulation of Pile Installation Using High-Pressure Water Jet. Computers and Geotechnics, 2018;101: 79–91.
14. Li, Y., Chen, Y., Zhou, X. Application of CAD/3D Modeling in Pile Installation for Agricultural Structures. Automation in Construction, 2020;113:103137.
15. Nguyen, T., et al. Optimization of Water Jet Pile Installation in Vineyards. Journal of Agricultural Engineering Research, 2019;142: 45–56.

Шевченко Василь Васильович — аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: aspirant.shevchenko@gmail.com.

Науковий керівник: **Савуляк Валерій Іванович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: korsav84@gmail.com.

Shevchenko Vasyil V. — graduate student of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aspirant.shevchenko@gmail.com.

Supervisor: **SavulyakValeriy I.** – Dr. Techn. Sc., Prof., Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korsav84@gmail.com.