

Міністерство освіти і науки України  
Одеська державна академія будівництва та архітектури

**Мещеряков Георгій Миколайович**



УДК 69.002.5

**ТЕХНОЛОГІЯ ВДАВЛЮВАННЯ ПАЛЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ  
АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ**

Спеціальність: 05.23.08 – Технологія та організація промислового  
та цивільного будівництва

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Державному підприємстві «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С. Балицького» Міністерства розвитку громад та територій України

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
**Романов Станіслав Васильович**,  
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут  
будівельного виробництва ім. В.С. Балицького»,  
завідувач відділом фундаментів

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент,  
**Галушко Валентина Олександрівна**,  
Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
професор кафедри технології будівельного виробництва

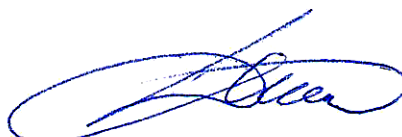
кандидат технічних наук,  
**Юхименко Артем Ігорович**,  
Запорізький національний університет, доцент кафедри  
промислового та цивільного будівництва

Захист відбудеться 13.05.2021 р. о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 41.085.03 в Одеській державній академії будівництва та архітектури» за адресою: вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 49600, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 49600, Україна та на сайті академії: <https://odaba.edu.ua/science/specialized-scientific-council-d-41.085.03/on-the-defense-of-theses-d-41.085.03>.

Автореферат розісланий 12.04.2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Вченої ради  
к.т.н., доцент



В.І. Данелюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Роботу присвячено вдосконаленню технології влаштування пальових основ шляхом вибору найбільш ефективного засобу механізації, розробки способу й системи для вдавнення паль, що дає змогу автоматизувати цей процес для різних конструктивно-технологічних рішень пальового поля, зокрема в умовах обмеженого простору, на зсувних і зсувонебезпечних схилах, а також на слабких водонасичених ґрунтах.

**Актуальність теми.** На проведення робіт для влаштування підземних частин будівель може бути витрачено до 50% часу від загальної тривалості будівництва, цей процес є найбільш трудомістким і дороговартісним, а наявні методи недостатньо ефективні.

Аналіз результатів досліджень методу вдавнення паль показав, що його промислове застосування має чимало обмежень, зумовлених конструктивно технологічними особливостями використовуваного устаткування: великою масою та габаритними розмірами, недостатнім зусиллям вдавнення паль, недосконалістю конструкцій затискних механізмів та способу позиційного переміщення, а також систем керування та контролю.

Використовувані механізми не дають змоги автоматизувати процеси вдавнення палі в ґрунт. Наявні машини та способи вдавнення паль не завжди дають змогу проводити роботи в обмежених умовах, на схилах, а також на слабких ґрунтах. Для машин, що мають невеликі габарити й масу, які можуть бути використані в розглянутих умовах, допоміжні технологічні процеси можуть займати від 75% до 90% машинного часу. Це призводить до зниження продуктивності, підвищення трудовитрат та експлуатаційних витрат.

Зважаючи на вищезазначене, розробка способу й системи для вдавнення паль, які підвищують ефективність та автоматизують технологічні процеси для різних конструктивно-технологічних рішень пальових основ, зокрема в умовах обмеженого простору, на зсувних схилах, а також на слабких водонасичених ґрунтах, є актуальним завданням.

### **Зв'язок з науковими програмами і темами.**

Робота відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки на період до 2020 р. Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р., №2623-III та змінам до цього закону від 09.09.2010 р., № 2519-IV Постанові Кабміну України №1201-050/01 від 12.09.2010 р., «Про науково-практичну концепцію технічного оновлення та модернізації будівельної галузі та інвестиційної сфери в цілому», Закону України №3715-VI від 08.09.2011, «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», а також тематичній спрямованості науково-дослідних робіт ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С. Баліцького» Міністерства розвитку громад та територій України.

**Достовірність** результатів дослідження підтверджується прийнятою методикою, а саме: способом отримання даних за елементами комплексних технологічних процесів вдавнення паль в умовах будівельних майданчиків, використанням інформаційної бази накопиченої під час виробничої експлуатації

розробленого обладнання, використанням відомих положень технології машинобудування й будівельного виробництва, відповідністю виконаних розробок державним стандартам, нормам і правилам.

Оригінальність і новизна запропонованого способу влаштування пальових фундаментів та конструкції системи для вдавнення паль підтверджена двома патентами України на винаходи: на відповідний спосіб і систему.

**Мета дослідження.** Удосконалення технологічних та організаційних методів вдавнення паль на основі розробленої агрегатно-модульної системи й способу її використання для різних конструктивно-технологічних рішень пального поля, зокрема в умовах обмеженого простору, на зсувних схилах, а також на слабких водонасичених ґрунтах.

Для досягнення поставленої мети в роботі виконано такі завдання:

1. Здійснено аналіз наявних способів влаштування пальових основ та устаткування для вдавлювання паль;

2. Розроблено методику проведення дослідження;

3. Розроблено технологію та систему для вдавлювання паль, які дають змогу автоматизувати цей процес для різних конструктивно-технологічних рішень пального поля, зокрема в обмежених умовах;

4. Визначено основні показники технологічних процесів вдавнення паль у різних ґрунтових умовах, при різних конструктивно-технологічних рішеннях пального поля та масштабах виробництва;

5. Виконано організаційно-технологічне проектування робіт зі вдавнення паль, із використанням розробленого обладнання, включаючи порівняльний аналіз показників ефективності різних способів;

6. Визначено залежності універсального показника ефективності розробленої технології та обладнання від 3-ох найбільш значущих чинників: масштабів виробництва, кількості використовуваних модулів та організаційно-технологічної схеми їхнього використання;

7. Розроблено рекомендації щодо впровадження результатів виконаного дослідження та подальшого розвитку технології влаштування пальових основ із використанням агрегатно-модульної системи.

**Об'єкт дослідження:** технологія влаштування пальових основ.

**Предмет дослідження:** технологія вдавлювання паль із застосуванням розробленої агрегатно-модульної системи.

**Методи дослідження.** Аналіз та узагальнення інформаційних джерел, виробничий експеримент у натурних умовах будівельних майданчиків, метод прямого спостереження, повномасштабне фізичне, організаційно-технологічне й математичне моделювання будівельних процесів, порівняльний аналіз та оцінка відповідності теоретичних і експериментальних даних.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в тому, *що вперше:*

– розроблено технологію використання агрегатно-модульної системи для вдавлювання паль для різних конструктивних та технологічних рішень пального поля, зокрема в ускладнених умовах, на схилах та на слабких ґрунтах;

– експериментально встановлені та підтвержені в умовах будівельних

майданчиків показники ефективності розробленої технології та модульної системи для вдавнення паль;

- встановлені залежності питомої маси вантажів, переміщуваних краном, від загальної кількості паль у проєкті фундаменту, кількості використовуваних модулів (компонування) розробленої системи та організаційно-технологічної схеми їхнього використання;

*Удосконалено:*

- технологію влаштування пальових основ шляхом автоматизації процесу вдавлювання паль із застосуванням розроблених засобів;

*Отримала подальший розвиток:*

- методологія організаційно-технологічного проєктування процесів вдавнення паль шляхом розробки рекомендацій щодо вибору найбільш ефективного способу виробництва робіт із використанням розробленої агрегатно-модульної системи для різних умов (масштабів) будівництва.

**На захист вноситься:**

1. Концепція застосування агрегатно-модульної системи для вдавнення паль на основі конструктивно-технологічного поєднання використовуваних модулів з модульною координаційною сіткою споруджуваної будови;

2. Результати експериментальних досліджень розробленої технології вдавнення паль із використанням системи, виконані у виробничих умовах;

3. Рекомендації щодо варіантного проєктування організаційно-технологічних рішень вдавлювання паль із використанням модульної системи на основі порівняння універсального показника ефективності.

**Практична значимість отриманих результатів.**

Результати дослідження стали підґрунтям для розробки:

- двох патентів України, зокрема на спосіб влаштування пальових фундаментів та систему для вдавлювання паль;

- типової технологічної карти на виконання робіт зі вдавлювання паль у ґрунт із застосуванням розробленої агрегатно-модульної системи;

- відомчих розцінок на вдавлювання паль різними технологічними способами із застосуванням розробленої технології та обладнання.

Практична значимість роботи підтверджена впровадженням результатів дослідження на численних об'єктах будівництва з 2006 р. до цього часу.

**Особистий внесок здобувача.**

Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею.

Положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Особистий внесок в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає у розробці: основної концепції, технології та обладнання для переміщення палевдавлювальної машини СО-450, типової технологічної карти трудових процесів, а також постановки завдання дослідження, технологічного і математичного моделювання процесів вдавнення паль на основі даних натурних досліджень, а також впровадження отриманих результатів на будівельних майданчиках.

