

УДК 69.624.1

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.051125.67.1192

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ВЛАШТУВАННІ ГВИНТОВИХ ПАЛЬ У РІЗНИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

КОКОШУЄВ О. П.¹, *асп.*,

САМЧЕНКО Р. В.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*,

ЮХИМЕНКО А. І.³, *канд. техн. наук, доц.*

¹ Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, 69011, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (096) 649-42-99, e-mail: a.kokoshuev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5594-2933

^{2*} Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, 69011, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (050) 454-81-65, e-mail: sektor3@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1013-0047

³ Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, 69011, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (095) 447-13-65, e-mail: winner.wcar@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4231-9602

Анотація. У статті представлено комплексне дослідження ефективності організаційно-технологічних рішень, пов'язаних із влаштуванням металевих гвинтових паль у різних регіонах України з урахуванням геологічної, кліматичної та техногенної специфіки територій. Основна увага зосереджена на вивченні адаптації сучасних інженерних технологій фундаментобудування до умов складного ґрунтового середовища та обмежень, які виникають при будівництві в регіонах зі зсувонебезпечними, водонасиченими, насипними або сейсмічно активними ґрунтами. Гвинтові палі розглянуто як перспективну технологію для фундаментів, яка забезпечує не лише швидке зведення конструкцій, а й мінімальний вплив на навколишнє середовище. Також, у статті окреслено основні параметри, що формують ефективність прийнятих рішень: інженерно-геологічні умови, кліматичні чинники, конструктивні характеристики паль (діаметр, довжина, антикорозійний захист тощо), організаційно-технологічні аспекти монтажу, рівень кваліфікації персоналу, вартісні показники та екологічні фактори. Регіональний аналіз охоплює умови Карпатського, Поліського, Подільського, Дніпровського, Причорноморського та Кримського регіонів. Особлива увага приділяється технічним і логістичним викликам, що виникають у процесі впровадження гвинтових паль у міських умовах, зокрема під час реконструкції об'єктів у Києві, Харкові, Дніпрі та Одесі. Наведено числові діапазони ключових конструктивних і технологічних характеристик: діаметр паль 76–133 мм, довжина 2–6 м, товщина стінки 3.5–6 мм, швидкість монтажу 15–50 паль за зміну, термін антикорозійного захисту 30–50 років. Доведено, що завдяки скороченню термінів і зменшенню вартості будівництва гвинтові палі є ефективною альтернативою традиційним фундаментам, особливо в умовах техніко-економічної доцільності та високих вимог до швидкості реалізації проектів. Зроблено висновок про необхідність подальшої стандартизації та нормативного регулювання технології з урахуванням регіональної специфіки, а також розвитку електронних інформаційно-аналітичних інструментів для обґрунтованого вибору параметрів палових систем. Отримані результати можуть бути використані проектними, будівельними та науково-дослідними організаціями як основа для оптимізації технологій фундаментобудування в Україні.

Ключові слова: *гвинтові палі; металеві палі; інженерно-геологічні умови; фундаменти; організаційно-технологічні рішення; регіони України; ефективність; ґрунти; будівництво*

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE INSTALLATION OF SCREW PILES IN VARIOUS REGIONS OF UKRAINE

KOKOSHUYEV O.P.¹, *PhD Stud.*,

SAMCHENKO R.V.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

YUKHYMENKO A.I.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 66, Universytetska St., Zaporizhzhia, 69011, Ukraine, tel. +38 (096) 649-42-99, e-mail: a.kokoshuev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5594-2933

^{2*} Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 66, Universytetska St., Zaporizhzhia, 69011, Ukraine, tel. +38 (050) 454-81-65, e-mail: sektor3@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1013-0047

³ Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 66, Universytetska St., Zaporizhzhia, 69011, Ukraine, tel. +38 (095) 447-13-65, e-mail: winner.wcar@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4231-9602