**Апробація роботи.** Основні результати дослідження висвітлено автором на науково-технічних конференціях у Німеччині, Швейцарії, Португалії, Росії та Україні, а співавторами – у Франції, Японії, Туреччині, Греції та Китаї:

CGE 2015, The 1st Intern. Conference on Challenges in Geotechnical Engineering, Kyiv; IIR KNU 2015 - International Roundtable Ukrainian - India relations: Problems & Prospects "New opportunities for cooperation in science and technology", Kyiv; ICSMGE 2013, The 18<sup>th</sup> Intern. Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris;

IS-Kanazawa 2012, The 9<sup>th</sup> International Conf. on Testing and Design Methods for Deep Foundations, Kanazawa, Japan; Scientific Congress "Advances in Applied Physics and Materials Science Congress", Antalya, 2011;

The XV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 2011, Athens; Press-in Engineering 2011, The 3<sup>th</sup> IPA International Workshop in Shanghai; Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування - Всеукраїнська науково-технічна конференція, Одеса, 2011; ICPMG 2010 The 7<sup>th</sup> International Conference on Physical Modeling in Geotechnics, 2010 Zurich;

GeoMos 2010, International Geotechnical Conference "Geotechnical Challenges in Megacities", Moscow; The 17<sup>th</sup> ICSMGE 2009, TS 4C Natural Hazard Mitigation, Alexandria; Міжнародна конференція з геотехніки «Розвиток міст і геотехнічне будівництво» ISSMGE 2008, Санкт-Петербург;

Stress Wave 2008 (ISSMGE TC18) The 8<sup>th</sup> International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles, Lisbon; Науково-технічна конференція «Механіка ґрунтів, геотехніка і фундаментобудування», 2008, Полтава;

«Інтертранспорт» 2009 – 2016. Будівництво портових гідротехнічних споруд» – науково-практична міжнародна конференція, Одеса; Міжнародна науково-практична конференція «Сучасна будівельна техніка» 2005 – 2009, Одеса; «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування», п'ята всеукраїнська науково-технічна конференція – 2004, Одеса;

Науково-практична конференція на Міжнародній виставці будівельних машин, технологій і будівельної техніки. The 28<sup>th</sup> Bauma Мюнхен. – 2007;

Hannover Messe 2007 – 2008. Міжнародна виставка високих технологій, інновацій та промислової автоматизації. Ганновер, Німеччина.

**Публікації.** Основні результати дослідження опубліковано в 28 наукових публікаціях, серед яких 10 – у закордонних виданнях, які включені до наукометричних баз; 8 – у фахових виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України; 5 – патенти; 5 – тез доповідей.

### **Структура й обсяг роботи**

Загальний обсяг роботи – 240 сторінки, з яких основна частина – 168 сторінок, ілюстрована 70 рисунками та 35 таблицями. Робота складається зі вступу, шести розділів, списку використаних джерел, який містить 144 найменувань, поданих на 14 сторінках, загальних висновків та додатків на 176 сторінках, ілюстрованих 34 рисунками та 45 таблицями.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** обґрунтована актуальність дослідження, визначені його мета й завдання, об'єкт і предмет, відображена наукова новизна роботи в цілому та окремих результатів, висвітлена їхня теоретична та практична цінність, розкрито зміст публікацій та результати апробації.

**У першому розділі** виконано аналіз результатів дослідження технології і обладнання для вдавнення будівельних елементів заводського виготовлення.

Розглянуті технологічні рішення влаштування пальових фундаментів, представлені результати аналізу інформаційних джерел за темою досліджень. Для цього використані дослідження провідних фахівців: В.М. Улицького, С.В. Романова, М.В. Корольова, П.А. Коновалова, А.Н. Гайдо, А.І. Поліщука, Ю.Е. Пономаренка, В.В. Верстова, А.С. Нестерова, Б.Г. Фрейдмана, серед зарубіжних фахівців: Акіо Кітамуро (Giken Seisakusho), проф. Malcom Bolton (Cambridge University), Prof. Hajime Okamura (Kochi University of Technology) та ін. Вивченням процесу вдавлювання паль в умовах будівництва займалися А.В. Новський, В.М. Митинський, С.И. Кушак, М.Б. Пойзнер, В.Н. Степанов, М.П. Дубровський, Я.Й. Червинський, Д. А. Дмитрієв, Ю.Л. Винников, А.В. Савінов, Е.М. Перлей, А.В. Школа, В.П. Буров, та ін. Вивченню взаємодії вдавлюваної палі з ґрунтом основи присвячені праці В.М. Голубкова, Б.В. Гончарова, Ю.Ф. Тугаєнко, Н.М. Герсєванова.

Отже, метод вдавнення в ґрунт будівельних елементів заводського виготовлення (паль, труб, шпунтів) має широку сферу застосування, завдяки мінімальному впливу на основу, можливості контролю режимів занурення кожної палі, відсутністю руйнування голів паль, екологічності. Аналіз причин, що стримують його індустриальне використання, показує відсутність системного підходу до розробки конструкції обладнання, технологічних процесів та їхнього організаційного забезпечення. Ця обставина визначила напрям дослідження.

**У другому розділі** обґрунтовано тема й методика дослідження, розглянуто актуальні варіанти технологічного обладнання, наведено 21 комплект для порівнювання за 15 критеріями. Ці машини для вдавнення будівельних елементів мають різні технічні та експлуатаційні характеристики, тому, обираючи, варто враховувати чимало факторів. Найбільш ефективні вважаються ті машини, які дають змогу автоматизувати процес вдавлювання паль у ґрунт для різних конструктивно-технологічних рішень пальових основ, зокрема, в обмежених умовах, на схилах, а також на слабких водонасичених ґрунтах.

Відповідно до поставленого завдання основними критеріями вибору є: автоматизація, максимальне зусилля вдавнення, продуктивність праці, маса базової машини, габаритні обмеження, питомий тиск на ґрунт, мінімально можлива відстань до об'єктів, розташованих поблизу виробництва робіт.

Для вирішення поставлених завдань у роботі розглядається гідравлічна палевдавлювана машина СО-450 з боковим клиновим затиском палі.

На основі аналізу інформаційних джерел удосконалено класифікацію обладнання для вдавнення паль. Аналіз наявних способів виробництва робіт зі вдавнення паль, а також конструктивно-технологічних параметрів устаткування,

що застосовується, виявив загальні технологічні ознаки, властиві певним технологічним процесам, які характеризують здійснення способу в просторі, зокрема на основній координатній площині пального поля.

Відповідно до запропонованої класифікації способів виробництва робіт за технологічною послідовністю вдавнення паль розрізняють такі способи:

1) точковий (Т); 2) лінійний (Л); 3) координатний (К).

Класифікація виконана з метою уніфікації та типізації конструктивно-технологічних рішень. Розроблена методика проведення дослідження показана у вигляді блок-схеми на рисунку 1.



Рис. 1. Блок-схема дослідження

Вибір найбільш значимого показника ефективності від факторів впливу, подано трьома групами: проектними ( $X_1, X_2$ ) організаційними ( $X_3, X_4, X_7, X_8$ ) і конструктивно-технологічними ( $X_5, X_6$ )

$X_1$  – масштаб виробництва, який характеризує загальний обсяг робіт, тобто, загальну кількість паль ( $N_n$ ) у проєкті фундаменту.

$X_2$  – група проектних факторів, що характеризують палове поле:

$X_{2.1}$  – інженерно-геологічні умови;

$X_{2.2}$  – розмір поперечного перерізу, довжина й глибина занурення паль;

$X_{2.3}$  – конфігурація фундаменту (взаємне розташування паль у плані);

$X_{2.4}$  – загальна протяжність монтажної ділянки.



$X_3$  – технологічний спосіб в прийнятих позначеннях: координатний (К), лінійний (Л) і точковий (Т), які розглядаються відповідно до різних варіантів виконання робіт, позначеними цифрами.

$X_4$  – час здійснення кожного технологічного процесу та операції, фактор, що впливає на всі показники ефективності: продуктивність, загальну тривалість, витрати праці.

$X_5$  – конструктивно-технологічні особливості палевдавлюваної машини, постійний фактор для СО-450, але змінюється в разі використання РСМ-80.

$X_6$  – конструктивно-технологічні особливості модульної координатної системи переміщення машини, можна подати такою групою факторів:

$X_{6.1}$  – геометричні параметри будівельної захватки, що формується використовуваними модулями й обмежується їхніми габаритними розмірами;

$X_{6.2}$  – кількість паль ( $N_{п}$ ) у координаційному просторі модуля;

$X_{6.3}$  – кількість перестиків модулів ( $n_{стк}$ ) та перестановок усієї системи краном ( $Z$ ) – обмежувальні фактори, які залежать від протяжності монтажної ділянки, конфігурації фундаменту та загальної кількості паль.

$X_7$  – сумарна маса ( $M_{\Sigma}$ ) вантажів, переміщуваних краном у процесі виробництва робіт із вдавнення паль з урахуванням розглянутих варіантів:

$X_{7.1}$  – маса залізобетонної палі, що вказана заводом-виробником;

$X_{7.2}$  – маса металевого інвентарного інструмента з урахуванням розміру його поперечного перерізу та довжини;

$X_{7.3}$  – маса основної машини;

$X_{7.4}$  – маса комплексу вантажів, використовуваних для гравітаційного анкерування машини – компенсації сили опору ґрунтів вдавненню палі;

$X_{7.5}$  – маса модулів, агрегатного (основного) і допоміжного, що залежить від конструктивних особливостей модульної системи.

$X_8$  – склад бригади й методи праці робітників.

Для виконання поставлених завдань, за найбільш значущі фактори що впливають на тривалість, продуктивність і собівартість робіт, прийняті: загальна кількість паль і  $X_7$  – маса вантажів (палі, устаткування, інструмент), що переміщуються краном під час здійснення комплексного процесу.

Зважаючи на те, фактор  $X_7$  є комплексним та залежить від п'яти величин, а фактори  $X_2$  –  $X_6$ ,  $X_8$  прийняті постійними, в роботі розглядається вплив шести факторів на прийняті показники ефективності. Найбільш значимими є питома маса вантажів, що переміщуються краном. Істотним проєктним фактором, який впливає на питому масу вантажів, є загальна кількість паль у проєкті – масштаб виробництва. Прийнята методика дослідження, а також використання фактичних даних за розробленими технологічними процесами та їхніми елементами дають змогу отримати достовірні результати.

У третьому розділі розроблена технологія вдавлювання паль у ґрунт із застосуванням агрегатно-модульної системи у вигляді вдавлювальної машини СО-450 з боковим клиновим затиском палі й механізму її переміщення, який має два модулі: основний (агрегатний) і допоміжний. Конструкцію агрегатного модуля показано на рисунку 2.

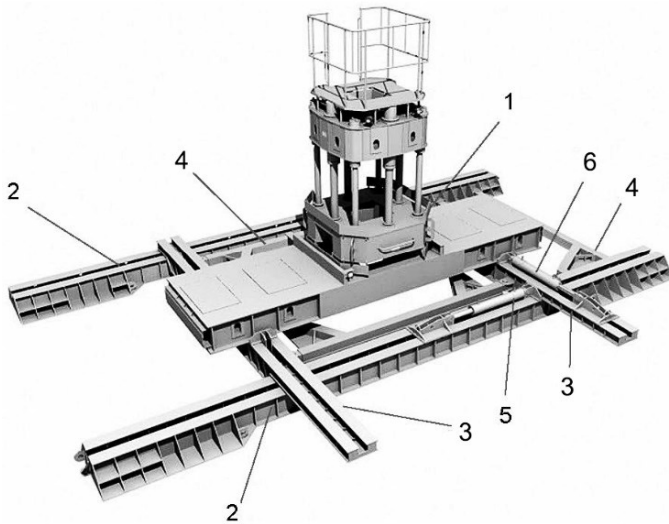


Рис. 2. Агрегатний модуль:  
 1 – машина СО-450;  
 2 – поздовжні напрямні опори (модуль);  
 3 – поперечні опори (каретка);  
 4 – балки з'єднувальні;  
 5 – гідроциліндри поздовжнього переміщення;  
 6 – гідроциліндри поперечного переміщення

**Принципова концепція** використання модульної системи полягає в тому, що поздовжні опори модулів установлюють на ґрунт та формують технологічну модульну сітку на координаційній площині пального поля (на плані фундаменту), яка збігається з модульною сіткою споруди що зводиться.

Це забезпечує позиційну точність й безперервність основних процесів: вдавлювання палі – переміщення машини, що дає змогу скоротити тривалість робіт та витрати праці. Основні характеристики системи наведені в таблиці 1.

Режим вдавлювання палі в ґрунт автоматизований, керування дистанційне.

Таблиця 1 – Технічні характеристики системи

Зусилля вдавнення номінальне	т.с. (кН)	200 (2000)
Швидкість вдавнення палі	м/хв.	1,0 ÷ 3,0
Швидкість переміщення машини	м/хв.	1,0 ÷ 3,0
Точність робочих переміщень, X – Y	мм.	± 10,0
Питомий тиск на ґрунт 1 (2) модуля	т/м <sup>2</sup>	15,7 (8,3)

Для агрегатно-модульної системи також була розроблена технологічна структура (на основі класифікації), яка забезпечує можливість виконання робіт трьома способами: точковим (Т), координатним (К) і лінійним (Л).

Послідовність робіт для **Т-способу** визначає установку машини краном на позначку вдавлювання однієї палі, враховуючи переанкерування на кожній наступній палі. Він є найбільш точним із можливих способів позиціонування, проте має найгірші показники продуктивності (не більше 1 палі в годину) і витрат праці, особливо при збільшенні обсягу робіт. Саме тому може бути ефективно використаний тільки в екстремально складних умовах, а також для вдавлювання одиничних палей які підлягають контрольним випробуванням.

**К-спосіб** заснований на переміщенні машини СО-450 із використанням модульної координатної системи поздовжніми (X) та поперечними (Y) координатами без переанкерування. Це скорочує цикл вдавнення однієї палі довжиною 16 метрів у порівнянні з Т-способом з 60 хв. до 15 хв.

Зазначений спосіб є ефективним для влаштування багаторядних пальових фундаментів. Тривалість підготовки агрегатно-модульної системи до роботи, що показано на рисунку 3, становить 120 хв. і містить такі операції:

- збірка й установлювання поздовжніх опор (а) та каретки (б);
- установлювання машини СО-450 на каретку (в);
- установлювання анкерних вантажів на вантажну раму машини (г);
- перевірку горизонтальності машини після анкерування;
- переміщення машини на позначку проектного положення палі.

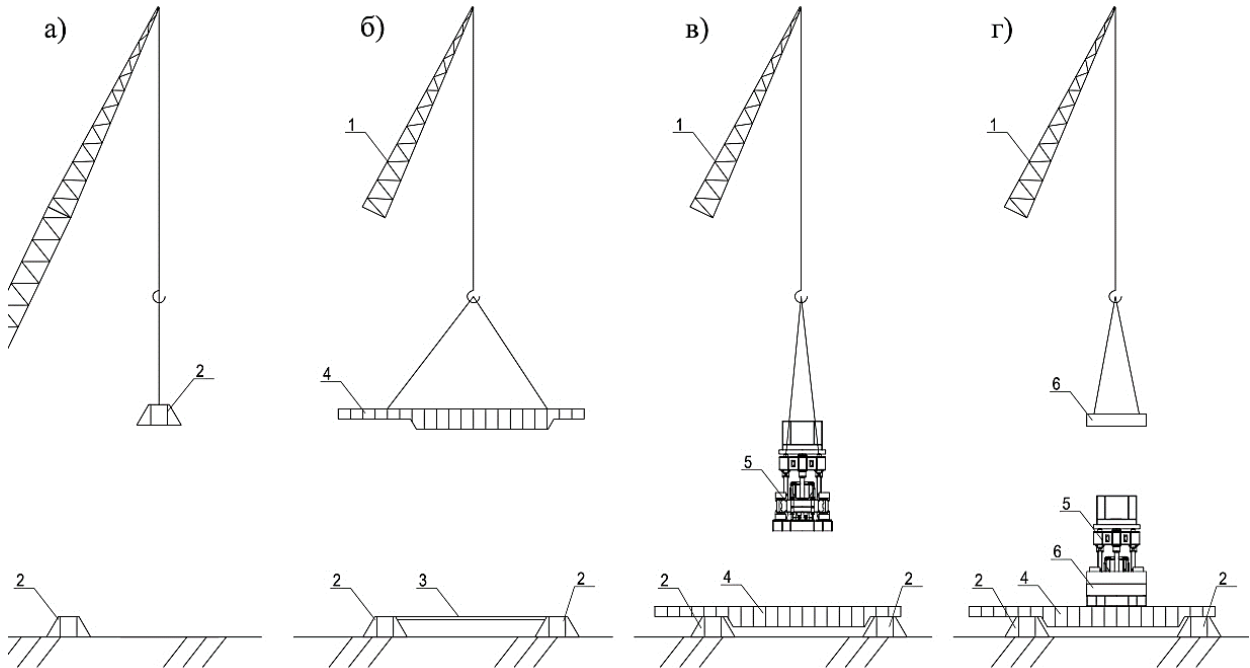


Рис. 3. Установлювання машини на каретку й анкерування  
1 – кран, 2 – поздовжні опори, 3 – сполучна балка, 4 – каретка,  
5 – машина, 6 – анкерні вантажі

Вдавнення одної палі К-способом (15 хв) передбачає такі процеси:

- стропування й подачу палі краном в уловлювач машини;
- центрування палі в затиску машини та вдавнення палі в ґрунт;
- переміщення машини на позначку вдавнення чергової палі.