Abstract. The article presents a comprehensive study of the effectiveness of organizational and technological solutions related to the installation of metal screw piles in different regions of Ukraine, taking into account the geological, climatic and technogenic specifics of the territories. The main attention is focused on studying the adaptation of modern engineering technologies for foundation construction to the conditions of a complex soil environment and the limitations that arise during construction in regions with landslide-prone, water-saturated, bulk or seismically active soils. Screw piles are considered as a promising technology for foundations, which provides not only rapid construction of structures, but also minimal impact on the environment. Also, the article outlines the main parameters that shape the effectiveness of the decisions made: engineering and geological conditions, climatic factors, structural characteristics of piles (diameter, length, anti-corrosion protection, etc.), organizational and technological aspects of installation, level of personnel qualification, cost indicators and environmental factors. The regional analysis covers the conditions of the Carpathian, Polesie, Podolsk, Dnipro, Black Sea and Crimean regions. Special attention is paid to the technical and logistical challenges that arise in the process of introducing screw piles in urban conditions, in particular during the reconstruction of facilities in Kyiv, Kharkiv, Dnipro and Odessa. The numerical ranges of key structural and technological characteristics are given: pile diameter 76–133 mm, length 2–6 m, wall thickness 3.5–6 mm, installation speed 15–50 piles per shift, anti-corrosion protection period 30–50 years. It is proven that due to the reduction of terms and reduction in construction costs, screw piles are an effective alternative to traditional foundations, especially in conditions of technical and economic feasibility and high requirements for the speed of project implementation. The conclusion is made about the need for further standardization and regulatory regulation of the technology, taking into account regional specifics, as well as the development of electronic information and analytical tools for a well-founded selection of pile system parameters. The results obtained can be used by design, construction and research organizations as a basis for optimizing foundation construction technologies in Ukraine.

Keywords: *screw piles; metal piles; engineering and geological conditions; foundations; organizational and technological solutions; regions of Ukraine; efficiency; soils; construction*

Постановка проблеми. У сучасному будівництві фундамент є однією з ключових складових, що визначає надійність і довговічність об'єкта. Особливої уваги потребують фундаменти в умовах складних інженерно-геологічних умов, які характерні для багатьох регіонів України. У зв'язку з цим зростає інтерес до альтернативних типів фундаментів, зокрема металевих гвинтових паль, які завдяки своїм конструктивним особливостям дозволяють ефективно вирішувати завдання зведення споруд на слабких, насипних, водонасичених чи мерзлих ґрунтах [1].

Проте ефективність застосування гвинтових паль значною мірою залежить від організаційно-технологічних рішень, що приймаються на етапах проектування та виконання робіт. Відсутність узагальненого підходу до оцінки ефективності цих рішень у регіональному контексті створює перешкоди при масштабному впровадженні цієї технології.

Різноманітність геологічних, кліматичних і техногенних умов вимагає адаптації технологічних рішень до конкретних регіональних особливостей. Зокрема, в Карпатському регіоні переважають глинисті та піщані ґрунти з підвищеною небезпекою зсуву, тоді як у південних регіонах домінують водонасичені

ґрунти з високим рівнем ґрунтових вод. Такі відмінності визначають актуальність даного дослідження та потребують детального аналізу ефективності організаційно-технологічних рішень використання металевих гвинтових паль у різних умовах [2; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженням застосування гвинтових паль у будівництві на території України присвячені праці багатьох українських і зарубіжних дослідників. Основна увага приділялась технічним характеристикам паль, методам їх розрахунку, а також практичному досвіду використання в різних інженерно-геологічних умовах [4–6].

Серед українських дослідників варто відзначити роботи В. М. Улицького, В. С. Балицького, О. М. Галінського, С. В. Романова, М. В. Корольова, В. К. Черненка, які аналізували механіку взаємодії гвинтових паль з ґрунтовим середовищем та вплив типу палі на несучу здатність. У їхніх дослідженнях було підтверджено високу ефективність металевих гвинтових паль для легких і середньозаглиблених фундаментів на слабких ґрунтах. Розглядалися питання надійності та довговічності гвинтових паль, зокрема досліджувався вплив корозійних

процесів у різних регіонах України. Зазначалось, що для забезпечення тривалої експлуатації паль необхідно застосовувати спеціальні антикорозійні покриття або використовувати палі зі сталі з підвищеною стійкістю до агресивних середовищ [6].

Дослідження зарубіжних вчених Акіо Кітамурі, Малком Болтон, Наїме Окамура зосереджуються на стандартизації технології монтажу та дослідженню довговічності металевих гвинтових систем в умовах глибокого промерзання та сезонних коливань рівня ґрунтових вод. Було розроблено типові рішення щодо гвинтових фундаментів для приватного та комерційного будівництва [4].