**Л-спосіб** заснований на переміщенні машини СО-450 поздовжньою (Х) координатою з використанням поздовжніх напрямних опор; ефективним є для споруджування однорядних фундаментів і шпунтових огорожень.

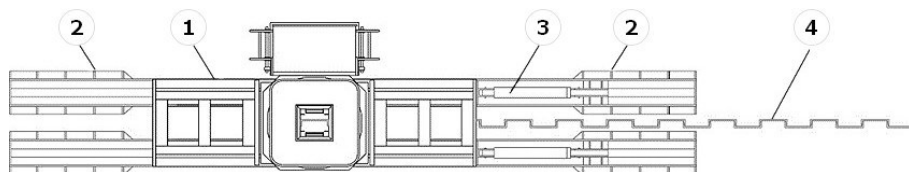


Рис. 4. Схема модульної секції:  
1 – палевдавлювальна машина, 2 – напрямні опори; 3 – гідроциліндри,  
4 – шпунтовий (пальовий) ряд

Організація виробництва робіт зі вдавлювання паль у ґрунт на основі використання типізованих технологічних схем дає змогу одним комплектом обладнання охопити весь діапазон класифікованих технологічних процесів.

Розроблену технологію доцільно використовувати для забезпечення таких вимог: низького рівня шуму та вібрації, можливості виконання робіт в обмежених умовах, на схилах, на слабких водонасичених ґрунтах, а також позиційної точності, можливості контролю зусилля вдавлювання кожної палі, високої продуктивності робіт, екологічності.

**У четвертому розділі** показано дослідження елементів технологічних процесів у виробничих умовах, розглядаються особливості влаштування паливових основ і шпунтових огорожень будівель та споруд різного призначення. Конфігурація та неоднорідність об'єктів будівництва, а також різна кількість паль та їхнє взаємне розташування в проєктах фундаментів спонукають до необхідності використання різних способів і варіантів виконання робіт.

Координатний і лінійний способи розглядаються відповідно до трьох варіантів, а точковий в двох варіантах здійснення комплексного технологічного процесу вдавлювання паль:

- Варіант **К<sub>1</sub>** – із використанням одного агрегатного модуля, з розмірами по осях:  $4,20 \times 12,0$  м., при  $N_p \leq 24$  шт.;
- Варіант **К<sub>2</sub>** – із використанням двох модулів, з'єднаних послідовно, з розмірами по осях:  $4,20 \times 24,0$  м., при  $N_p \leq 60$  шт.;
- Варіант **К<sub>3</sub>** – послідовне перестиккування модулів краном, що передбачає роботу в будівельному потоці, при  $N_p > 60$  шт.;
- Варіант **Л<sub>1</sub>** – із використанням двох поздовжніх напрямних опор (однієї модульної секції) з розмірами:  $1,20 \times 12,0$  м., при  $N_p \leq 8$  шт.;
- Варіант **Л<sub>2</sub>** – із використанням 4-ох з'єднаних поздовжніх опор (двох модульних секцій), з розмірами  $1,20 (4,20) \times 24,0$  м., при  $N_p \leq 20$  шт.;
- Варіант **Л<sub>3</sub>** – послідовне перестиккування 4-ох опор краном,  $N_p > 20$  шт.;
- Варіант **Т<sub>1</sub>** – поодинокі (пробні) палі для проведення контрольних випробувань ґрунтів з використанням машини:  $1,6 \times 6,0$  м.,  $N_p = 1$  шт.;
- Варіант **Т<sub>2</sub>** – передбачає роботу в будівельному потоці, при  $N_p > 1$  шт.

Запропоновані варіанти розглядаються відповідно до різних масштабів виробництва, від індивідуального до великосерійного.

Виконання повномасштабних експериментів у виробничих умовах дали змогу отримати достовірні дані за елементами основних і допоміжних процесів вдавлювання паль відповідно до вказаних типізованих технологічних схем.

Особлива увага приділялася питанням поєднання технологічних процесів, а також їхньому переналаштуванню. Обрані об'єкти, на яких проводилися контрольні заміри тривалості процесів, дають змогу реалізувати один із варіантів, розглянутих вище, або їхню комбінацію.

#### **Серед виконуваних об'єктів:**

- житловий комплекс у складі 4-ох 16-поверхових будівель з торгово-офісними приміщеннями та гаражами по вул. Базарній, 5, в Одесі;
- комплекс багатоквартирних житлових будинків на вул. Пішонівській;

- будівля готелю «11 mirrors» (вставка) по вул. Б. Хмельницького, 34-а в Шевченківському районі м. Київ (380 паль);
- вдавнення паль та шпунтів (огорожі) на об'єкті будівництва офісу з торговельними приміщеннями за адресою: м. Київ, вул. Глибочицька, 79-97;
- готель «Олександрівський», на проспекті Олександрівський, 12, м. Одеса;
- будівництво ж/к «Парк Фонтанів» - комплексу житлових будинків із вбудовано-прибудованими приміщеннями громадського призначення та підземним паркінгом, за адресою: Одеська область, Лиманський район, с. Фонтанка, вул. Чехова, 2;
- трисекційний 12-поверховий житловий будинок із вбудованими приміщеннями громадського призначення та підземним паркінгом за адресою: м. Одеса, вул. Пироговська, 2 / Італійський б-р, 1;
- багатоквартирний житловий дім з підземним паркінгом за адресою: м. Одеса, Французький бульвар, 29;
- улаштування пальової основи стадіону ФК «Чорноморець» в Одесі;
- реконструкція будівлі Німецької Євангелічно-лютеранської церкви Святого Павла (Кірхи) на вул. Новосельського, 68 в м. Одесі;
- житловий будинок с мансардою за адресою: пер. Каретний, 19-23.

Дослідження базового процесу (вдавнення) визначило: швидкість вдавлювання палі машиною СО-450 в автоматичному режимі зберігається незмінною для різних способів, якщо сила опору ґрунтів вдавлюванню не перевищує 160 т.с., при номінальному зусиллі 200 т.с. – це повний комплект анкерних вантажів масою не менше 200 тонн.

Дослідження допоміжних процесів, пов'язаних з переміщенням машини, дало можливість визначити показники ефективності відповідно до різних типізованих технологічних схем (одиничні палі, рядне й багаторядне розташування паль, палі в кушовому розташуванні, суцільні пальові поля) моделей комплексних процесів, що представлені в альбомі.

Обраний показник ефективності (питома маса переміщуваних вантажів) не залежить від тривалості технологічних процесів та операцій, ґрунтових умов і конфігурації фундаменту, що може бути застосовано для порівняльної оцінки різних варіантів виконання робіт.

**У п'ятому розділі** розробка організаційних і технологічних рішень виробництва робіт із вдавнення паль різними способами виконано на прикладі влаштування трирядної пальової основи протизсувної споруди. Обрана технологічна схема легко масштабується, а її декомпозиція дає змогу аналізувати однорядні та дворядні конструкції, а також різні варіанти розташування паль.

Роботи виконуються відповідно до класифікації: точковим, лінійним і координатним способом. У кожному способі використовується типове автоматизоване обладнання, а також технологічні процеси, розроблені за результатами натурних експериментів. Аналіз ефективності розробленої технології виконано на прикладі робіт зі вдавлювання 126-ти паль (С100.35-9), на монтажній ділянці з 4-ох захваток загальною протяжністю 48 метрів, як показано на рисунку 5. Схема організації робіт, показана на рисунку 6.

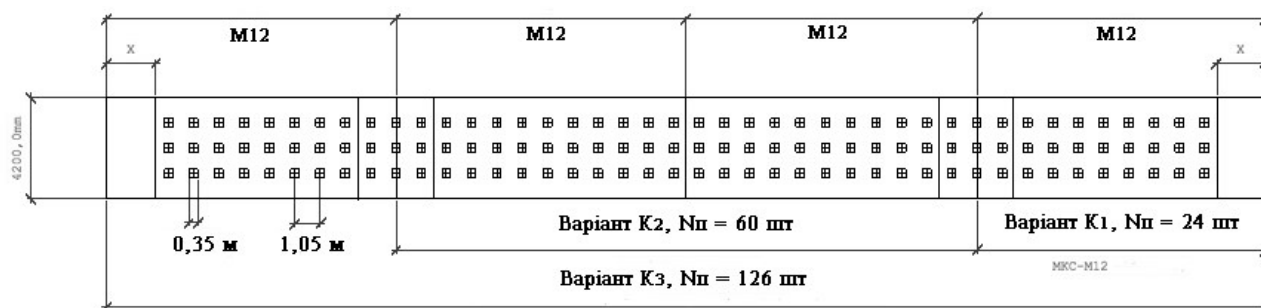


Рис. 5. Типізована технологічна схема

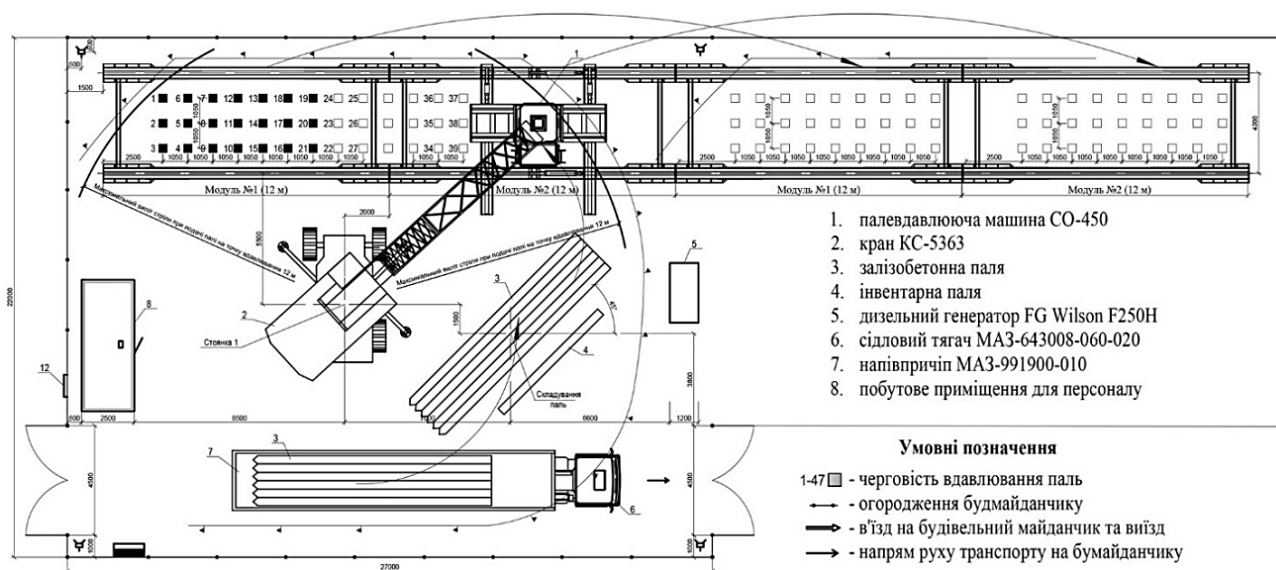


Рис. 6. Схема організації робіт зі вдавнення паль

Для розглянутого об'єкту розраховувалася калькуляція витрат праці та розроблялися графіки виконання робіт. Результати розрахунку показників продуктивності праці різних способів зведені в таблицю 2.

Таблиця 2 – Показники продуктивності праці

Техніко-економічні показники	Технологічний спосіб		
	Точковий	Лінійний	Координатний
Продуктивність, паль/год.	0,63	3,17	3,52
Виробіток, люд.-год., шт. паль	0,15	1,37	1,64
Витрати праці, 1 палья люд.-год	6,79	0,73	0,60

Порівняльний аналіз показників ефективності різних способів показав, що К-спосіб, в порівнянні з Т-способом, знижує загальну тривалість з 200 годин до 36 годин, а витрати праці на весь обсяг робіт – з 856 люд.-год. до 77 люд.-год.

Використання модульної системи переміщення підвищує продуктивність праці більш ніж у п'ять разів: з 0,63 пал/год. до 3,5 пал/год., з урахуванням виконання всього обсягу (126 пал) робіт. Зменшення неефективних допоміжних процесів, пов'язаних з переанкеруванням палевдавлювальної машини СО-450 в процесі її позиційного переміщення, знижує:

- витрати праці робітників на вдавнення однієї палі з 6,9 люд.-год. до 0,61 люд.-год., а для машиніста крана з 1,4 люд.-год. до 0,16 люд.-год.;
- трудомісткість (витрати машин) з 1,56 маш.-год. до 0,36 маш.-год.;
- собівартість вдавлювання однієї палі з 4000 грн. до 600 грн.;
- вартість усього обсягу робіт (126 паль) з 504 тис. грн. до 76 тис. грн.;
- питому масу вантажів, що переміщуються краном під час здійснення комплексного процесу, більш ніж у сорок разів – з 420,5 тонн до 10 тонн.

Наведені розрахунки виконані на прикладі влаштування пальної основи з таким значеннями змінних факторів: палі марки С100.35-9, перетином  $0,35 \times 0,35$  м, довжиною – 10 м, з кроком – 1,05 м.

Результати організаційно-технологічного проектування, враховуючи різні технологічні схеми - моделі комплексних процесів, регламент та графіки виконання робіт, а також техніко-економічне обґрунтування, являють собою готове будівельне рішення влаштування багаторядних протизсувних пальових основ різної конфігурації, зокрема для системного зміцнення зсувних і зсувонебезпечних схилів Одеського узбережжя.

**У шостому розділі** визначається залежність показників ефективності від масштабів виробництва. Розглядаються кваліфіковані способи виробництва робіт згідно з варіантами, розглянутими вище. У процесі вдавлювання паль із використанням агрегатно-модульної системи допоміжний кран переміщує: елементи системи, машину, анкерні вантажі, палі та інвентарний інструмент.

Результати числових розрахунків сумарної і питомої маси вантажів, переміщуваних краном, подані в табличній формі і супроводжуються графічними ілюстраціями з відповідним описом.

Варіант  $T_1$  — вдавлювання в ґрунт одиначної палі точковим способом.

Сумарна маса вантажів обчислюється так: при кількості паль  $N_{\Pi} = 1$  шт.:

$$M_{\Sigma} = 2 \times (M_{\Pi M} + M_{AB}) + (M_{ЗБП} + 2 M_{ИНВ}), \quad (1)$$

де  $M_{\Sigma}$  — сумарна маса, т;  $M_{\Pi M}$  — маса машини, т;  $M_{AB}$  — маса анкерних вантажів, т;  $M_{ЗБП}$  — маса палі, т;  $M_{ИНВ}$  — маса інвентарної палі, т.

Числове значення сумарної маси вантажів, при використанні машини СО-450, за формулою (1) для  $N_{\Pi} = 1$  шт. подано нижче :

$$M_{\Sigma} = 2 \times (14,3 + 200,0) + (3,1 + 2 \times 1,5) = 434,7 \text{ т.}$$

Таким чином, у процесі вдавлювання одиначної палі марки С100.35-9 точковим способом необхідно перемістити краном вантажі сумарною масою приблизно чотириста тридцять п'ять тон.

Числові значення маси переміщуваних вантажів, при використанні модульної системи, складових формул 2 – 5, подано в таблиці 3.

Таблиця 3 – Числові значення маси вантажів

№	Позначення	Маса, т	№	Позначення	Маса, т
1	$M_{ЗБП}$	3,1	4	$M_{AB}$	200
2	$M_{ИНВ}$	1,5	5	$M_{AM}$	15,1
3	$M_{\Pi M}$	14,3	6	$M_{DM}$	8,6

Варіант  $T_2$ , при  $N_{\Pi} > 1$  шт., демонструє роботу в потоці, враховуючи переанкерування палевдавлювальної машини на кожній палі.

Варіант  $K_1$  – з використанням одного агрегатного модуля.

Кількість палей у робочій хватці модуля залежить від перерізу, кроку палей та їхнього взаємного розташування, при  $N_{\Pi} \leq 24$  шт.:

$$M_{\Sigma} = N_{\Pi} \times (M_{ЗБП} + 2M_{ИНВ}) + 2 \times (M_{ПМ} + M_{АВ} + M_{АМ}), \quad (2)$$

де  $M_{АМ}$  – маса агрегатного модуля, т.

Приклад розрахунку сумарної маси вантажів відповідно до варіанта  $K_1$  за формулою (2) для мінімальної ( $N_{\Pi}^{\min} = 1$  шт.) —  $M_{\Sigma}^{\min} = 464,9$  т., і максимальної ( $N_{\Pi}^{\max} = 24$  шт.) кількості палей у хватці —  $M_{\Sigma}^{\max} = 605,2$  т. Таким чином, у процесі виробництва робіт зі вдавлювання однієї палі із використанням одного модуля кран переміщує вантажі сумарною масою чотириста шістьдесят п'ять тон.

У разі вдавлювання 24-ох палей зазначеним способом сумарна маса вантажів складе 605,2 т, що в перерахунку на одну палю – 25,2 т.

$$\bar{M} = M_{ЗБС} + 2M_{ИНВ} + 2 \frac{M_{ПМ} + M_{АВ} + M_{АМ}}{N_{\Pi}}, \quad (3)$$

де  $\bar{M}$  — питома маса, т; при  $N_{\Pi} \rightarrow \infty \rightarrow \bar{M}_{АМК} \rightarrow M_{ЗБС} + 2M_{ИНВ}$ , а  $\bar{M}_{АМК}$  – асимптотичний мінімум координатного способу

Варіант  $K_2$  – з використанням двох поєднаних модулів, при  $N_{\Pi} \leq 60$  шт.:

$$\bar{M} = M_{ЗБС} + 2M_{ИНВ} + 2 \frac{M_{ПМ} + M_{АВ} + M_{АМ} + M_{ДМ}}{N_{\Pi}}, \quad (4)$$

де  $M_{ДМ}$  – маса допоміжного модуля, т.