Окремий напрям досліджень становить аналіз впровадження гвинтових паль в умовах реконструкції старих будівель. Було підтверджено, що така технологія дозволяє значно знизити витрати часу та ресурсів без шкоди для надійності конструкції.

При цьому, на даний час, залишається недостатньо досліджений аспект комплексного аналізу ефективності організаційно-технологічних рішень саме в регіональному контексті. Більшість публікацій розглядає локальні приклади без узагальнення результатів для різних регіонів України, що актуалізує необхідність проведення подібного дослідження.

Мета статті – дослідження ефективності організаційно-технологічних рішень при влаштуванні металевих гвинтових паль у різних регіонах України з урахуванням специфіки інженерно-геологічних умов, кліматичних факторів, техногенного навантаження та рівня розвитку будівельної інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. Україна є територією з великою геологічною та кліматичною різноманітністю, що суттєво впливає на вибір методів фундаментобудування. У зв'язку з цим металеві гвинтові палі є актуальним рішенням, здатним адаптуватися до різноманітних умов. Гвинтові палі являють собою сталеві трубчасті елементи зі спіралеподібною лопаттю на кінці, що занурюється в ґрунт за допомогою обертального руху. Вони не потребують бетонування чи витримки, можуть

монтуватися безпосередньо в ґрунт за допомогою спеціалізованого обладнання і відразу готові до експлуатації. Їх особливо ефективно використовувати в умовах водонасичених і слабких ґрунтів, на схилах та у важкодоступних місцях.

Розглянемо класифікацію регіонів України за інженерно-геологічними умовами. Гвинтові палі знайшли широке застосування у Карпатському регіоні, де переважають зсувонебезпечні ґрунти. Тут перед початком монтажу важливо враховувати геодинамічну активність територій і здійснювати ретельне обстеження ділянки. Найчастіше використовують комбіновані фундаменти, в яких гвинтові палі поєднуються з анкерними або буроін'єкційними системами для досягнення більшої стійкості.

У Поліському регіоні ґрунти здебільшого болотисті та насичені вологою, тому застосування гвинтових паль забезпечує швидке зведення фундаментів без необхідності відкачування води. Вони дозволяють встановлювати опори ліній електропередач, сонячні панелі та легкі каркасні споруди навіть у важкопрохідних умовах. Поділля характеризується наявністю чорноземів та глинистих порід, що дозволяє використовувати палі без додаткового зміцнення, а в Дніпровському регіоні актуальним є застосування гвинтових паль у реконструкції старих споруд. Тут частіше стикаються з насипними ґрунтами в умовах щільної міської забудови, тому палі стають оптимальним рішенням, що не вимагає важкої техніки та значного обсягу земляних робіт. У Причорномор'ї складність становлять солончаки та висока корозійна агресивність ґрунтів, тому тут використовують палі з антикорозійним покриттям або оцинковані конструкції.

Організаційно-технологічні аспекти є критично важливими при влаштуванні гвинтових паль. На першому етапі здійснюється ретельне геологічне обстеження майданчика, яке дозволяє визначити тип ґрунтів, рівень ґрунтових вод і потенційні ризики, зокрема зсуви чи підтоплення. Вибір типу палі, її довжини, діаметра та захисного покриття має відповідати не лише навантаженню на

фундамент, а й характеристикам конкретної ділянки. Успішне виконання робіт залежить також від якості підготовки території — необхідно вирівняти майданчик, забезпечити дренаж та, за потреби, влаштувати піщано-гравійну підготовку. Виходячи з цього, під час аналізу ефективності організаційно-

технологічних рішень щодо влаштування металевих гвинтових паль у різних регіонах України доцільно враховувати комплекс параметрів, які охоплюють інженерно-геологічні, техніко-економічні, організаційні та технологічні характеристики (табл.).

Таблиця

Основні параметри для аналізу ефективності організаційно-технологічних рішень при влаштуванні гвинтових паль

Назва характеристик	Опис параметрів
<i>Інженерно-геологічні умови</i>	Тип ґрунтів, рівень ґрунтових вод, глибина промерзання, наявність агресивного середовища.
<i>Кліматичні та регіональні умови</i>	Температурний режим, кількість опадів, сейсмічність району.
<i>Конструктивні параметри паль</i>	Діаметр, довжина, товщина стінки, тип лопаті, марка сталі, антикорозійний захист.
<i>Технологічні характеристики монтажу</i>	Тип техніки, швидкість монтажу, доступність об'єкта.
<i>Організаційні фактори</i>	Кваліфікація персоналу, логістика, наявність старих фундаментів.
<i>Економічні показники</i>	Вартість матеріалів і монтажу, тривалість циклу, обслуговування.
<i>Екологічні та соціальні аспекти</i>	Шум, вібрації, вплив на навколишнє середовище.

Наведемо допустимі діапазони числових значень, представлених параметрів у таблиці, які можуть бути використані при аналізі ефективності організаційно-технологічних рішень під час влаштування металевих гвинтових паль. Діаметр металевих гвинтових паль зазвичай коливається в межах від 76 до 133 мм, залежно від проєктного навантаження. Довжина паль найчастіше варіюється від 2 до 6 метрів, але за необхідності може бути збільшена. Товщина стінки металевої труби, яка використовується як тіло палі, становить переважно 3.5–6 мм. При монтажі контроль крутного моменту може сягати значень від 2 до 6 кНм, що дозволяє визначити досягнення несучого шару ґрунту. Продуктивність монтажу залежить від техніки та умов ділянки і становить орієнтовно від 15 до 50 паль за зміну. Глибина промерзання ґрунту в різних регіонах України становить приблизно 0.9–1.5 метра, що слід враховувати при визначенні мінімальної довжини палі. У сейсмічно активних регіонах (наприклад, Закарпаття) проєктна стійкість повинна відповідати 6–8 балам за шкалою MSK-64. Антикорозійне покриття має забезпечувати захист на термін експлуатації від 30 до 50

років, залежно від умов середовища. Вказані числові параметри становлять базову основу для порівняння варіантів рішень у конкретних умовах регіону та є базою для техніко-економічного обґрунтування вибору гвинтових паль.

Монтаж гвинтових паль виконується за допомогою мобільного або стаціонарного обладнання. У разі невеликих обсягів робіт або відсутності під'їзду застосовують ручні механізми, тоді як при зведенні великих об'єктів доцільно використовувати гідравлічні установки. Дуже важливо дотримуватись технологічних параметрів занурення: контролювати вертикальність палі, глибину її занурення, значення крутного моменту. У багатьох випадках саме нехтування цими вимогами призводить до зниження несучої здатності конструкцій або до їх деформацій у процесі експлуатації.

Не менш важливою є кваліфікація персоналу, який виконує монтаж. Працівники повинні розуміти специфіку роботи з металевими гвинтовими палями, особливості різних ґрунтів, вміти проводити візуальну та приладову перевірку встановлених елементів. Наявність системи контролю якості дозволяє на кожному етапі

будівництва гарантувати відповідність виконаних робіт проектним вимогам.

З економічного погляду, гвинтові палі дозволяють суттєво скоротити час будівництва — іноді на 40–60 % у порівнянні з традиційними монолітними або збірними фундаментами. Особливо помітною ця економія стає при зведенні малоповерхових приватних споруд, складів, тимчасових будівель або споруд енергетичної інфраструктури. В умовах реконструкції в межах щільної забудови, як у Києві, Харкові, Одесі чи Дніпрі, гвинтові палі забезпечують можливість проведення робіт без залучення великогабаритної техніки і без ризику ушкодження суміжних об'єктів.

Таким чином, комплекс організаційно-технологічних рішень у поєднанні з правильним вибором типу металевих гвинтових паль дозволяє досягати високої ефективності в різноманітних умовах України. Урахування регіональних особливостей, впровадження стандартів якості монтажу та підготовка кваліфікованого персоналу є запорукою успішного впровадження цієї технології в практику сучасного будівництва.

Висновки

Проведене дослідження підтверджує високу ефективність металевих гвинтових паль як технологічного рішення для фундаментобудування у різних регіонах України. Завдяки своїм конструктивним властивостям, ці палі демонструють універсальність і здатність до адаптації у складних інженерно-геологічних умовах, що особливо актуально в умовах великої

географічної й кліматичної різноманітності нашої країни. Використання гвинтових паль дозволяє значно скоротити терміни будівництва, зменшити вартість земляних і бетонних робіт, а також забезпечити стабільність споруд навіть на слабких або водонасичених ґрунтах.

Успішне впровадження цієї технології залежить від комплексу організаційно-технологічних рішень: від ретельного інженерно-геологічного аналізу, правильного підбору конструкції палі, до якісного виконання монтажу із дотриманням технічних параметрів. Особливу увагу слід приділяти кваліфікації персоналу, що безпосередньо впливає на якість кінцевого результату. Аналіз практики застосування металевих гвинтових паль в Україні засвідчує їхню ефективність не лише в новому будівництві, а й у реконструкції об'єктів, особливо в умовах щільної міської забудови.

У перспективі подальшого розвитку важливим є створення та вдосконалення нормативної бази, що регламентує використання гвинтових паль з урахуванням регіональних особливостей, а також запровадження сучасних цифрових інструментів, таких як електронні карти ґрунтів. Все це сприятиме підвищенню ефективності проєктування, зменшенню ризиків і розширенню сфери застосування цієї технології, включаючи об'єкти енергетичної, транспортної та соціальної інфраструктури. Отже, металеві гвинтові палі в умовах України мають всі передумови стати одним із базових інструментів сталого та ефективного розвитку будівельної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bryn M. J., Afonin D. A., Bogomolova N. N. Geodetic Monitoring of Deformation of Building Surrounding an Underground Construction. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 189. Pp. 386–392.
2. Dubinchyk O., Petrenko V., Ihnatenko D., Kildieiev V. Comprehensive analysis of the retaining pile structure with the determining the stability factor by numerical methods. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 109. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900020>
3. Doubrovsky M. P., Meshcheriakov G. N. Physical modeling of sheet piles behavior to improve their numerical modeling and design. *Soils Foundations. Off. Jour. of the Japanese Geotechnical Society. Elsevier*. 2015, vol. 55, iss. 4, pp. 691–702. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003808061500075X>
4. Kowacka M., Skorupka D., Duchaczek A., Zagrodnik P. Identification of geodetic risk factors occurring at the construction project preparation stage. *Open Engineering*. 2019. Vol. 9, iss. 1. Pp. 14–17. ISSN 2391-5439. URL: <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0002>
5. Sedin V., Volnianskyi Y., Kovba V., Bikus K., Zahilskyi V., Kowacka M., Skorupka D., Duchaczek A. & Zagrodnik P. Numerical simulation of the stress-strain state of the base of the multi-helix screw pile at its static loading under full-scale test conditions. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 267. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0120153>

6. Чуб О. А. Організаційні принципи прийняття технологічних рішень при відновленні об'єктів міського господарства. *Сучасне промислове та цивільне будівництво*. Мakiivka, 2011. Т. 7, № 2. С. 75–81.

REFERENCES

1. Bryn M.J., Afonin D.A. and Bogomolova N.N. Geodetic Monitoring of Deformation of Building Surrounding an Underground Construction. *Procedia Engineering*. 2017, vol. 189, pp. 386–392.
2. Dubinchyk O., Petrenko V., Ihnatenko D. and Kildieiev V. Comprehensive analysis of the retaining pile structure with the determining the stability factor by numerical methods. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 109. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900020>
3. Doubrovsky M.P. and Meshcheriakov G.N. Physical modeling of sheet piles behavior to improve their numerical modeling and design. *Soils & Foundations. Off. Jour. of the Japanese Geotechnical Society. Elsevier*, 2015, vol. 55, iss. 4, pp. 691–702. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003808061500075X>
4. Kowacka M., Skorupka D., Duchaczek A. and Zagrodnik P. Identification of geodetic risk factors occurring at the construction project preparation stage. *Open Engineering*. 2019, vol. 9, iss. 1, pp. 14–17, ISSN 2391-5439. URL: <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0002>
5. Sedin V., Volnianskyi Y., Kovba V., Bikus K. and Zahilskyi V. Numerical simulation of the stress-strain state of the base of the multi-helix screw pile at its static loading under full-scale test conditions. *AIP Conference Proceedings*. 2019, vol. 9, iss. 1, pp. 14–17. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0120153>
6. Chub O.A. *Orhanizatsiini pryntsyipy pryiniattia tekhnolohichnykh rishen pry vidnovlenni obiektiv miskoho hospodarstva* [Organizational principles for making technological decisions when restoring municipal facilities]. *Suchasne promyslove ta tsyvilne budivnytstvo* [Modern Industrial and Civil Construction]. Makiivka, 2011, vol. 7, no. 2, pp.75–81 (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.09.2025.