Варіант  $K_3$  – з послідовним перестиккуванням модулів краном під час руху системи уздовж повздовжніх осей споруди без переанкерування машини, як показано на рисунку 6. При  $N_{\Pi} > 60$  шт.:

$$\bar{M} = M_{ЗБС} + 2M_{ИНВ} + \frac{2(M_{ПМ} + M_{АВ} + M_{АМ}) + (2 + n_{\text{СТК}})M_{ДМ}}{N_{\Pi}}, \quad (5)$$

де  $n_{\text{СТК}}$  – кількість перестиккувань модулів при таких обмежувальних факторах:  $N_{\Pi} \leq 60 \rightarrow n_{\text{СТК}} = 0$ ;  $60 < N_{\Pi} \leq 96 \rightarrow n_{\text{СТК}} = 1$ ;  $96 < N_{\Pi} \leq 132 \rightarrow n_{\text{СТК}} = 2$ ;

$132 < N_{\Pi} \leq 168 \rightarrow n_{\text{СТК}} = 3 \dots$  і т.д.

На підставі отриманих закономірностей розроблено організаційно-технологічну структуру комплексних процесів, що дає можливість їхнього гнучкого перенастроювання для того, щоб одним комплектом устаткування охопити весь діапазон типізованих схем для трьох способів виробництва робіт.

Графічна ілюстрація розглянутих варіантів, подана на рисунках 7–9, демонструє зміну значення питомої маси ( $\bar{M}$ ) переміщуваних вантажів залежно від кількості палей. Використання критерію питомої маси вантажів дає змогу здійснювати: вибір способу і варіантів робіт які описуються єдиною формулою, порівняння вибраних варіантів із базовим, розрахунок сумарної маси вантажів.

Перелічене дає змогу оцінювати всі можливі варіанти виконання робіт зі вдавлювання палей ще на стадії проєктування фундаменту, вибрати найбільш ефективний варіант або їхню комбінацію.





Рис. 7. Залежність  $\bar{M}$  від кількості паль (Nп) для варіантів T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, K<sub>1</sub> і K<sub>2</sub> при різній кількості процесів перестановки системи на наступну (нову) захватку, монтажну ділянку

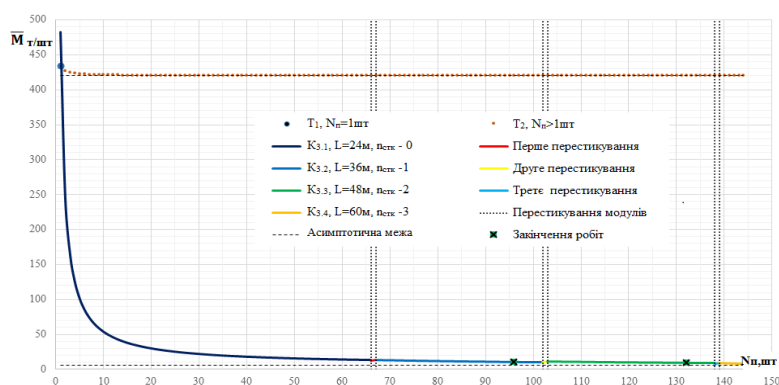


Рис. 8. Залежність  $\bar{M}$  від кількості паль (Nп), при трирядному розташуванні, для варіанта K<sub>3</sub>, різній кількості  $n_{стк}$  послідовного перестиккування модулів на наступну захватку

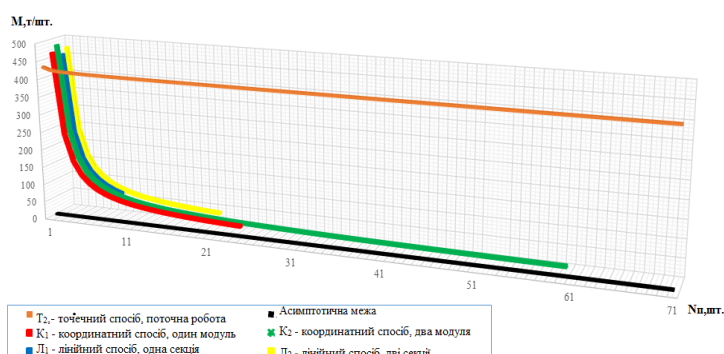


Рис. 9. Залежність  $\bar{M}$  від кількості паль (Nп) при однорядному, дворядному, трирядному розташуванні для варіантів T<sub>2</sub>, K<sub>1</sub> і L<sub>1</sub>, без перестиккування модулів

**Варіантне проєктування** комплексних процесів виконується в декілька етапів: 1 – аналіз проєктного рішення; 2 – оцінка і вибір варіантів технологічної структури; 3 – розробка організаційно-технологічного рішення.

Розроблені рекомендації призначені для використання конструкторами, технологами, операторами обладнання, інженерним складом технагляду. Аналіз техніко-економічних показників процесів вдавлювання паль із застосуванням найбільш поширених машин, підтверджує ефективність розробленої агрегатно-модульної системи при влаштуванні багаторядних палювих основ.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі вдосконалено технологію влаштування палювих основ шляхом вибору ефективного засобу механізації, розробки способу й системи для вдавлювання паль, які дають змогу автоматизувати цей процес для різних конструктивно-технологічних рішень палювих основ, зокрема в умовах обмеженого простору, на зсувних схилах, а також на слабких ґрунтах.

1. Відомі методи вдавнення паль мають недостатню ефективність в умовах обмеженого простору, на схилах та на слабких водонасичених ґрунтах, при використанні наявного обладнання в цих умовах від 75% до 90% машинного часу складають неефективні допоміжні процеси.

2. Розроблена методика проведення дослідження надала можливість отримати достовірні результати представленої технології та обладнання в різних умовах і масштабах будівництва.

3. Пропонована технологія заснована на використанні розробленої агрегатно-модульної системи, яка забезпечує двокоординатне (X – Y) позиційне переміщення палевдавлювальної машини з комплектом анкерних вантажів, масою понад 200 тонн, без переанкерування. При цьому вдавнення палі в ґрунт може здійснюватися в автоматичному режимі.

4. Повномасштабні виробничі експерименти дали змогу отримати фактичні дані за елементами технологічних процесів, а також встановити: тривалість, затрати праці, сумарну масу вантажів для різних конструктивно-технологічних рішень пального поля, організаційно-технологічних схем використання розроблених модулів та умовами будівництва.

5. Організаційно-технологічне проектування робіт із вдавненням 126-ти паль (С100.35-9) у трирядному розташуванні на ділянці протяжністю 48 метрів дало підстави визначити показники ефективності розробленої технології та обладнання в порівнянні з базовим способом. Аналіз показав:

- загальна тривалість скорочується з 200 годин до 36 годин, а витрати праці на весь обсяг робіт з 856 люд.-год. до 77 люд.-год.

- продуктивність праці підвищується з 0,63 палі/год. до 3,5 палі/год.

- собівартість вдавнення однієї палі знижується з 4000 грн. до 600 грн.

- питома маса вантажів, знижується з 420,5 т/палю до 10 т/палю.

- обсяг допоміжних процесів скорочується з 84% до 8% від загальних витрат часу на виробництво всього обсягу робіт.

6. Отримані математичні моделі закономірності зміни питомої маси вантажів, від загальної кількості паль, модулів які використовуються, та організаційно-технологічних схем їхнього використання показали, що:

- асимптотичний мінімум для використовуваного обладнання й паль марки С100.35-9 становить: для точкового (базового) способу – 420,4 т/палю, для координатного (розробленого) способу – 6,1 т/палю;

- максимальне значення питомої маси переміщуваних вантажів, для точкового способу становить 435 т/палю, а для координатного способу може змінюватися від 465 т/палю до 14 т/палю.

7. Переваги розробленої модульної системи в порівнянні з машинами крокуючого типу, виробництва Китаю, полягають у тому, що: економічний ефект за одним об'єктом порівняння – 30194,18 грн.; скорочення вартості машино-зміни й витрат виробництва на 31,33%; процес вдавлювання палі в ґрунт автоматизований. Основні переваги розробленої технології полягають в можливості вдавнення паль в умовах обмеженого простору, на зсувних та зсувонебезпечних схилах, а також на слабких водонасичених ґрунтах.

8. Перспективним напрямком розвитку поданої технології є комплексна автоматизація процесу вдавлювання паль.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті в міжнародних наукометричних базах та фахових виданнях:*

1. Мещеряков, Г.Н., Вакулин, Н.А., 2008. Технология и оборудование для поточного вдавливания свай / Будівельні конструкції: Міжвід. науково-технічний збірник наукових праць / ДП «НДІБВ» Мін-ва регіонал. розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Вип. 71: В 2-х кн.: 2008. Книга 2. – Київ, С. 290. *Особистий внесок – вирішення питання неперервності виробництва, суміщення технологічних процесів*
2. Дубровский, М.П., Петросян, В.Н., Мещеряков, Г.Н., 2011. Натурные экспериментальные исследования погружения шпунтовых свай вдавливанием. Будівельні конструкції: Міжвід. наук.-техніч. збір. наукових праць (будівництво) ДП НДІБВ Вип. 75: В 2-х кн.: Книга 2.– Київ, С. 338. *Особистий внесок – постановка натурних експериментів із застосуванням машини.*
3. Дубровский, М.П., Мещеряков, Г.Н., Петросян, В.Н. Крупномасштабные лабораторные исследования взаимодействия замковых соединений шпунтовых свай с грунтовой средой. Будконструкції. Міжвід. наук.-техніч. збірник: Механіка ґрунтів та фундаментобудування. Вип. 75. К.2. Київ. – 2011. С.113-119. *Особистий внесок здобувача – обробка даних натурних експериментів*
4. Мещеряков, Г.Н., 2012. Исследование и моделирование процессов взаимодействия шпунтовых свай, погружаемых вдавливанием / Наук. -тех. жур. НДІБВ: Нові технології в будівництві / вип. № 1-2 (23-24), Україна, С. 27.
5. Зоценко, Н.Л., Винников, Ю.Л., Дубровский, М.П., Мещеряков, Г.Н. и др. Инновационные решения в геотехническом строительстве и береговой гидротехнике в сложных инженерно-геологических условиях Украины / Світ геотехніки, №1, Україна – 2014, С. 25-29. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/7291> *Особистий внесок – перспективи і досвід використання розробленої технології та устаткування для берегової гідротехніки, на зсувонебезпечних схилах.*
6. Doubrovsky, M., Meshcheriakov, G., 2015. Numerical & physical modeling of U-Shape sheet piles behavior / Основи та фундаменти: Міжвід. науково-техніч. збір. – Вип. 37 / За заг. ред. Бойка. – К.: КНУБА, Київ. С. 440. *Особистий внесок – розробка стенду, проведення повномасштабного моделювання.*
7. Doubrovsky, M.P., Meshcheriakov, G.N., 2015. Physical modeling of sheet piles behavior to improve their numerical modeling and design. Soils & Foundations, Vol.55 Issue 4. Off. Jour. of the Japanese Geotechnical Society. Elsevier, pp. 691-702. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003808061500075X> (Google Scholar) *Особистий внесок здобувача – отримання даних натурних експериментів.*
8. Андрющенко А.М., Мещеряков Г.Н. Перспективы теплоснабжения с применением термосвай. / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2016, вип. 2 (13) / С. 23-26. *Особистий внесок – технологія занурення паль-зондів теплових насосів із використанням розробленої системи.*
9. Мещеряков Г.Н., Технология и оборудование для автоматизированного

вдавлювання свай / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Вип. 2(13) 2016 Технології, матеріали, транспорт і логістика С. 27-39

**Патенти:**

10. Мещеряков Г.Н., Вакулин Н.А., 2011. Система для вдавливания палей. Патент на винахід. України №93343, Бюл. №3/2011. *Особистий внесок – концепція та основні конструктивно-технологічні параметри системи.*

11. Механізм для переміщення великовагових машин, споруд або інших конструкцій / Вакулин М.А., Мещеряков Г.М., Шаповалов Н.І., Данукалов С.К. Пат. України №62369 на корисну модель. Заявка №u201101351, Бюл. №16/2011. *Особистий внесок – параметри механізму горизонтального ковзання.*

12. Мещеряков, Г.Н., 2016. Спосіб улаштування палейових фундаментів. Пат. України №112397 на корисну модель. №u201607372, Бюл. №23/2016.

13. Мещеряков, Г.Н., 2016. Система для вдавливания палей. Пат. України №112398 на корисну модель. Бюл. №23/2016.

14. Мещеряков, Г.Н., 2017. Спосіб улаштування палейових фундаментів і система для вдавливания палей. Патент України №114055. Бюл. №7/2017.

**Матеріали конференцій, де здійснено апробацію роботи**

15. Мещеряков, Г.Н., Вакулин, Н.А. Модульная сваевдавливательная система. Подъемные сооружения. Специальная техника. Научно-технический и производственный жур. №10 (62) ISSN-1682-3095. Одесса – 2006. С.10-12. *Особистий внесок – висвітлення розробленої технології та устаткування.*

16. Мещеряков, Г.Н., Вакулин, Н.А. Модульная сваевдавливательная система. Матеріали міжнародних науково-практичних конференцій з піднімальних споруд за 2006 р. Відп. ред. М. М. Андрієнко. Астропринт, Одеса – 2007. С. 192. *Особистий внесок – висвітлення розробленої технології та устаткування.*

17. Вакулин, Н.А., Мещеряков, Г.Н., 2007. Поточное вдавливание свай. Модульная система. Спецтехника. – М., №1 (34) р. Спецтехнологии. С. 50-52. *Особистий внесок – питання суміщення технологічних процесів і операцій.*

18. Дубровский М.П., Пойзнер М.Б., Мещеряков Г.Н., 2010 Світ геотехніки №4. Совершенствование мониторинга, проектирования и строительства свайных сооружений в основании грунтовых откосов. Україна. С.8-12. *Особистий внесок – досвід використання розробленої технології на схилах.*

19. Применение модульной сваевдавливательной системы в условиях городской застройки / Мещеряков, Н.Г., Мещеряков, Г.Н., Вакулин, А.А., Вакулин, Н.А. Развитие городов и геотехническое строительство. Т. 4 / Ред. Улицкого, Санкт-Петербург – 2008. С. 611-615. *Особистий внесок здобувача – досвід робіт по реконструкції історичної будівлі із застосуванням модульної системи.*

20. Meshcheriakov N.G. & Meshcheriakov G.N., Vakulin A.A. & Vakulin N.A. Pile driving and testing equipment. The Application of Stress Wave Theory to Piles: Science, Technology & Practice. The 8<sup>th</sup> Intern. Conf. ISSMGE (TC18) on Deep Foundations and the Portuguese Geotechnical Society. IOS Press. [Edited by J.A. Santos] Lisbon. – 2008, Portugal. pp. 245-248. (**Google Scholar**) *Особистий внесок – концепція агрегатно-модульної системи.* <https://www.iospress.nl/book/the-application-of-stress-wave-theory-to-piles-science-technology-and-practice>

21. Doubrovsky, M., Poizner, M., Meshcheriakov G., 2009. Improvement of monitoring, design and constructing of pile structures located at the base of soil slopes. Proc. of the 17<sup>th</sup> ICSMGE / The Academia & Practice of Geotech. Engineering (TS4C) Natural Hazard Mitigation. Alexandria, pp. 2609-2612. *Особистий внесок – приклад застосування розробленої технології та устаткування в умовах зсувних схилів Одеського узбережжя.*

22. Meshcheriakov, G. & Doubrovsky, M., 2010. Conceptual techniques for full-scale physical modeling of pressed-in pile behavior. Proc. of the Intern. Conf. ICPMG 2010: Physical Modelling in Geotechnics. Zurich, Switzerland. Springman, Laue & Seward Taylor & Francis Group, London, pp. 817-822. *Особистий внесок – розробка стенда, методика проведення повномасштабного моделювання процесів взаємодії вдавлюваних будівельних елементів з ґрунтом основи.*

23. Wahler, E., Meshcheriakov, G, Doubrovsky, M., 2010. Research and development of press-in piling technology in a restrained urban environment. Proc. of Geotechnical Challenges in Megacities (GeoMos); Vol.2, Moscow, pp. 479-486 *Особистий внесок здобувача – приклад використання розробленої технології та обладнання в обмежених умовах міської забудови в м. Одесі.*

24. Doubrovsky, M., Poizner, M., Meshcheriakov, G., 2011. Full-scale physical modeling of sheet piles pressed-in to hard soil. Proc. of the 15<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mech. & Geotech. Engineering. IOS Press. Athens. pp.1467-1472. *Особистий внесок – розробка стенду для проведення фізичного моделювання.*

25. Doubrovsky, M.P, Meshcheriakov, G.N, Petrosyan, V.N., Dubrovskaya, O.M., Full-scale physical modeling of the system: granular media – steel sheet piling / Advances in applied physics & material science congress (APMAS 2011). Book of abstracts: Vol.1. Antalya, Turkey, pp. 350-358. (Включено у **Google Scholar**) URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.3663147> *Особистий внесок – розробка стенду та проведення натурних досліджень вдавнення шпунтових паль.*

26. Doubrovsky, M.P., Meshcheriakov, G.N., 2012. Sheet pile testing & design improvement. Proc. of IS-Kanazawa 2012: Testing and Design for Deep Foundation. Dep. of Civil Engineering of Kanazawa University Kanazawa, Japan, pp. 589-596. *Особистий внесок – проведення повномасштабного фізичного моделювання процесів взаємодії вдавлюваних елементів з ґрунтом основи.*

27. Мещеряков, Г.Н., 2018. Automated construction of pile foundation. Подземная Урбанистика: Архитектура и Геотехника (ISSMGE TC207) Санкт-Петербург. Електронні твори конференції. С. 1384-1391. Режим доступа: [www.Georeconstruction.ru/conferences/Proceedings\\_Spb\\_2018.pdf](http://www.Georeconstruction.ru/conferences/Proceedings_Spb_2018.pdf).

28. Meshcheriakov G.N., Piling Technologies in Ukraine: Some Recent Developments. G.N. Meshcheriakov, M.P. Doubrovsky, O.M. Dubrovskaya. 2018 Матеріали конференцій: Proceedings of the 1st International Conference on Press-in Engineering 2018, Kochi, Japan (1<sup>st</sup> ICPE) № 0704. С 361-370. *Приклади використання технології вдавлювання паль на об'єктах будівництва в Україні.*

Представлені роботи включені до міжнародної наукометричної бази даних **Google Scholar**: [https://scholar.google.com/citations?user=YIVd\\_78AAAAJ&hl=ru](https://scholar.google.com/citations?user=YIVd_78AAAAJ&hl=ru)

## АНОТАЦІЯ

**Мещеряков Г. Н. Технологія вдавлювання паль із застосуванням агрегатно-модульної системи.** – *Рукопис.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва». – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2021.

У дисертації вирішено завдання вдосконалення технології влаштування паливних основ із застосуванням розробленої агрегатно-модульної системи для вдавлювання паль, шляхом розробки технології використання модульної системи; експериментального підтвердження показників ефективності вказаної технології в умовах будівництва; встановлення залежності питомої маси вантажів, переміщуваних краном, від загальної кількості паль у проєкті, кількості використаних модулів та різних варіантів їхнього використання.

Розроблені рекомендації, що засновані на результатах дослідження, обґрунтовують вибір найбільш ефективного способу та варіантів вдавлювання паль із застосуванням системи, для різних конструктивно-технологічних рішень пальної основи, зокрема в умовах обмеженого простору, на зсувних схилах та на слабких водонасичених ґрунтах.

Уперше обґрунтована можливість комплексної автоматизації робіт зі вдавлювання паль із використанням агрегатно-модульної системи.

**Ключові слова:** паливні фундаменти, технологія вдавлювання паль, паливдавлювальна машина, модульна координатна система, організаційно-технологічне проєктування, автоматизація будівельних процесів.

## АННОТАЦИЯ

**Мещеряков Г. Н. Технология вдавливания свай с использованием агрегатно-модульной системы.** – *Рукопись.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.08 «Технология и организация промышленного и гражданского строительства». – Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2021.

В диссертации решена задача совершенствования технологии устройства свайных оснований с использованием разработанной агрегатно-модульной системы для вдавливания свай, путём разработки технологии использования модульной системы; экспериментального подтверждения в производственных условиях показателей эффективности указанной технологии; установления зависимости удельной массы перемещаемых грузов от общего количества свай, количества модулей и различных вариантов их использования.

Разработанные рекомендации, основанные на результатах исследования, обосновывают выбор наиболее эффективного способа и вариантов работ с использованием системы, для различных конструктивно-технологических решений свайного поля, в том числе, в стеснённых условиях, на оползневых склонах и на слабых водонасыщенных ґрунтах.

Впервые обоснована возможность комплексной автоматизации процессов вдавливания свай с использования агрегатно-модульной системы.

**Ключевые слова:** свайные фундаменты, технология вдавливания свай, сваевдавливательная машина, модульная координатная система, организационно-технологическое проектирование, автоматизация строительных процессов.

## ABSTRACT

**Meshcheriakov G. N. Technology for pressing-in piles by using a modular aggregative system.** – *Manuscript.*

PhD. Thesis 05.23.08 – Technology and organization of industrial and civil construction. – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2021.

This manuscript sets out the actual scientific task to improve the technological and organizational methods of pile pressing aimed to automate the construction of pile foundations in a limited space conditions, on slopes and on weak soils. The task is solved by: development of Modular Aggregative Piling System and technology for various structural and technological solutions of the pile field projects, particularly under complicated conditions; full-scale experimental confirmation of the efficiency indicators of developed technology on the real construction sites; defining the relationship of the specific weight of the loads moved by crane, to the total quantity of piles, quantity of modules and organizational and technological schemes of their use.

Analysis of information sources shows that the reliability of foundations is ensured by pressing into the ground construction elements of factory production (concrete piles, steel pipes, sheet piles) providing minimal impact to the environment.

In modern conditions, the pace of buildings underground parts construction does not correspond (significantly behind) to the pace of their aboveground parts.

Technological limitations, which are most often present in exploited machines (large weight, dimensions, limit of pressing force, imperfection of the clamping mechanisms and methods of applying force to pile, lack of control systems providing positioning accuracy) limit the scope of their applicability. For machines that are used in those conditions, inefficient auxiliary processes can take 75% to 90% of the machine time. This leads to lower productivity, higher labor and operating costs.

Piling system including machine CO-450 and the mechanism of it horizontal movement consisting of two modules: aggregative and auxiliary has been developed.

The concept is based on the structural and technological combination of coordination space of the modules with the modular grid system of the building under construction, providing technological accuracy and continuity of the piling process.

Full-scale experiments made it possible to obtain actual data of the elements of main and auxiliary technological processes, duration, labor costs, total weight of moving loads for various solutions of pile foundations, organizational and technological schemes, conditions and scale of production. The most significant are the specific mass of the loads (piles, equipment, tools) moved by crane during the implementation of the piling processes. The selected indicator does not depend on the duration of operations, soil conditions and configuration of pile foundation, which can

be used for comparative evaluation of different options of work. The developed classification of production methods according to the sequence of piling made it possible to typify technological solutions. According to the proposed classification there are: 1) point (P); 2) lineal (L); 3) coordinate (C) methods.

**P-method** (basic) determines the installation of the machine by crane on the point of pressing a pile, with subsequent re-anchoring of the machine on each next pile.

**L-method** (object of comparison) is based on the movement along the longitudinal coordinate and is effective for the sheet piling projects.

**C-method** (developed) is based on the movement along longitudinal and transverse coordinates without machine re-anchoring. It reduces the cycle of pressing 16 m length pile, been compared to the P-method, from 60 min down to 15 min, and it is most effective when performing multi-row pile foundations.

The study of the pressing process performed in automatic mode, determined that the speed of pile pressing remains unchanged for different soil conditions if the force of soil resistance does not exceed 1600 kN at a nominal pressing force of 2000 kN. The study of the auxiliary process associated with movements of the machine gave the grounds to determine the efficiency indicators in accordance with various schemes: single piles, row, multi-row, bush arrangement and solid pile fields. The technological process modeling for the pressing of 126 multi-row piles in slope stabilization on a site length of 48 m, gave the grounds to determine the effectiveness of the developed technology in comparison with the basic method. The analysis showed:

- total duration was reduced from 200 hours to 36 hours, and labor costs for the entire scope of work from 856 man-hours down to 77 man-hours;
- labor productivity was increased from 0.63 piles/hour up to 3.5 piles/hour;
- labor cost for one pile was reduced from 6.9 man-hours to 0.61 man-hours;
- machine-time was reduced from 1.56 machine-hours to 0.36 machine-hours;
- cost of pressing one pile was reduced from 4.000 UAH to 600 UAH;
- amount of auxiliary processes was reduced from 84% to 8% of the total time spent on the production of the entire volume of work;

Advantages are: the ability of pressing piles in a confined space, on slopes, landslides and on weak water-saturated soils. The process of pile installation is automated. Developed recommendations, based on the results of the study, justify the choice of the most effective method and options for performing piling works using a modular- aggregative piling system. High productivity (4 piles/hour) is provided by non-stop operation, due to the integrity of the non-interruptible automated process: pile installation – machine displacement. Operating in the coordinating space saves time and costs for supplementary processes, excludes deviations of piles and opens the facilities for the automated positioning system.

**Keywords:** pile foundation, pile pressing method, piling machine, modular coordinating system, full-scale physical modeling, technological process modeling, construction automation.









Підписано до друку 12.04.2021 р.  
Формат 60 X 84/16 Папір офісний Гарнітура Times  
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 1,63.  
Наклад 130 прим. Зам. №21-7

Видавець і виготовлювач:  
**Одеська державна академія будівництва та архітектури**  
**Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.**  
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.  
тел.: (048) 729-85-34, e-mail: [rio@ogasa.org.ua](mailto:rio@ogasa.org.ua)

---

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету  
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА