

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

на тему: «Дослідження технології влаштування паль з розширенням
ствола»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб-1
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія»
освітньої програми «Промислове і цивільне
будівництво»
Лихачов В.Є.
Керівник в.о. с.н.с., к.т.н. Шокарев Є.О.
Рецензент доц., к.т.н. Самченко Р.В.

Запоріжжя
2023 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра _____ Промислового та цивільного будівництва _____
Рівень вищої освіти _____ другий магістерський рівень _____
Спеціальність _____ 192 «Будівництво та цивільна інженерія» _____
(шифр та назва)
Освітньо-професійна програма _____ «Промислове і цивільне будівництво» _____
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ ПЦБ _____
проф. Аругюнян І.А. _____
« _____ » _____ 20 _____ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Лихачову Володимирі Євгеновичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) _____ Дослідження технології влаштування паль з розширенням ствола _____

Керівник роботи _____ Шокарєв Євген Олександрович, к.т.н. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «01» травня 2023 року №637-с

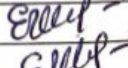
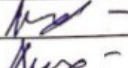
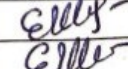
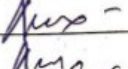
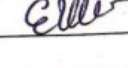
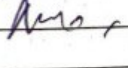
2 Строк подання студентом роботи _____ 30.11.2023 р. _____

3 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розв'язання проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____ Провести аналіз існуючих підходів до створення фундаментів та устаткування для влаштування паль. визначити ключові показники технологічних процесів влаштування паль в різних ґрунтових умовах, при використанні різних конструктивно-технологічних рішень та масштабах будівництва. Провести проектування робіт з влаштування паль за різними методами, використовуючи спеціальне обладнання, включаючи порівняльний аналіз ефективності. _____

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напрямку досліджень, результатами експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

6 Консультанти розділів роботи

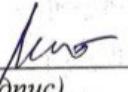
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Шокарев Є.О., в.о. с.н.с.		
Розділ 2	Шокарев Є.О., в.о. с.н.с.		
Розділ 3	Шокарев Є.О., в.о. с.н.с.		

7 Дата видачі завдання 19.05.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

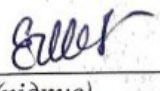
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1 Теоретико-методологічні аспекти роботи паль з уширенням	22 вересня	
2	Розділ 2 Обґрунтування теми й методики дослідження	20 жовтня	
3	Розділ 3 Удосконалення технології влаштування паль з використанням агрегатно-модульної системи	30 листопада	

Студент


(підпис)

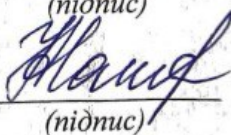
В.С.Лихачов
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Є.О. Шокарев
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено


(підпис)

Н.О. Данкевич
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Лихачов В.Є. Дослідження технології влаштування паль з розширенням ствола.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Р.В. Самченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2023.

Концепція використання агрегатно-модульної системи заснована на конструктивно-технологічному поєднанні координаційного простору модулів з модульної сіткою споруджуваної будівлі чи споруди, що забезпечує технологічну точність і безперервність виконання робіт по влаштуванню паль. Розроблена класифікація способів виробництва робіт за технологічною послідовністю влаштування паль дає змогу типізувати конструктивно-технологічні рішення і вказує на необхідність розробки модульної системи переміщення машини. Застосування модульної координатної системи дало змогу вилучити неефективні процеси, скоротити тривалість і витрати праці. Організація проведення робіт з влаштування паль на основі використання типізованих технологічних схем дає змогу одним комплектом устаткування охопити весь діапазон класифікованих технологічних процесів. Ключові слова: палі, розширення ствола, технологія, основи та фундаменти, ґрунтові умови.

Список публікацій магістранта:

Лихачов В.Є., Самченко Р.В. Дослідження технології влаштування паль з розширенням ствола. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (17-20 жовтня 2023 р., м. Запоріжжя). Запоріжжя: ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, 2023.

ABSTRAKT

Likhachev V.E. Study of the technology of piling with the expansion of the shaft.

Qualifying thesis for obtaining a master's degree of higher education in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor R.V. Samchenko. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny, Department of Industrial and Civil Engineering, 2023.

The concept of using an aggregate-module system is based on the structural and technological combination of the coordination space of the modules with the modular grid of the building or structure under construction, which ensures technological accuracy and continuity of pile installation work. The developed classification of the methods of production of works according to the technological sequence of pile installation allows to typify constructive and technological solutions and indicates the need to develop a modular system of moving the machine. The use of a modular coordinate system made it possible to eliminate inefficient processes, reduce the duration and costs of labor. The organization of pile installation work based on the use of standardized technological schemes allows one set of equipment to cover the entire range of classified technological processes. Keywords: piles, shaft expansion, technology, bases and foundations, soil conditions.

List of publications of the master's student:

Likhachev V.E., Samchenko R.V. Study of the technology of piling with the expansion of the shaft. Materials of the III All-Ukrainian scientific and practical conference with the participation of young scientists "Current issues of sustainable scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine" (October 17-20, 2023, Zaporizhzhia). Zaporizhzhia: INNI named after Yu.M. Potebni ZNU, 2023.

ЗМІСТ:

ВСТУП	7
1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОБОТИ ПАЛЬ З УШИРЕННЯМ	9
1.1 Складні ґрунтові умови та ситуація з ґрунтами України	9
1.2 Аналіз методів та механізмів улаштування паль з уширенням	14
1.3 Огляд спецтехніки для палювих робіт	29
2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ Й МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	50
2.1 Обґрунтування напряму дослідження	50
2.2 Загальна методика проведення дослідження	58
2.3 Концепція використання агрегатно-модульної системи	63
2.4 Вибір найбільш значущого показника ефективності та факторів, що на нього впливають	70
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ПАЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ	73
3.1 Агрегатно-модульна система для вдавлення паль з розширенням ствола	73
3.2 Точковий спосіб	77
3.3 Координатний спосіб	83
3.4 Лінійний спосіб	92
3.5 Організація проведення робіт із вдавлення паль із використанням агрегатно-модульної системи	94
ВИСНОВКИ	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	99

ВСТУП

Актуальність теми. Для реалізації підземних конструкцій, призначених для будівництва, витрачається значна частина часу, а саме до 50% від загальної тривалості будівельних робіт. Цей етап визнається найбільш витратним та праце-інтенсивним, при цьому існуючі методи не завжди досягають оптимальної ефективності.

Аналіз результатів досліджень методу влаштування паль вказує на численні обмеження, пов'язані з конструктивно-технологічними особливостями використовуваних машин для цього процесу. Масивні розміри та велика вага машин, недостатні сили вдавнення, неідеальні конструкції затискних механізмів, обмежені можливості позиційного переміщення та несуттєвість систем управління та контролю ставлять під сумнів ефективність даного методу. Існуючі механізми не дозволяють повністю автоматизувати процес влаштування паль у ґрунт.

Особливу актуальність отримує удосконалення методу та системи для влаштування паль, які підвищать його ефективність та повністю автоматизують процес. Ця задача стає важливим науковим завданням, оскільки враховує різні конструктивно-технологічні варіанти пальнової основи, зокрема в обмежених просторових умовах, на схилах з можливістю зсувів та на водонасичених та слабких ґрунтах.

Метою **магістерської роботи** є удосконалення технологічних та організаційних методів влаштування паль із застосуванням агрегатно-модульної системи й способу її використання для різних конструктивно-технологічних рішень пальнової основи, зокрема в умовах обмеженого простору, на зсувних схилах, а також на слабких ґрунтах.

Для досягнення визначеної мети у цьому магістерському дослідженні розглядаються такі **основні завдання**:

- провести аналіз існуючих підходів до створення фундаментів та устаткування для влаштування паль;

- визначити ключові показники технологічних процесів влаштування паль в різних ґрунтових умовах, при використанні різних конструктивно-технологічних рішень та масштабах будівництва;

- провести проектування робіт з влаштування паль за різними методами, використовуючи спеціальне обладнання, включаючи порівняльний аналіз ефективності;

Об’єкт дослідження — є технологія влаштування пальових основ.

Предмет дослідження — основні параметри технологічних процесів для влаштування пальових основ.

Методи досліджень включали вивчення та аналіз міжнародного досвіду та узагальнення технологічних рішень, що використовуються в галузі будівельного виробництва.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- досліджено та удосконалено технологію використання агрегатно-модульної системи для улаштування паль для різних конструктивно-технологічних рішень пальового поля, зокрема в умовах обмеженого простору, на схилах, та на слабких ґрунтах;

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» у секції «Промислове та цивільне будівництво» (2023, м. Запоріжжя).

Структура роботи. Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 100 сторінок. Включає 39 рисунків, 3 таблиці, список використаних джерел з 19 пунктів.

1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОБОТИ ПАЛЬ З УШИРЕННЯМ

1.1 Складні ґрунтові умови та ситуація з ґрунтами України

Складність ґрунтових умов є значущим викликом у будівництві, призводячи до великих витрат на створення надійного фундаменту або покращення характеристик ґрунту, на якому буде спиратись фундамент.

Згідно зі стандартом ДСТУ-Н Б В.1.1-39:2016 [1], до ґрунтів із особливими властивостями відносяться:

- просідаючі ґрунти;
- набрякливі ґрунти;
- водонасичені біогенні ґрунти і мули;
- елювіальні ґрунти;
- засолені ґрунти;
- насипні і намивні ґрунти;
- здимальні ґрунти;
- водонасичені пухкі ґрунти.

Ґрунти із особливими властивостями проявляють додаткові деформації основи внаслідок особливостей їх поведінки. Для компенсації цих деформацій у процесі проектування, будівництва, експлуатації та реконструкції споруд застосовуються фундаменти, конструкція яких зменшує вплив цих деформацій, або виконуються заходи з інженерної підготовки основи.

Просідаючі ґрунти включають лесовидні зв'язні (глинисті) ґрунти, деякі види покривних зв'язних відкладень, а також деякі види насипних глинистих ґрунтів, промислові відходи (колосниковий порох, попіл тощо). Під впливом зовнішнього навантаження та власної ваги, або тільки власної ваги при

замочуванні водою, такі ґрунти можуть зазнавати вертикальної деформації просідання, викликані різкими змінами їх структури ($\epsilon_{sl} \geq 0,01$ або загальна деформація $\geq 1\%$).

При розробці фундаментів, які мають справу з просідаючими ґрунтами, рекомендується враховувати можливість збільшення їх вологості за рахунок:

- замочування ґрунтів зверху - від зовнішніх джерел та (або) знизу при підйомі рівня ґрунтових вод;

- поступового накопичення вологи в ґрунті внаслідок інфільтрації поверхневих вод та екранування поверхні.

Ґрунти, які схильні до просідання, мають такі характеристики:

- відносну просадочність ϵ_{sl} - зменшення об'єму ґрунту під визначеним тиском після його замочування;

- початковий тиск просідання p_{sl} - найнижчий тиск, при якому ґрунт проявляє свої властивості просідання при повному насиченні водою;

- початкова вологість просідання ω_{sl} - найменша вологість, при якій відбувається просідання ґрунту.

Ґрунтові умови для площадок, де працюють з просідаючими ґрунтами, розподіляються на:

- ґрунтові умови, де просідання від зовнішнього навантаження відбувається головним чином у верхній зоні $h_{sl.p}$, а просідання від власної ваги практично відсутнє;

- ґрунтові умови, де, крім просідання від зовнішнього навантаження, також виникає просідання від власної ваги ґрунту в нижній зоні основи $h_{sl.g}$. Можливі сценарії, коли зовнішнє навантаження на фундамент не викликає просідання у верхній зоні $h_{sl.p}$, але відбувається просідання лише в нижній зоні $h_{sl.g}$.

Набрякливі ґрунти, в основному, включають в'язкі ґрунти, які при контакті з водою чи хімічними речовинами (розчинами) збільшують свій об'єм.

Біогенні ґрунти і мули включають в себе ґрунти, що містять органічні сполуки, утворені рештками рослин та тварин, які не розклалися, і продуктами їх розкладання, кількість яких не перевищує 10% вагою.

Мули представляють водонасичені осади, переважно з морських акваторій, із вмістом органічної речовини у вигляді рослинних залишків та гумусу.

Ця група ґрунтів включає заторфовані ґрунти та торфи (озерні, болотні, озерно-болотні), піщані та пилувато-глинисті ґрунти з відносним вмістом органічних речовин від 0,1 до 0,5, які зазвичай розташовані на заплавах річок та заплавних терасах. Якщо вміст органічних речовин перевищує 0,5, ґрунт вважається торфом.

До біогенних ґрунтів також належать сапропелі - гелеподібні органо-мінеральні осади, які формуються на дні прісноводних озер за рахунок залишків планктону, бентосу і мінеральних компонентів.

Елювіальні ґрунти представляють собою продукти розпаду магматичних, метаморфічних і осадових скель, що залишилися на місці утворення і зберегли структуру і текстуру вихідних порід, а також залишки кори вивітрювання.

Засолені ґрунти включають пилувато-глинисті ґрунти, такі як глини і суглинки, іноді з гіпсованими пісками, що виявляються зовнішніми ознаками у вигляді білого нальоту на поверхні ґрунту, кристалами та соляними включеннями на зрізах порід, а також солонавтурою або гіркуватим смаком ґрунтової води. Рідше зустрічаються засолені супіски.

Насипні ґрунти включають переміщені або відсипані ґрунти природного походження (техногенні), які мають порушену структуру і виникли внаслідок засипання ярів, балок, котлованів, місцевих понижень при територіальному плануванні з використанням ґрунтів, отриманих під час розробки котлованів, траншеї, планування території з використанням вирізання, вибійних робіт, відкритої добування корисних копалин, а також з промислових звалищ, будівельних та побутових відходів (антропогенні утворення). Ці ґрунти

відрізняються значною неоднорідністю складу, нерівномірною стисливістю, здатністю до самоуплотнення з часом, а також ущільненням від вібраційних навантажень, замочуванням і розкладанням вмісту органічних речовин у насипі.

Намивні ґрунти включають ґрунти природного походження, переміщення та укладання яких здійснюється за допомогою гідромеханізації в річкових заплавах, на надзаплавних терасах та в інших низинних місцях. Зазвичай для намиву рекомендується використовувати піщані ґрунти.

Ґрунти, здатні до морозного здимання, включають дрібнодисперсні пилувато-глинисті ґрунти, піски пилуваті та мілкі, а також крупноуламкові ґрунти з пилувато-глинистим наповнювачем, які до початку промерзання мають вологість вище певного рівня і при переході з талого стану в мерзлий збільшуються в об'ємі (здимаються) внаслідок переходу води у лід і формування льодових лінз, прошарків та кристалів льоду на 1% чи більше.

Територія України характеризується складними інженерно-геологічними умовами: слабкими, структурно-нестійкими ґрунтами, лесовими просадковими суглинками та супісками. У щільних міських забудовах часто виникає необхідність врівноважувати себе з пливунами та схилами.

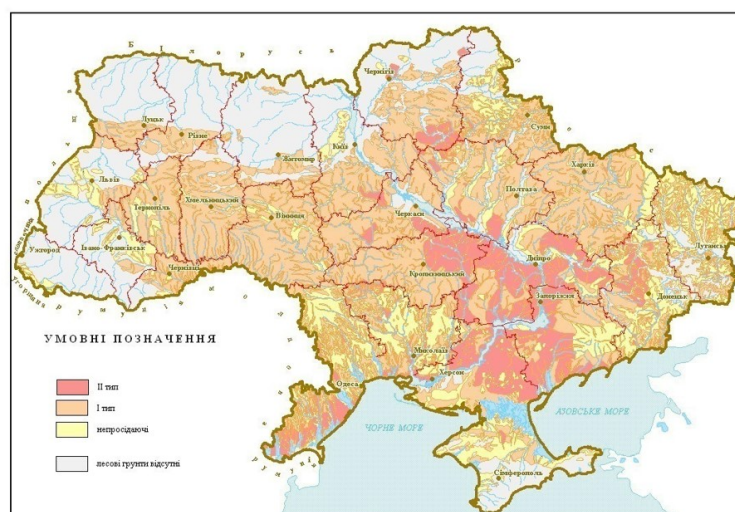


Рисунок 1.1 – Лесові ґрунти України

До категорії лісових ґрунтів I типу відноситься площа 204,73 тис. км², що становить приблизно 33,9% території України. Лісові ґрунти II типу охоплюють 62,4 тис. км², що складає приблизно 10,3% території України. Також значною мірою розповсюджені непросадкові лісові ґрунти, які займають близько 33,9% території України (див. Рис. 1.1).

1.2 Аналіз методів та механізмів улаштування палів з уширенням

Часто найбільш надійним вибором для фундаменту є використання пального типу основи. Існують стійкі палі, що передають навантаження через нижній кінець на міцний ґрунт, та тертяні палі, які передають навантаження на ґрунт через тертя боковою поверхнею та опірною площею на ґрунті. За методом виготовлення розрізняються забивні та набивні палі.

На території колишнього СРСР отримали поширення палі Страуса, чистотрамбовані, вібронабивні, трамбовані палі Франки, буронабивні, камуфлетні, та інші. Ці типи палів виявилися найбільш економічно доцільними та технічно ефективними. Якість бетону при цьому не нижче M200, в сучасний час — V15 або C12/15 [14].

Забивні палі виготовляються на заводах або полігонах, а потім вдавлюються за допомогою молотів та вібровдавлювальних агрегатів. Буронабивні палі виготовляють у вже підготовлених скважинах, безпосередньо на будівельному майданчику. Забивні палі часто мають типовий варіант, а набивні палі розробляються за індивідуальними проектами відповідно до наявних нормативних документів.

Часто вибирають палі тертя, оскільки вони ефективні при будівництві не високих конструкцій. Діаметр буронабивних пал визначається з урахуванням міцності, але не менше 400 мм [13].

Буронабивні палі різних видів рекомендується використовувати у випадках великих вертикальних та горизонтальних навантажень, складних умов будівництва, коли неможливо або складно використати забивні палі, коли необхідно прорізати палями насипи з твердими включеннями, що не дозволяють застосовувати забивні палі, або в стиснених умовах будівельної ділянки та близько до існуючих будівель [13].

Рекомендована довжина буронабивних пал — не менше 10 метрів. Менші палі рекомендується використовувати лише тоді, коли неможливо використати забивні палі.

На ґрунтах постійного мерзлого стану та при наявності агресивних підземних вод не рекомендується використовувати буронабивні палі. Також їх слід уникати при температурі повітря нижче -10°C через можливість замерзання глинистого розчину.

З часом технологія розвивалася, і для підвищення тримачової здатності таких пал необов'язково збільшувати їх поперечний переріз по всій довжині. Замість цього, необхідно збільшити площу опори на ґрунт. Таким чином, створюється розширена опора або розширена п'ятка.

Розширення основи палів сприяє збільшенню їх тримачової здатності, при цьому невеликий діаметр тіла палів (426 мм і 600 мм) дозволяє заощаджувати бетон [4]. Для створення розширення поперечного перерізу буронабивних пал використовують різноманітні методи, такі як розбурювання, вдавнення, розкочування ґрунту або обробка бетонної суміші електричними розрядами. Розширення п'яти буронабивної палі може бути також створено внаслідок вибуху заряду або трамбування жорсткої бетонної суміші у свердловині.

Не рекомендується використовувати буронабивні палі з розширенням, коли умови ґрунту передбачають розташування розширення у піску, а також для будівель з великою кількістю палей у фундаменті [14]. У буронабивних палях із розширенням п'яти не проводиться армування, тому відношення діаметра розширення (D) до діаметра тіла палі (d) повинно відповідати умові: $D/d \leq 3,2/4$. Для забезпечення надійності конструкції плити приймається кут розбурювання розширеної площини рівним 60° [14].

Процес розбурювання включає утворення розширення у свердловині за допомогою зрізання ґрунту спеціальним снарядом-розширювачем. Цей пристрій оснащений ножами, які, обертаючись, зрізають ґрунт. Відсічений ґрунт потрапляє в ґрунтозбірник розширювача і виводиться на поверхню.

На зображенні 1.2 показаний бур-розширювач, що представляє собою циліндр із висувними лопатями. Діаметр циліндра відповідає діаметру свердловини під палі. Дві ріжучі лопаті розташовані всередині циліндра і з'єднані між собою системою важелів. Після опускання бур-розширювача, закріпленого на кінці бурової штанги, до свердловини, ріжучі лопаті знаходяться всередині циліндра. Коли циліндр долає дно свердловини, до бурової штанги застосовують вдавлюючі зусилля. Під час занурення ріжучі лопаті розходяться в сторони, виходячи за межі циліндра. Потім, прикладаючи крутний момент до бурової штанги, розпочинається обертання бура. В результаті цього процесу ґрунт зрізається і потрапляє в циліндр. Після заповнення циліндра його витягують на поверхню і розвантажують [3].

Розширення штучно створюється шляхом вдавлювання ґрунту у стінки свердловини за допомогою плит-штампів розширювача (див. рис. 1.2, б). Додатково використовують оболонки, які, наповнені цементним розчином під тиском, розширюються в об'ємі.

Під час створення розширення, вантажі передаються на ґрунт за допомогою перекочування спеціальних снарядів. Ці снаряди використовуються як рухомі робочі елементи у встановках обертального буріння. На рисунку 3

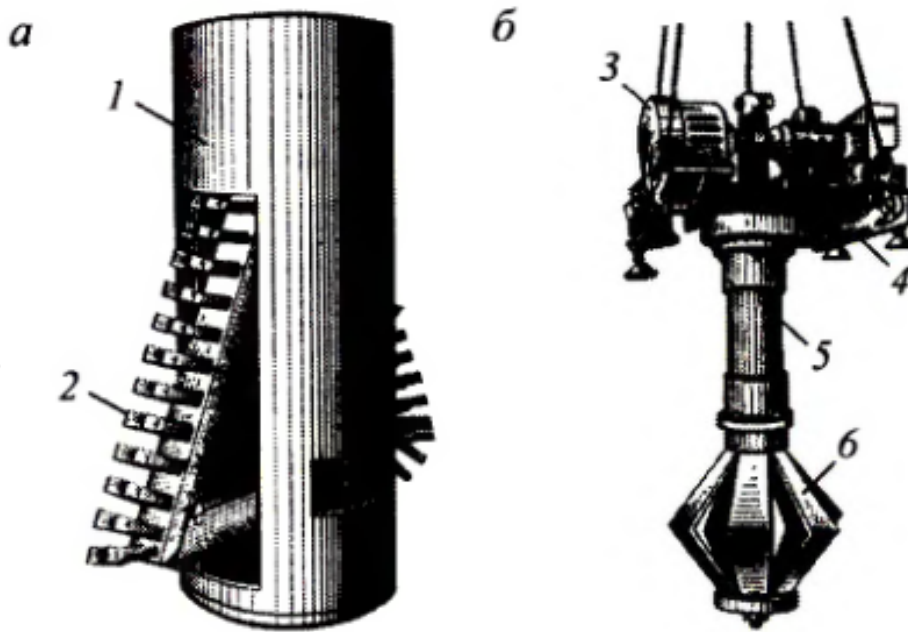


Рисунок 1.2 – Пристосування для розширення свердловин розбурювання (а) і статичним вдавненням (б) ґрунту: 1 - циліндр бура-розширювача; 2 - лопать; 3 - електричний мотор установки променеvidного розширення свердловин; 4 - опорна рама; 5 - шток; 6 - плити-штампи

показано, що обирають для використання поширювачі свердловин УРС-1М. Вони дозволяють розширювати діаметр до 1200 мм на будь-якій глибині свердловини діаметром 600 мм. УРС-1М має квадратну штангу, яка проходить через отвір в буровому ставі, та шарнірну систему з двома парами роликів - розгортають і накочують. Шарнірна система також включає опорні катки, що рухаються по напрямних обойми, через яку проходить штанга. Для переміщення роликів використовують шарнірно з'єднані важелі, які розкриваються при зниженні бурового става під дією осьового навантаження. Обойма має дві пари фіксуючих елементів, які утримують її на штанзі під час роботи розширювача і фіксують штангу в буровому ставі під час вилучення розширювача із свердловини. Ось шарнірної системи може переміщатися

вздовж обойми і штанги за допомогою втулки, яка, заблокована затвором, з'єднана із буровим ставом.

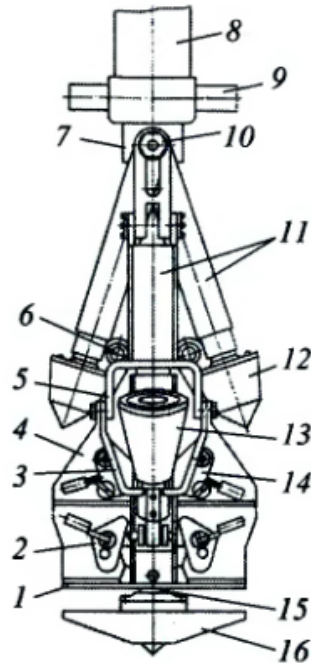


Рисунок 1.3 – Конструкція снаряду для розширення свердловин розкачуванням:

1 - диск; 2 - сухарі штанги; 3 - важіль шарніра; 4 - обойма; 5 - коромисла шарніра; 6 - опорний каток; 7 - втулка; 8 - буровий ставши; 9 - затвор; 10 - вісь; 11 - шарнірна система; 12 - віддають перевагу катанню ролики; 13 - прикатуючі ролики; 14 - сухарі обойми; 15- штанга; 16- центруюча опора.

Палі із променевидним розширенням [3]

Променевидні розширення у буронабивних палях можна втілити за допомогою розбурювання або вдавнення ґрунту. Для розбурювання використовують бури-розширювачі (див. Рис. 1.2, а) або розширювачі пантографного типу. Вдавнення ґрунту у стінки свердловини здійснюється спеціальними снарядами, оснащеними плитами-штампами (див. Рис. 1.2, б).

Пантографний розширювач (рис. 1.4) складається з ріжучого механізму і ґрунтозбірника. Ріжучий механізм представляє собою систему лопатей, що з'єднані шарнірно і закріплені на кінці бурової штанги. Після опускання розширювача в забій свердловини до бурової штанги застосовують навантаження для вдавнення, що призводить до розсування ріжучих лопатей. Затім, обертаючи штангу, починають різання ґрунту. Для відбору зірваного ґрунту під ріжучим механізмом встановлюється циліндрична баддя. Дно бадді обладнане зачіпними ножами.

Недоліком бурів-розширювачів і пантографних розширювачів є циклічність процесу, де до 30% часу витрачається на підйомно-спускні операції.

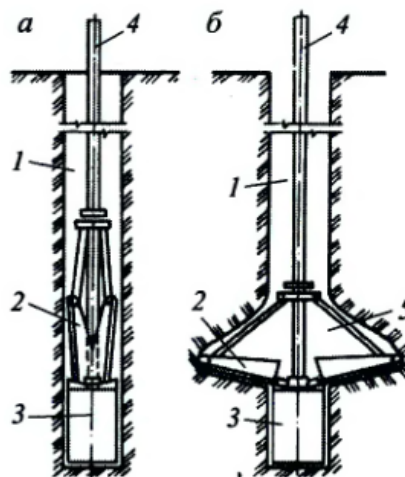


Рисунок 1.4 – Розбурювання ґрунту поширювачем пантографного типу: а - положення розширювача в свердловині до розбурювання ґрунту; б - те ж після розбурювання; 1 - свердловина; 2 - ріжучі ножі розширювача; 3 - ґрунтозбірник; 4 - штанга; 5 – розширення

Палі з камуфлетною п'ятою [3]

При використанні вибухового методу для розширення порожнини у свердловині використовується камуфлетний вибух. Розміри отриманої

порожнини залежать від властивостей ґрунту, кількості та виду вибухової речовини.

Вперше розширення основ палів за допомогою камуфлетного вибуху було виконано Вільгельмі в 1901 році. Свердловини для палів Вільгельмі прокладалися під захистом обсадної труби. Після видалення ґрунту з труби, до забою свердловини опускали заряд вибухової речовини і свердловину заповнювали бетонною сумішшю. Обсадна труба виконувала роль набійки. В результаті вибуху утворювалася розширена порожнина. Далі завершували бетонування палів і витягували обсадні труби.

Щоб уникнути трудомісткої операції з видалення ґрунту з обсадної труби, А. А. Луга в 1941 році запропонував інший спосіб виготовлення палів з камуфлетним розширенням. За цією технологією металеву оболонку з закритим кінцем занурювали в ґрунт, а заряд поміщали в центр конічного наконечника оболонки (рис. 1.5). Після розрахунку заряду А. А. Луга додатково враховував необхідність вибуху наконечника оболонки. Вибух проводився після заповнення оболонки бетонною сумішшю. Потім у свердловину опускали каркас і заповнювали решту свердловини бетонною сумішшю. Ці палів застосовувалися в нашій країні середині ХХ століття при спорудженні опор мостів як палів глибокого закладення.

Технологія згодом пройшла деякі модифікації залежно від властивостей ґрунту, глибини залягання, матеріалів та обладнання палів, однак принципова послідовність виконання робіт залишилася незмінною.

Бурові палів з камуфлетною п'ятою [3]

Для підвищення надійності бурової палів в свердловині, частково заповненої бетонною сумішшю, використовують палів заводського виготовлення після вибуху, який проводиться відповідно до показаної на рис. 1.6 послідовності робіт.

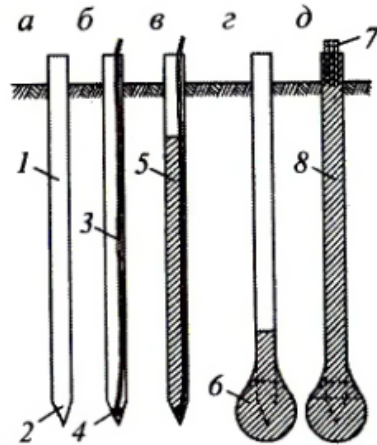


Рисунок 1.5 – Технологічна схема А. А. Луги для виготовлення паль з камуфлетної п'ятої: 1 - порожниста оболонка; 2 - конічний наконечник; 3 - вибухова сіть; 4 - заряд вибухової речовини; 5 - бетонна суміш; 6 - камуфлетного розширення; 7 - арматурний каркас; 8 - паля

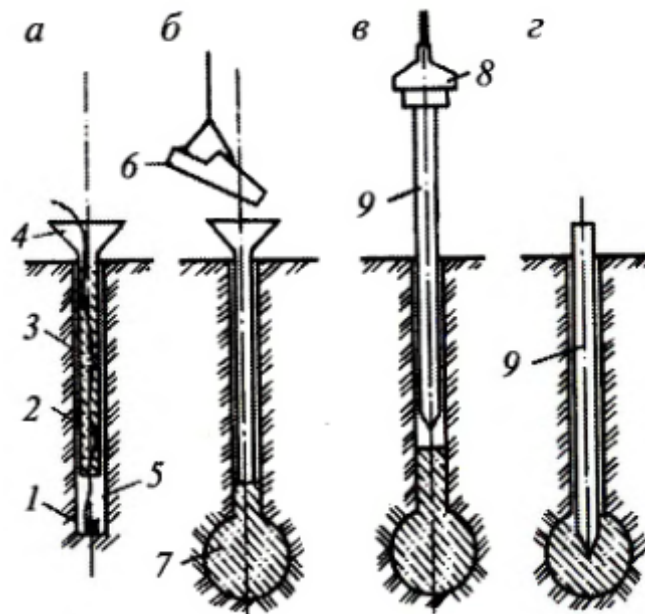


Рис. 1.6. - Технологічна схема виготовлення буроопускних паль з камуфлетним розширенням: 1 - заряд; 2 - провід до підривної машини; 3 - обсадна труба; 4 - воронка; 5 - бетонна суміш; б - баддя; 7 - камуфлетне розширення; 8 - віброзанурювач; 9 - залізобетонна паля

Застосування камуфлетного розширення рекомендується у випадках, коли нижня частина палі розташована в стійкому зв'язковому ґрунті. Для незв'язних і малозв'язних ґрунтів необхідна обсадка свердловини інвентарними трубами. Обсадні труби опускаються не на всю глибину свердловини, а на 0,8–1,2 м вище забою, щоб уникнути деформації кінця труби під час вибуху. Не можна використовувати камуфлетне розширення в водонасичених пілуватих пісках, текучих та текуче-пластичних глинистих ґрунтах, а також в великоуламкових і скельних ґрунтах.

Перевагою цієї технології є підвищення тримальної здатності палі завдяки камуфлетному розширенню, що розширює площу спирання палі на ґрунт.

Однак технологія має свої недоліки, які обмежують область застосування палі з камуфлетним розширенням. Наприклад, їх важко використовувати в умовах обмеженої забудови і поблизу вибухонебезпечних виробництв. Для зберігання вибухових речовин на будівельному майданчику необхідно влаштовувати спеціальний склад. Технологія не забезпечує ефективний контроль якості виготовлення камуфлетного розширення. Також, після вибуху, можливість обвалення верхніх шарів розширення та розшарування бетонної суміші. Для виготовлення палі з камуфлетним розширенням необхідний дозвіл на підривні роботи, які повинна виконувати спеціалізована організація.

Буроопускні палі, виготовлені за допомогою разрядно-імпульсної технології.

Вперше використання техніки електрорядної технології для ущільнення водонасичених пісків, супісків та лесовидних суглинків було запропоновано Г. М. Ломізе в геотехніці. П. Л. Іванов вніс значний внесок у розв'язання завдань ущільнення водонасичених пісків шляхом короткочасного динамічного впливу. Основи виготовлення пал за допомогою електрогідравлічного ефекту були розроблені в Ленінградському інженерно-будівельному інституті протягом періоду 1978-1981 років.

Суть разрядно-імпульсної технології полягає в обробці свердловини, заповненої дрібнозернистим бетоном або цементним розчином, через серію високовольтних електричних розрядів. Цей процес породжує електрогідравлічний ефект, який формує стовбур палі або анкера, цементує й ущільнює навколишній ґрунт. Після обробки серією розрядів початковий діаметр свердловини (130–300 мм) може збільшуватися більше ніж вдвічі, залежно від енергії, що подається в свердловину, і гідрогеологічних умов на майданчику. В результаті ущільнення ґрунтів та зниження пористості в області впливу імпульсу. Для обробки бетонної суміші чи цементного розчину використовують генератор імпульсних струмів (ГІС), що включає трансформатор, випрямляч, накопичувач енергії, комутатор і блок управління. Генератор пов'язаний із випромінювачем енергії, встановленим у свердловині, заповненій бетонною сумішшю (рис. 1.7). Розряд створюють за допомогою накопичувача енергії, що представляє собою блок конденсаторних батарей. Потім цю енергію направляють до випромінювача, поглибленого в бетонній суміші або цементно-піщаному розчині. Процес включає етап подачі електроенергії на електроди випромінювача, де створюється високовольтний розрядний канал з підвищеною температурою і тиском. Цей розряд викликає утворення плазмового каналу у парогазовій порожнині, де тиск збільшується, а температура сягає значень 104–105 °С. В результаті утворюються хвилі стиску в навколишньому середовищі. На цій стадії електрична енергія перетворюється на енергію електродинамічних збурень, що викликає розширення каналу розряду в порогазову порожнину. Якщо тиск у порожнині стає менше гідростатичного тиску бетонної суміші, відбувається згортання порожнини. Після розряду оцінюють ступінь ущільнення ґрунту за осадкою бетонної суміші відносно гирла свердловини.

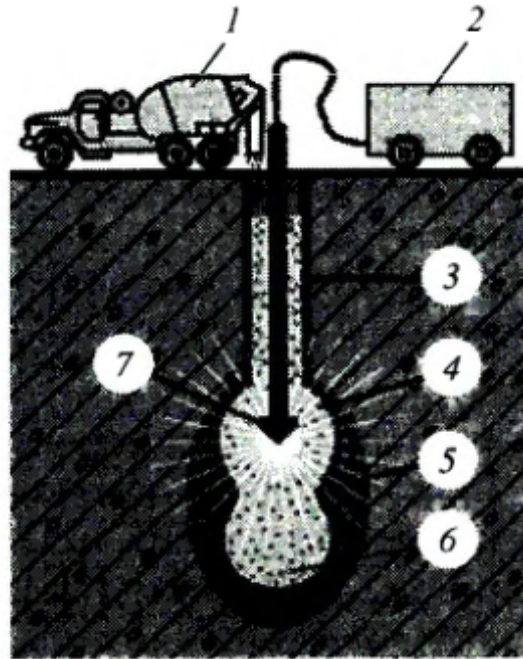


Рисунок 1.7 – Формування розширення палі з використанням розрядно-імпульсної технології: 1 - машина для подачі бетонної суміші; 2 - генератор імпульсних струмів; 3 - свердловина до обробки; 4 - зона цементації ґрунту; 5 - зона ущільнення ґрунту; 6 - камуфлетного розширення в основі палі; 7 - випромінювач

Для виготовлення палі та ущільнення ґрунту застосовують енергію електричного розряду в межах 20-60 кДж на імпульс і частоту розрядів від 3 до 20 ударів на хвилину. При цементації зони контакту "фундамент - основа" енергія електричного розряду визначається у межах 5-15 кДж.

Використання енергії розрядних імпульсів до 60 кДж забезпечує мінімальний вплив динамічних ефектів поза зоною обробки, що не завдає шкоди підсиленним конструкціям, розташованим поруч із будівництвом. Розрядно-імпульсна технологія є екологічно безпечною та дозволяє виготовлення палі і анкерів різної форми з розширенням на одному чи кількох рівнях.

Палі, виготовлені за допомогою цієї технології, отримали скорочену назву "палі РІТ". Інструкція з використання розрядно-імпульсної технології для виготовлення палів була розроблена Науково-дослідним інститутом організації земельних робіт ім. Герсєванова в 1993 році. У 1997 році були випущені "Рекомендації щодо використання палів", де були регламентовані технологічний процес і методика розрахунку даних палів.

Технологія виготовлення палів РІТ включає наступні операції:

1. Буріння свердловини.
2. Заповнення свердловини бетонною сумішшю або цементним розчином.
3. Обробка бетонної суміші або цементного розчину за допомогою електророзрядної технології на потрібних глибинах.
4. Занурення арматурного каркасу в свердловину.

Переваги розрядно-імпульсної технології включають:

- Застосування легких та компактних установок, які дозволяють проводити роботи з підвалу (на висоті не менше 2,4 метри), цокольного або першого поверху, не завдаючи незручностей мешканцям верхніх поверхів і сусідніх будівель.
- Можливість проходження без обсадних труб в нестійких ґрунтах при обкладенні стінок свердловини.

Тримальна здатність палів РІТ вища на 1,5-2,5 рази порівняно з буровими палів, виготовленими традиційними методами. Висока тримальна здатність палів РІТ обумовлена розширенням стовбура палів, ущільненням ґрунту навколо стовбура та під п'ятою палі. Опір ґрунту під п'ятою палі збільшується від 1,3 до 2,0 разів, а по боковій поверхні - від 1,2 до 1,5 разів.

Однією з модифікацій технології електророзряду є магнітно-імпульсна обробка бетонної суміші, яка відзначається здатністю значно підвищити міцність та рівномірність дрібнозернистого бетону, а також поліпшити якість та надійність виготовлених палів. Палі РІТ з успіхом використовуються під час

реконструкції і будівництва нових будівель та споруд. Рекомендована нахил пал до вертикалі не перевищує 20° .

Область застосування пал РІТ включає:

1. Створення пальових фундаментів під нові будівлі в умовах обмеженого простору біля існуючих будівель.
2. Виготовлення огорожувальних конструкцій, аналогічних стінам з дотичних пал та стін в ґрунті.

Використання пал РІТ у захисних конструкціях дозволяє з мінімальним видаленням ґрунту під час буріння отримати конструкцію, що за жорсткістю та проникністю практично не поступається стіні в ґрунті. Крім того, ця конструкція здатна нести значне вертикальне навантаження, оскільки ґрунт навколо паль ущільнюється, а піски ще й цементуються, дозволяючи влаштувати палі на відносно великих відстанях один від одного.

3. Посилення існуючих фундаментів за допомогою передачі на палі всього або частини навантаження від споруди при зміні архітектурно-планувальних і конструктивних рішень існуючих будівель (надбудови, збільшення прольотів і навантажень, збільшення висоти підвального поверху). У випадку необхідності, технологія електророзряду може бути використана для цементації цегляного і бетонного муру фундаментів, при цьому енергію електричного розряду призначають у діапазоні від 0,3 до 1,5 кДж, а частоту розрядів - від 10 до 150 ударів в хвилину.

При посиленні існуючих фундаментів конструктивні рішення аналогічні тим, що використовуються для нових пал. Конструктивні особливості виробництва пал РІТ при новому будівництві не мають. Відзначаючись високою несучою здатністю при мінімальних діаметрі і довжині буріння, палі з діаметром 150-250 мм мають не менше несучої здатності, ніж забивні палі перетином 300x300 мм при тій же довжині.

Палі "Харлей Еббот" включають в себе обсадну товстостінну трубу діаметром 40 см з вставленим сердечником, що виступає вниз на 1,25-1,5 м. Розширена голова сердечника опирається на обсадну трубу. Технологічний процес включає такі етапи:

1. Забивка сердечника в ґрунт (рис. 1.8, а).
2. Вилучення сердечника, подача порції бетонної суміші в трубу та піднімання труби (рис. 1.8, б).
3. Формування розширення ударами сердечника по бетонній суміші (рис. 1.8, в).
4. Завершення бетонування, вилучення обсадної труби та формування головки палі (рис. 1.8, г).

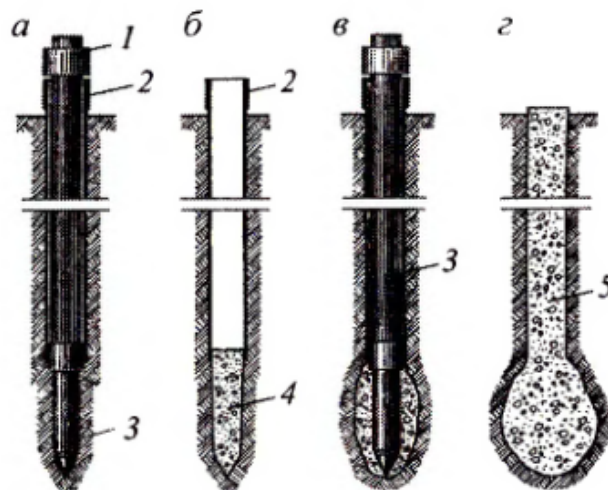


Рисунок 1.8 – Технологічна схема виготовлення палі «Харлей Еббот»: 1 – оголовок сердечнику; 2 – обсадна труба; 3 – сердечник; 4 – бетонна суміш; 5 – паля

Палі "Макартура" без захисної оболонки виробляють шляхом вбивання сталевих труб діаметром 35 см разом з наконечником. Процес бетонування включає одноразове вилучення труби. Сердечник, опущений на бетонну суміш

за допомогою молота, забезпечує щільність укладання та необхідний контакт бетону з прилеглим ґрунтом. Розширення основи досягається за допомогою трамбування бетонної суміші. Такі палі можуть мати довжину до 18 метрів.

Вібронабивні палі [5]

Технологія включає наступні етапи:

1. Обсадна труба з наконечником, що втрачається, занурюється в ґрунт за допомогою вібраційного впливу, створеного віброзанурювачем, жорстко закріпленим на верхньому торці обсадної труби-поршня.

2. Візуальна перевірка герметичності порожнини труби на відсутність ґрунтових вод і встановлення арматурного каркаса-циліндра в трубу.

3. Заповнення обсадної труби бетоном через верхній торець за допомогою бадді, бетононасоса або, за необхідності, бетонолітної труби.

4. Створення необхідного розширення відбувається переміщенням вгору-вниз обсадної труби-поршня вздовж арматурного каркаса-циліндра. Процес триває до появи відмови, що контролюється бортовим комп'ютером. При ущільненні бетону долив у свердловину здійснюється через мірну ємність, розташовану в верхній частині обсадної труби, для створення необхідного обсягу розширення.

5. Вібраційний витяг обсадної труби-поршня з одночасним ущільненням бетонної суміші в стовбурі палі. Виникає формування головки палі. Процес формування розширення доповнюється додатковим ущільненням ґрунту за допомогою пари поршень-циліндрів, що призводить до збільшення площі опору на ґрунт (діаметр палі зростає від 1,8 до 3 разів), а отже, до значного підвищення несучої здатності буронабивної палі.

Позитивні характеристики технології [15]:

1. Зменшена матеріалоемність порівняно з іншими методами палей (без уширення) завдяки більшій тримальної здатності одного пального куба. Ущільнення ґрунту під час вдавлення підвищує тримальну здатність та зменшує вартість фундаменту.

2. Відсутність виїмки ґрунту завдяки тому, що палі вдавлюються у ґрунт, сприяє економії на вивезенні ґрунту та забезпечує більшу екологічність процесу.

3. Можливість розташування пал у більшості ґрунтів, за винятком скальних, які можуть слугувати основою під нижнім кінцем палі.

4. Регулювання тримальної здатності у набивних палах з розширенням шляхом збільшення об'єму втрамбованого щебню.

5. Екологічність - відсутність шуму, динамічних коливань та викидів продуктів згоряння дозволяє використовувати технологію в умовах щільної забудови.

Негативні характеристики технології [15]:

1. Складність проведення статичних випробувань через необхідність передачі більшого навантаження для випробування, що обмежує можливість достовірної оцінки тримальної здатності.

2. Ускладнення використання обсадної труби при виготовленні пал з розширенням на крутих схилах та в умовах високого рівня підземних вод.

1.3 Огляд спецтехніки для пальових робіт

Глобальний ринок обладнання для влаштування пальових фундаментів представлений кількома основними групами устаткування, що базуються на двох найбільш високотехнологічних методах влаштування пальових основ:

- влаштування паль на місці (буронабивні, буроін'єкційні);
- занурення заводських паль.

Основний недолік методу влаштування паль на місці полягає в відсутності ефективного методу контролю якості стовбура палі під час його формування, особливо в умовах складного гідрогеологічного середовища.

Наразі використовувані методи контролю не завжди є надійними [12]. Також потрібно виконати підготовку майданчика, включаючи зміцнення стінок котловану, підсипання, укладання плит, створення дренажної системи та тимчасового пандуса. Під час робіт у відкритих котлованах порушення природних властивостей основи виявляються через ймовірність розмивання й розрідження поверхні, замочування-висушування, промороження-відтавання, а також деформації, спричинені переміщенням механізмів вздовж зволоженого ґрунту.

Технологія влаштування фундаментів будівель за цим методом базується на використанні універсальних самохідних щоглових агрегатів (пальових кранів) на гусеничній або колісній базі. Подібні машини мають системи роторного буріння, вилучення ґрунту, монтажу обсадних труб та арматурних каркасів, подачі й перемішування бетону, а також системи керування, контролю та навігації. Лідерами у виробництві та експлуатації машин цієї категорії є такі визнані світові компанії, як Bauer, Casagrande, Delmag, Pracla, RTG, Keller. Однак вони вважаються одними з найвищих за вартістю серед аналогів, а виконання робіт з влаштування пальових основ із використанням цих машин є тривалим і дорогим заходом.

Технологія занурення заводських паль базується на використанні трьох основних типів будівельних машин [16]:

- ударної дії, або молоти;
- вібраційної дії, або віброзанурювачі;
- вдавлювальної дії, або палевдавлювальні машини.

До обладнання ударної дії входять сучасні гідравлічні високочастотні молоти Vanut (Ge), Ропат (Ru) та ін. Досвід занурення залізобетонних паль за допомогою цього методу свідчить про наявність численних дефектів у носійних елементах (дефекти голови та стовбура палі), що часто призводить до неможливості досяг

нення проектної глибини, необхідності обрубку палі та вирівнювання її дубля. Це призводить до непередбачуваного збільшення витрат праці, матеріалів (бетону та арматури) та зниження несучої здатності пальної основи. На деяких сучасних копрових установках, які занурюють палі гідравлічними молотами, наприклад машинах фірми "Юнттан" з Фінляндії, застосовано методи зменшення динамічних коливань, але частіше використовується забивання паль у лідерні свердловини [16]. Вібросануювачі є навісними пристроями з різними характеристиками (амплітуди, частоти та потужності), часто виготовленими на базі самохідних агрегатів, таких як ABI, Vanut, виробництва Німеччини.

Ударний і вібраційний методи вдавнення паль часто виявляються неприйнятними в умовах обмеженого міського простору, оскільки вони можуть становити небезпеку для навколишніх будівель [10, 14]. Ці методи ефективно використовуються в гідротехнічному будівництві, зокрема для створення опор для мостів [3].

Основні переваги методу вдавнення паль включають відсутність динамічного впливу на фундаменти та конструкції навколишніх будівель і споруд, високу точність процесу вдавлювання, можливість контролю режимів занурення для кожної палі, економію енергії, а також відсутність шуму та забруднення повітря.

Серед устаткування для вдавнення, найбільше уваги заслуговують гідравлічні машини з бічним затисканням палі: обладнання від компанії "Hydro-PressSystemABI" та різні моделі "крокуючих" машин та несамохідних установок. Основною технологічною перевагою цих машин є можливість занурення палі на проектну глибину (до 10 м) безпосередньо з поверхні майданчика, що забезпечує незалежність від погодних умов.

Здебільшого виконання робіт із вдавнення паль у відкритих котлованах виявляється нерозумним з економічних і інженерно-технічних поглядів, оскільки це може призвести до збільшення вартості робіт до 70% [16].

Класифікація обладнання для вдавнення палів.

Існуюче обладнання поділяється за принципом і методом вдавлювання, способом анкерування, наявністю додаткового обладнання, методом переміщення, а також принципом і методом передачі зусиль на палу [12, 14, 17]. За методом вдавлювання розрізняють машини циклічної та безперервної дії. Глибина занурення палі у гідравлічних машинах з бічним затисканням обмежується величиною ходу штока циліндра.

За методом передачі зусиль на палу вирізняють установки з механічним і гідравлічним приводом. Установки з механічним приводом мають складну систему поліспаств та невисоку швидкість вдавнення, що є їхнім недоліком.

Класифікація варіантів затискачів палів, представлена в роботі Б.Г. Фрейдмана [24], дозволяє розглядати різні методи передачі зусиль для вдавлювання та їх застосування до палів:

1. Використання гідроциліндра подвійної дії, який опирається на голову вдавлюваної палі [9].
2. Використання сили, генерованої поліспастным механізмом [4].
3. Використання гідравлічного бокового затиску прямої дії [4].
4. Передача зусиль на палу бічними гранями за допомогою важільного механізму затиску палі [3].
5. Передача зусиль на палу бічними гранями за допомогою клинового центрального механізму затиску палі [3, 6].

При використанні щоглових гідравлічних і поліспастных вдавлювальних машин обмежується довжина палі до висоти копрової стійки, і сила вдавлювання не перевищує 140 тонн. Це призводить до необхідності влаштування котловану через неможливість занурення палі глибше поверхні землі (складнощі із вилученням інвентарного пальця), а також виконання додаткових операцій для зрубівання голів пал.

Введення бічного затиску палів може бути визнане проривом у розвитку технології вдавлювання палів. Устаткування стає більш компактним, і довжина

палів не обмежується висотою копрової стійки. Однак при вдавлюванні палів установками з бічним затискачем палів прямої дії, зі силами вдавнення наближеними до 200 тонн, можуть виникати механічні пошкодження стовбура палі. До таких установок відносять машини С0-450 [6], "Sunward-320" та ін.

За методом анкерування (компенсації опору ґрунту вдавлюванню) машини поділяються на гравітаційні та ті, що використовують додаткові анкерні пристрої [32, 33, 34]. Однак недоліками анкерного обладнання є витрати часу на налаштування анкера, необхідність ретельної підготовки майданчика та додаткові зусилля для вилучення анкера з ґрунту, що залежить від носійної здатності анкера. Вакуумний анкер застосовується в машинах СВО-В-1, СВО-В-3 [7].

Класифікація за методом переміщення розрізняє між собою самохідне та несамохідне обладнання, а також вказує на конструктивні відмінності використовуваних механізмів переміщення, таких як гусеничний або рейковий хід, механізм крокування чи модульна система. Однак ця класифікація не враховує технологічних особливостей їхнього застосування. Відсутність класифікації за технологічною послідовністю вдавлювання палів (запропонованою тут) обмежує можливість подальшої уніфікації та типізації конструктивно-технологічних рішень. Діаграма класифікації представлена на рисунку 1.9.

Додаткове обладнання для створення лідерних свердловин і розпушування ґрунту може бути використане різноманітними машинами для вдавлювання палів. Засіб для переміщення, яким є металева опорна плита, ефективно використовується самохідними машинами СВУ-В-1 "Тайзер" для зменшення тиску на ґрунт [8].

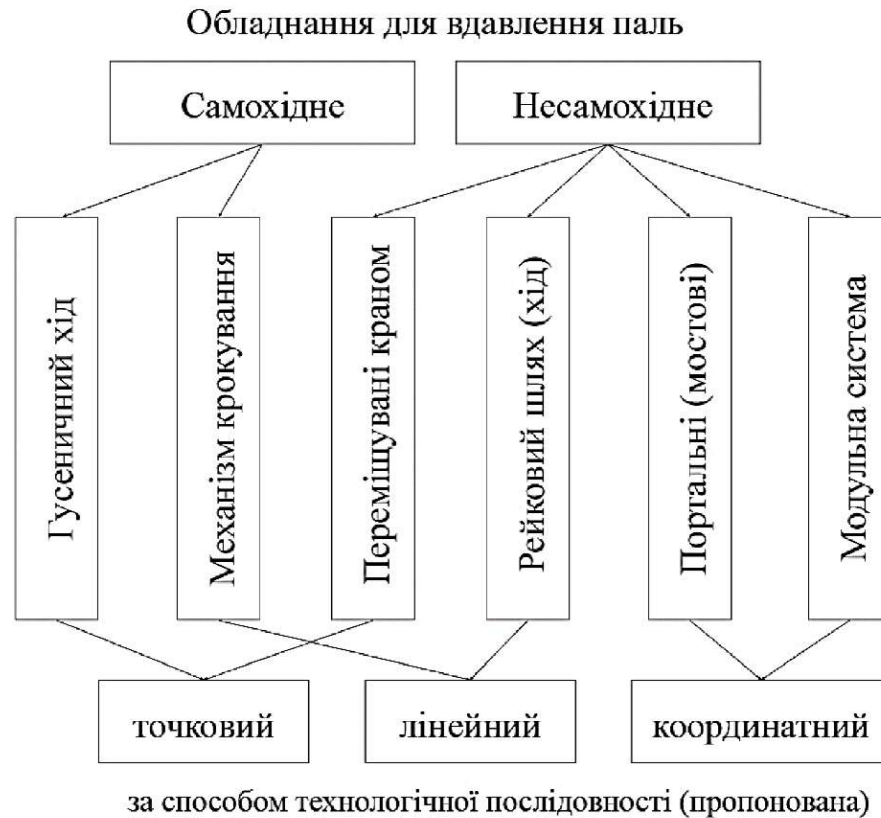


Рисунок 1.9 – Класифікація за способом переміщення

Відсутність системної класифікації обладнання для вдавнення паль за параметрами механізації та автоматизації ускладнює порівняльний аналіз ефективності вже розроблених будівельних рішень.

У розділі 1.2.2 представлено короткий опис основних конструкцій потужних машин для вдавлювання паль, а також конструктивно-технологічних особливостей систем їхнього переміщення. Подані основні технічні характеристики, показники експлуатації та дані для розрахунку важливих технологічних параметрів.

Анкерні вантажі, розташовані на кронштейнах, опираються на ґрунт, при цьому не збільшуючи навантаження на ходову частину та інші елементи конструкції машини.

Машина гравітаційного типу УСВ-120 М, яка є самохідною, використовується для занурення у ґрунт залізобетонних палів з перерізом 300x300, 350x350 та 400x400. У цьому випадку тиск маси вантажів через вертикальні тяги передається на раму машини, що збільшує зусилля вдавнення. Варто відзначити, що при наявності ґрунтів з модулем деформації E більше 14 МПа опір ґрунтів може перевищити максимальні зусилля вдавнення.



Рисунок 1.10 – Самохідна машина УСВ-120 М

Зазвичай опір ґрунтів зменшується за рахунок лідерного буріння або розпушування шнеком, що може призводити до пониження продуктивності більш ніж вдвічі та збільшення вартості робіт на 50%. Для вирішення цієї проблеми розробники рекомендують використовувати комбінований метод вдавнення палів із застосуванням вібраційно-обертального пристрою.

Для введення палів у бічний затискний пристрій машини використовується допоміжний кран, а продуктивність робіт досягає 5-15 пал на зміну.

Технологічний регламент безпечного вдавнення палів та шпунта в умовах щільної забудови з використанням цієї машини, а також її детальні технічні характеристики наведені у документації [4].

Несамохідні машини для вдавнення палів переміщуються за допомогою крана. Прикладом такої установки є машина треста № 101, яка несамохідна, гравітаційного типу з бічним затискачем палів (рис.1.11). Механізм передачі зусиль на палу реалізується через дві бічні грані за допомогою щокового затиску і важеля від гідродомкратів.

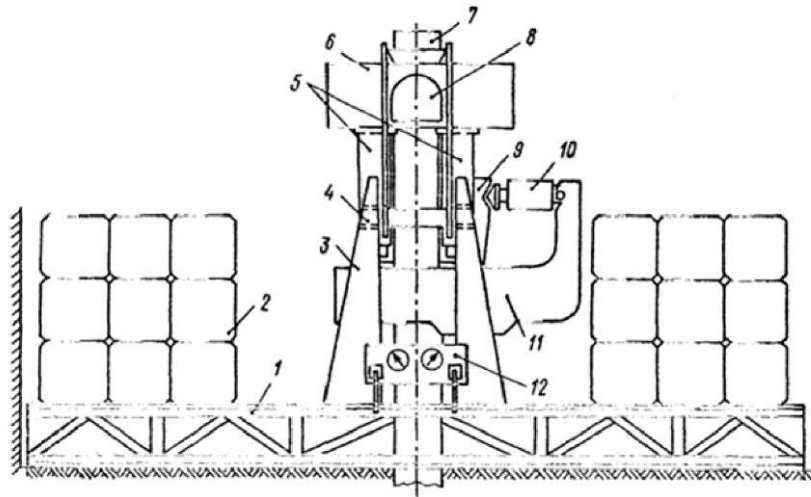


Рисунок 1.11 – Установка УСВ-200: 1 - платформа; 2 - вантаж; 3 - кронштейн; 4 - палець; 5 - гідродомкрат; 6, 11 - верхня, нижня балка; 7 - паля; 8 - мастилостанція; 9 - важіль; 10 - гідродомкрат

Максимальний розмір палів здатний до вдавнення становить 400x400 мм, а сила вдавнення досягає 2000 кН. Процес вдавнення відбувається із швидкістю 0,5 м/хв, використовуючи механізм одностороннього циклічного дії, що складається з двох спряжених гідродомкратів. Робочий орган включає верхню та нижню балки, на яких розміщені механізми для затискання та вдавнення палів.

Маса цієї установки становить 30 тонн. Анкерні вантажі представлені інвентарними чавунними болванками масою 5 тонн кожна, загальною масою до 170 тонн. Габаритні розміри складають 10,0 x 2,4 x 4,5 м. Мінімальна відстань від осі палів до будь-якої перешкоди складає: Y - 1,25 м; X - 5,05 м.

Ця установка може переміщатися за допомогою крана, що дозволяє досягати більшої точності в порівнянні з самохідними агрегатами, особливо в обмежених умовах і на слабких ґрунтах. Незважаючи на здатність розвивати великі зусилля вдавнення, допоміжні операції займають значну частину часу.

Відповідно до циклограми [3], процес вдавнення палі включає такі етапи: монтаж на позначці вдавнення; завантаження машини; підведення палі краном до робочого вузла; вдавнення палі; розвантаження та демонтаж.

Тривалість циклу для вдавнення однієї палі становить 4 години, при цьому час, витрачений на вдавнення в ґрунт, не перевищує 1 години, а час переміщення на позначку вдавнення наступної палі - 3 години. Таким чином, допоміжні операції займають 75% загальної тривалості циклу, і продуктивність не перевищує 2 палі на зміну. Механізм для затискання та вдавнення не забезпечує необхідну швидкість вдавнення палі.

Серед гідравлічних машин для вдавнення палей конкурентною перевагою володіють машини, розроблені АТЗТ "Інженерний центр Трансзвук" у місті Одеса в 2000 році. Розроблені А.А. Вакуліним, Н.Г. Мещеряковим та А.С. Волошиною [5, 6]. Машина "С0-450" гравітаційного типу з боковим клиновим затиском палі, показана на рисунку 1.12, використовує широкий спектр будівельних елементів (палі, труби, шпунт) і генерує сили до 230 тонн. Базова машина важить 14,3 тонни, а розміри (довжина x ширина x висота) становлять 6,0x1,6x3,0 метри. Максимальний переріз елемента, що вдавлюється, складає 500x500 мм, а швидкість вдавнення варіює від 1,5 до 3,5 метра в хвилину. Управління машиною здійснюється дистанційно, а режими вдавнення палі в ґрунт можуть бути вибрані як ручні, так і автоматичні.

Можливість автоматизації основного процесу - вдавнення палі в ґрунт із регульованою (встановленою) швидкістю, відкриває можливість виділення та дослідження груп допоміжних процесів, які забирають значну частину часу роботи устаткування. Тривалість циклу вдавнення однієї палі складає 1 годину,

при цьому операція занурення палі на глибину $B = 16$ м у ґрунт займає не більше п'ятнадцяти хвилин.

У даному дослідженні для вирішення задач використовується машина СЮ-450 як основний об'єкт.



Рисунок 1.12 – Палевдавлювальна машина СЮ-450

Ремонтно-будівельна машина зазначена на малюнку 1.5 і спроектована для вдавнення будівельних елементів з перерізом до 250 мм. Зазначені номінальні зусилля вдавнення становлять 80 тонн-сил (800 кН), а короточасні - до 100 тонн-сил (1000 кН). Затискання палі відбувається по двох бічних гранях за допомогою двох клинових елементів. Розміри машини (довжина x ширина x висота) становлять 6,0x1,2x2,0 м.

Ця вдавлювальна машина є найбільш компактною серед машин зі зусиллям до 100 тонн-сил, маса якої становить 6,5 тонни, і це дозволяє виконувати унікальні та складні будівельні та ремонтні проекти, включаючи ті,

що стосуються історичних центрів [7], а також в умовах будівництва, що виходять за рамки стандартного, як зображено на рисунку 1.13.

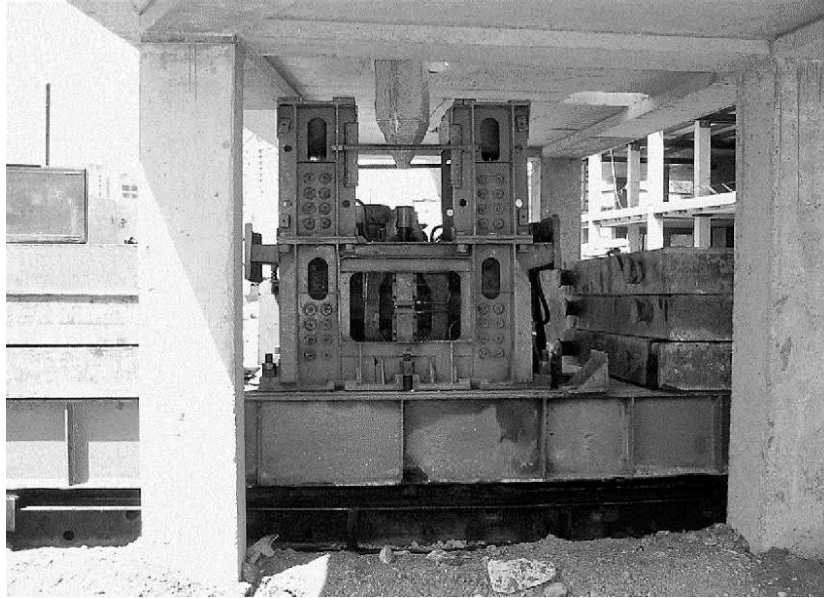


Рисунок 1.12 – Ремонтно-будівельна машина РСМ-80

У зв'язку зі зміненими гідрогеологічними умовами було необхідно зміцнити пальову основу п'ятиповерхового будинку на етапі зведення п'ятого поверху. Висота перекриття становить 3,5 метра. Палі з перерізом 250x250 мм піднімалися краном через отвори, просвердлені в перекриттях (всього четвертого поверху), як показано на малюнку 1.5. Переміщення під перекриттям першого поверху відбувалося методом ковзання з використанням гідроциліндрів, що забезпечило необхідну точність позиціонування.

Подібні завдання вважаються непосильними для інших типів вдавлювальних машин, представлених у цьому розділі. Основним недоліком машин цього типу, зображених на малюнках 1.3-1.5, є те, що від 75% до 90% часу роботи складають неефективні та небезпечні допоміжні процеси, пов'язані з необхідністю переанкерування машин під час переміщення краном на місце вдавнення наступної палі [2, 4]. Це істотно збільшує тривалість робіт, а також

витрати праці та експлуатаційні витрати. Машини крокуючого типу позбавлені вказаних недоліків.

Гідроциліндрова вдавлювальна машина з прямим бічним затиском палі, що має механізм крокування для переміщення вздовж (X) або поперек (Y) напрямків для досягнення проектної позначки палі і горизонтального вирівнювання машини. Наразі у Китаї діє понад 30 заводів, які випускають крокуючі машини серій YZY і ZYJ [8]. Такі машини виробляються компаніями Hunan Sunward Intelligent Machinery, Guangdong Liyuan Hydro-machine, Guangxi Construction Engineering Group та іншими, і їх постачають в Малайзію, В'єтнам, Сінгапур та інші країни. Описана конструкція зафіксована в патентах Китаю [39], Японії (JP 2002-61186, JP 2005-126892, JP 2005-120677A), Великобританії (GB 2365906 A, 27.02.2002) та Австралії [4]. Загальна схема конструкції "крокуючої" машини, згідно з винаходом [4], наведена на рисунку 1.14.

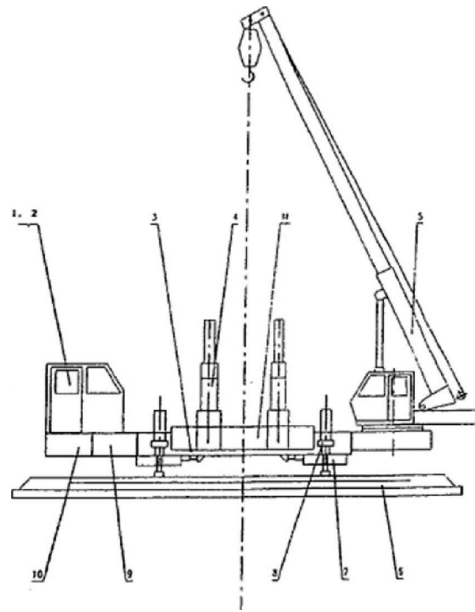


Рисунок 1.14 – Конструктивна схема «крокуючої» машини: 1 - кабіна оператора; 2 - силова рама; 3 - платформа; 4 - гідроциліндри; 5 - кранова установка; 6 - гідросистема; 7 - поздовжня опора; 8 - поперечна опора; 9 - опорні циліндри

Максимальний розмір профілю "Н" вдавлюваної палі коливається від 0,3x0,3 м до 0,5x0,5 м, а загальна маса досягає 600 т. Базова маса машини складає 150 т, а анкерні вантажі - 450 т. Габаритні розміри машини в робочому положенні становлять 14,0x8,2x22 м.

Мінімальна відстань від осі вдавлюваної палі до краю машини (X) становить 7 м, (Y) - 4,1 м, що визначає положення кутової палі. Механізм переміщення призначено для підйому та руху машини будмайданчиком, а також для повороту та вирівнювання з кутом повороту 8 градусів за операцію. Зусилля вдавнення складають 6000 кН, а швидкість вдавнення досягає 2 м/хв. Передбачається використання консольного майданчика, проте при вдавлюванні палі на консолі зусилля вдавнення зменшуються на 60% [8]. Машина має підйомний пристрій для подачі палі та інструменту з вантажопідйомністю менше 12 т, але у практиці часто вимагається додатковий кран, особливо в умовах складності.

Всі машини цього типу відрізняються конструкцією вдавлювального механізму та наявністю додаткового обладнання, але вони спільно використовують принцип переміщення за допомогою механізму крокування.

Величина кроку визначає розміри робочої зони машини, в якій можна вдавлювати палі, розташовані на одній осі, без використання механізму крокування, тобто без розриву позиційної прив'язки [2]. У такому випадку час переміщення робочого органа становить менше однієї хвилини. Рекомендована послідовність робіт [8] наведена на рисунку 1.15.

- Величина поздовжнього кроку варіюється від 1,4 м до 3,6 м.

- Величина поперечного кроку коливається від 0,4 м до 0,6 м.

Аналогічна конструктивна схема представлена важкими машинами фірми "G-PILE System", Австралія [3], зображеною на рисунку 1.16.

Серії машин У2У800, У2У600 і У2У300, з зусиллям вдавлювання 800 т, 600 т і 300 т відповідно, а також серія У7У120, із зусиллям вдавнення 120 т,

використовують копрову стійку довжиною 6 м для вдавнення палі з перерізом до 300х300 мм. Розглянемо характеристику машин У7У800 і У7У300.

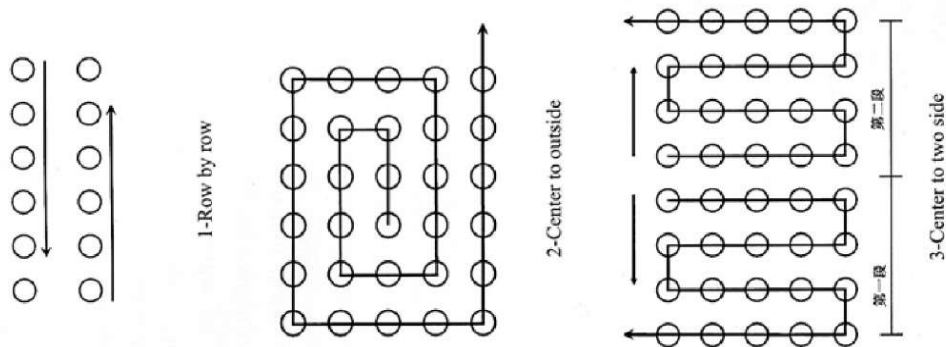


Рисунок 1.15 – Технологічна послідовність робіт: 1 - уздовж осей пальових рядів 2 - з центру по спіралі; 3 - з центру в двох напрямках



Рисунок 1.16 – Машина YZY

Палі квадратного перерізу з розмірами від 250х250 мм до 350х350 мм. Зусилля циліндрів затиску палі становлять 10000 кН і 6000 кН. Швидкість переміщення складає 1,8-2,8 м/хв. Кут повороту становить 20° за одну операцію. Роботу забезпечує допоміжний кран з грузопідйомністю до 70 т.

Величина робочого переміщення: поздовжнього (уздовж осі X) - 3,0 м; поперечного (уздовж осі Y) - 0,55 м; позиційного коригування - 0,60 м. Габаритні розміри становлять 11,1x10,0x9 м і 11,0x10,0x10,1 м.

Мінімальні відстані від осі вдавлюваної палі до кута будівлі становлять 3,50 м (1,50 м) уздовж осі X та 5,50 м (3,50 м) уздовж осі Y.

Маса конструкції механізму крокування складає 200 т і 92 т, анкерних вантажів - 430 т і 240 т, маса базової машини - 55 т і 33 т. Велика масообертання та габаритні розміри обмежують можливості крокуючих ПМ при роботі в умовах кутів котлованів та вздовж бровки. Для транспортування на об'єкт використовується спецтранспорт, що робить їх неефективними в умовах індивідуального будівництва та на розсереджених об'єктах.

Розглянуті "крокуючі" машини є одними з кращих засобів комплексної механізації робіт з улаштування пальових основ, однак їх ефективність обмежена певними умовами. Механізм крокування менше ефективний на слабких ґрунтах, в умовах обмеженого простору та поблизу укосів та схилів. Портальні (мостові) пристрої, які застосовуються для улаштування пальових основ під житлові будівлі, мають можливість поздовжнього та поперечного переміщення в межах зони порталу. Проте при переході на сусідні осі (ділянку) потрібні демонтаж та монтаж обладнання, а також рейкових шляхів.

Портальний пристрій для вдавнення паль, представлений на рисунку 1.17, та спосіб його використання розроблені конструктором Б.З. Кашко за патентами ІШ2159892, ПА27634 [4, 5, 6]. Виробник: науково-виробниче підприємство «ВІАНТ», Україна. Цей пристрій успішно використовується в Україні вже протягом понад 20 років для формування пальових основ під житлові будівлі, зокрема в умовах густої міської забудови.

Вдавальний орган цього пристрою є одноциліндровим і застосовує зусилля до верхньої частини палі, обмежуючи глибину вдавлювання паль нижче поверхні землі (більше 3 метрів) через складність вилучення

інструменту. Важливою особливістю є можливість швидко змінювати інструмент для буріння (розпушування) ґрунту.



Рисунок 1.17 – Пристрій для вдавлювання паль, Україна

Масивність і трудомістке переналагодження приводять до того, що процеси монтажу/демонтажу займають значну частину часу, а налаштування рейкових шляхів вимагають значних зусиль і додаткового обладнання (кран, навантажувач). У модифікованому пристрої змінено рейковий шлях на металеві напрямні опори, однак копрові стійка обмежує довжину будівельного елемента, який вдавлюється.

Зазначений метод, який є прототипом двокоординатного (X-Y) позиційного переміщення, дозволяє встановлювати три або більше ряди паль без переналагодження, проявляючи при цьому високу продуктивність і точність вдавлювання паль. Мостові установки раціонально використовувати в міських умовах для виконання значних обсягів робіт з улаштування паль на одному об'єкті.

Розробка фірми Giken Seisakushio (Японія) представлена кількома серіями оригінальних машин, які відображають шлях розвитку технології вдавлювання, починаючи від машини «Silent Piler» (1975) до впровадження методу автоматизованого влаштування функціональних споруд [7]. Застосування

включає влаштування шпунтових огорож, будівництво функціональних споруд, особливо в умовах високої складності і на слабких водонасичених ґрунтах.

Основна концепція полягає в тому, що машина переміщується по шпунтовій стіні, використовуючи силу тертя в замках раніше вдавлених шпунтових паль. Гідравлічні затискачі утримують машину на шпунтовій стіні, і вона переміщується на місце чергової палі шляхом перехоплення по головах раніше встановлених (вдавлених у замок) шпунтових паль, як показано на рисунку 1.18.

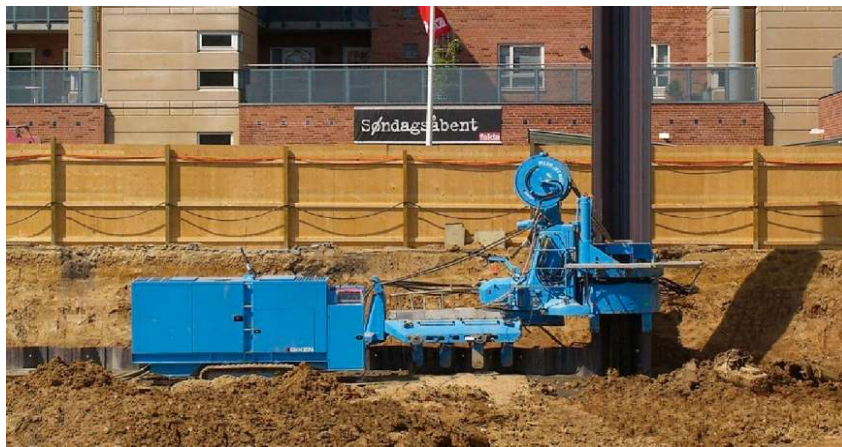


Рисунок 1.18 – Вдавлювання шпунтової палі коритного профіля машиною «Silent Piler», Японія

Тимчасові робочі платформи та об'їзні шляхи не є необхідними, особливо на слабких, нестійких ґрунтах, на схилах, а також на воді. Це уникає загрози зриву або перекидання, характерної для гравітаційних палевдавлювальних машин. Машини цієї серії відзначаються найбільшою компактністю серед шпунтових. Робочий простір, необхідний для виконання робіт, обмежується лише габаритами цих машин і можливістю розміщення на майданчику допоміжного крана з вантажопідйомністю 50 т, як показано на рисунку 1.19. Машини цієї серії успішно експлуатуються в Німеччині, Нідерландах, Англії і США.

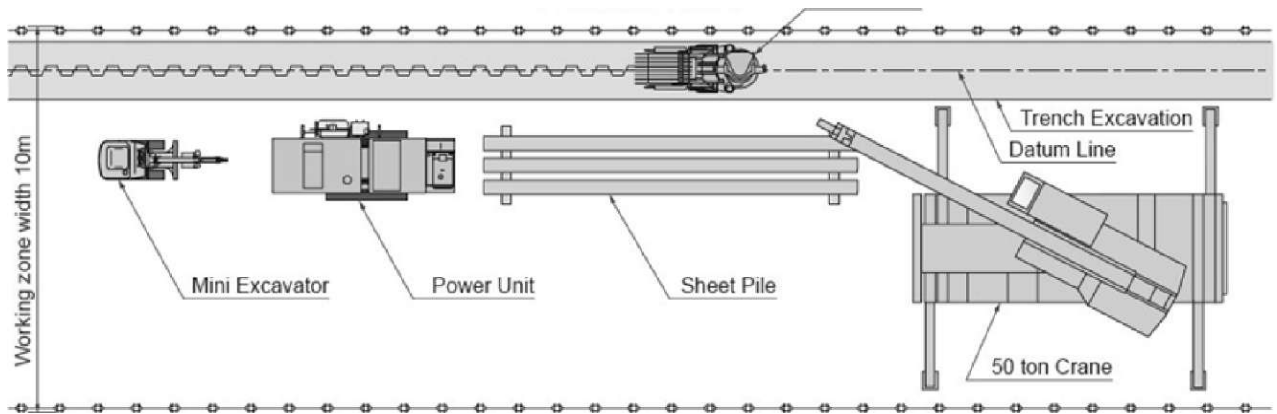


Рисунок 1.19 – Схема влаштування шпунтового огороження машиною «Silent Piler» в обмежених умовах

"Z-Piler" (ZP-100) - це серія машин, яка використовується для влаштування шпунтових огорож методом вдавнення металевого профілю типу Z і Н різних габаритів в діапазоні: AZ13 AZ48 і Н1200 Н3600. Максимальне зусилля вдавнення становить 100 тс, а швидкість вдавнення - від 1,5 м/хв до 35,2 м/хв. Маса машини 11,450 кг. Габаритні розміри (дхшхв) - 3,39х1,26х3,13 м. Керування машиною - дистанційне, позиційне переміщення може здійснюватися автоматично. Для вдавнення перших чотирьох шпунтових елементів (анкерних пал) використовується базова вантажна платформа, як показано на рисунку 1.20.

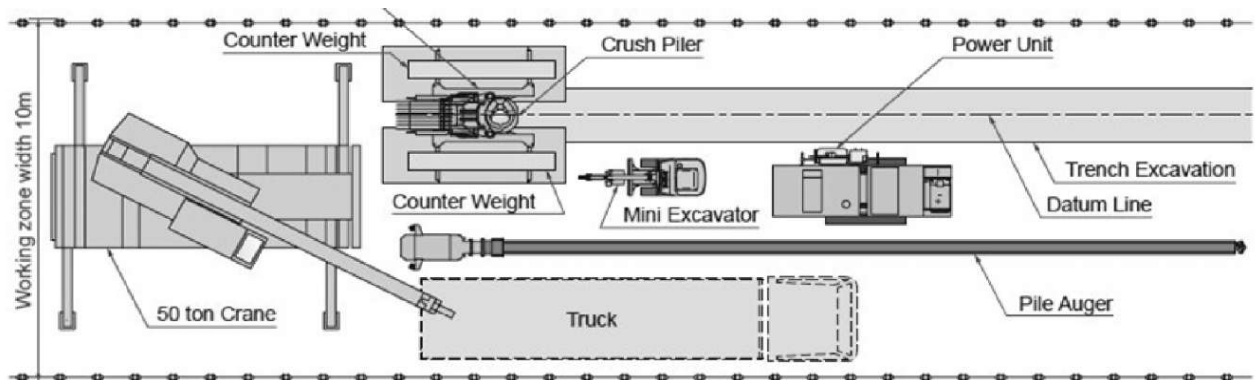


Рисунок 1.20 – Схема організації майданчика в процесі монтажу машини «Crush Piler» на раніше вдавнені шпунтові палі

"Crush Piler" - це вдавлювальна машина, оснащена шнекобуром для проходження твердих порід, її маса становить 2,1 т, а габаритні розміри (дхшхв) - 7,22х5,65х5,27 м.

"Gyro Piler" - це роторна машина для занурення сталевих труб діаметром від 1300 мм до 1500 мм, із зусиллям вдавнення до 2000 кН. і зусиллям обертання 1300 кН/м. Максимальна довжина цільної труби діаметром 1500 мм і товщиною стінок 20 мм становить 33,7 м, а її маса - 14,7 т. Маса машини - 37,3 т.

"Tubular Piler" - це вдавлювальна машина для сталевих труб із замковим з'єднанням, зусиллям вдавнення 4000 кН, масою 62 т, яка показана на рисунку 1.21. Максимальна довжина труби діаметром 1500 мм з товщиною стінки 22 мм становить 40 м, а її маса - 19,6 т. Подача труби до робочого органа здійснюється краном вантажопідйомністю 50-100 т.



Рисунок 1.21 – Вдавлювання труб машиною «TubularPiler» при реконструкції гідротехнічної споруди

Подальше вдосконалення способу, що базується на використанні розглянутих машин, призвело до розробки та створення автоматизованої будівельної системи "GRB Non-Staging System", яка показана на рисунку 1.22. Ця система може автоматично виконувати такі технологічні процеси: занурення

шпунтових паль, переміщення машини шпунтовими рядами, транспортування паль у зону дії маніпулятора, а також подачу маніпулятором паль у машину.

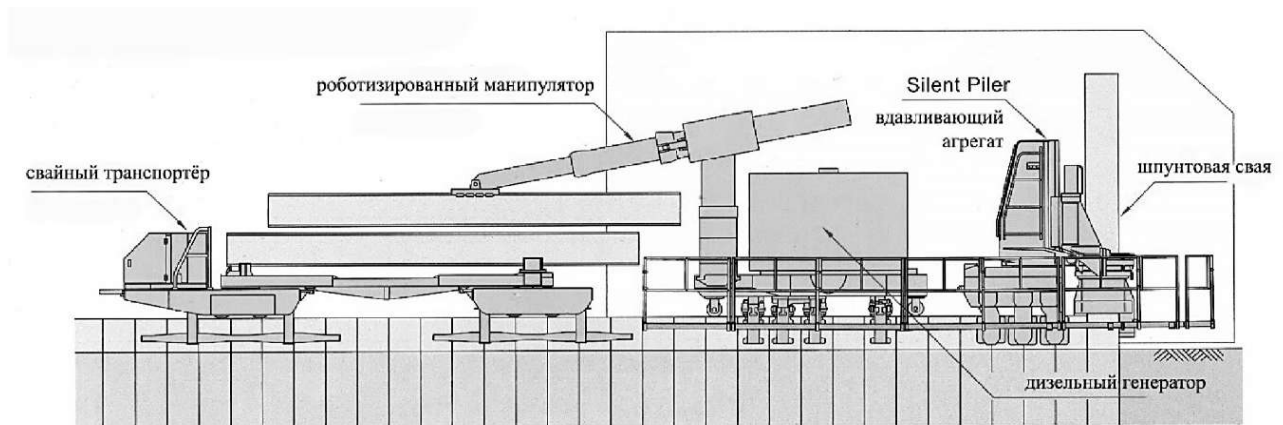


Рисунок 1.22 – Автоматизована система «GRB-System», Японія

При цьому основне й допоміжне обладнання переміщується по верхній частині шпунтової стінки. Монтаж системи здійснюється бригадою з 4 осіб: кранівником, стропальниками, оператором машини. Процес вдавнення шпунтових паль передбачає такі етапи: монтаж системи; установка машини; вдавнення 4-ох анкерних шпунтових паль; монтаж машини на анкерні палі; вдавнення палі у ґрунт; переміщення машини по раніше утиснених палях; монтаж пересувної платформи з дизель-генератором; монтаж кранового маніпулятора; монтаж пального транспортера; доставка шпунтових паль у зону маніпулятора. Після цього система переходить в автоматичний режим роботи.

Відповідно до технологічної схеми, яка відображена на рисунку 1.23, для забезпечення неперервної експлуатації застосовується вантажний кран, який виконує такі операції: подачу та розташування шпунтових пал (труб) на транспортер, складання, встановлення та демонтаж обладнання. Вибір конфігурації та структури системи переміщення та маніпуляторів залежить від розміру та типу будівельного елемента, який вдавлюється, та особливостей його інтеграції з конкретним технологічним обладнанням.

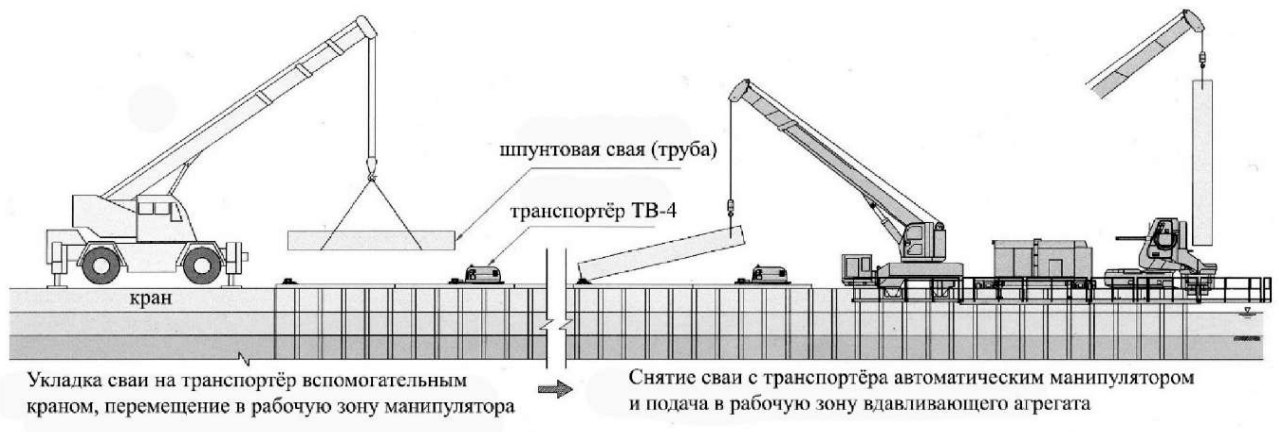


Рисунок 1.23 – Технологія виробництва робіт системою «ОКВ-Бузіет»
в автоматичному режимі

Суворя конструкція спеціалізованого обладнання не завжди ідеально відповідає умовам використання, що приводить до значної різноманітності моделей основного та допоміжного обладнання [8, 9]. Зазначена система використовує шість моделей самохідного крана; дві моделі транспортера (труби, шпунт); кілька платформ для переміщення дизель-генератора; шість моделей "Silent Piler" з обладнанням для лідерних бурінь, зокрема для прокладання доріг через скельні ґрунти; сім моделей "Gyro Piler" і вісім моделей "Tubular Piler". Крім того, використання унікальної конструкції затискачів пал та затискачів для системи переміщення машин вимагає виробництва власних будівельних елементів [7].

Зазначену проблему можна вирішити, створивши, наприклад, універсальну автоматизовану систему (агрегатно-модульну) з технологічними можливостями, які значно перевищують потреби конкретного виробництва.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ Й МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування напрямку дослідження

У попередньому розділі розглянуто промислові методи та засоби формування фундаментів, які базуються на використанні оригінальних технічних засобів і передових технологій. Суттєва частина будівельних робіт припадає на створення підземних частин будівель та споруд, вартість і трудомісткість яких є значними.

Проте їхнє влаштування часто проводиться несистемно, без використання шпунтових огорожень, без єдиної стратегії управління ґрунтовими та поверхневими водами, а також без комплексного зміцнення схилів та інших важливих елементів. Більшість наукових досліджень у галузі технології вдавнення пал стосувались, насамперед, процесу занурення пал в різні типи ґрунтів, при цьому враховувались обмеження конкретного обладнання, зокрема, подолання сил опору ґрунтів під час вдавлювання.

Проте аспекти оптимізації та ефективності найбільш витратних та ризикованих вторинних процесів, які забирають більшість робочого часу машини, залишалися поза увагою. Відсутня методика вибору оптимального обладнання (як основного, так і допоміжного) та найбільш ефективного методу виконання робіт з вдавнення пал.

Аналіз літератури, присвяченої вивченню методів вдавнення пал, свідчить про те, що ефективність його використання обмежуються недоліками, які найчастіше притаманні більшості машин для вдавлювання пал. Ці недоліки включають неідеальність механізмів затиску, центрування та передачі зусиль на вдавлювані палі, велику вагу та габарити устаткування, а також відсутність систем контролю точності робочих рухів.

Конструктивно-технологічні особливості машин для вдавлювання пал, розроблених різними підприємствами на основі самохідних агрегатів з копровими стійками, поворотними крановими платформами [10-14], рейковими шляхами [9], обмежують їхнє використання в умовах з великими нахилами, на зонах з підвищеною ймовірністю зсувів та на м'яких водонасичених ґрунтах.

Аналіз вказує на те, що гідравлічні машини з затискачами пал по боковій поверхні позбавлені зазначених недоліків. Симетричне розташування механізмів вдавлювання та затиску відносно вдавлювальної палі, а також їхні конструктивно-технологічні особливості дозволяють досягати високих зусиль вдавнення без ризику пошкодження пал у механізмі затиску.

Анкерування палевдавлювальних машин металевими вантажами розглядається як найбільш прийнятний та безпечний метод компенсації сил опору ґрунтів під час вдавнення. Однак виникає проблема переміщення вантажів краном під час перестановки машини на місце вдавнення нової палі. Цей процес є небезпечним та трудомістким, забираючи від 75% до 90% часу циклу вдавнення палі. Це призводить до збільшення машинного часу, високих робочих витрат і експлуатаційних витрат.

Хоча зазначені машини мають кращі показники питомої потужності, як вказано в таблиці 1.1, їхні показники продуктивності залишаються менш задовільними.

Створення модульної координатної системи переміщення для цих машин, а також вдосконалення технології вдавнення палі з використанням цієї системи, може підвищити продуктивність, точність і безпеку вдавнення палі, особливо в умовах обмеженого простору та на слабких ґрунтах.

Вибір обладнання для вирішення цього завдання є складним процесом. Розглядаючи різні варіанти, вказані в підрозділі 1 і представлені в таблиці 1.2, враховано 21 комплект устаткування для порівняння за 15 критеріями. Машини для вдавнення будівельних елементів мають різні технічні та експлуатаційні характеристики, тому вибір повинен базуватися на численних факторах.

При прийнятті рішення про вибір оптимального обладнання для вдавнення пал, важливо визначити основні характеристики, які визначатимуть його ефективність. Врахування області застосування в рамках завдання є критичним. У цій роботі для визначення найбільш ефективних машин були обрані ті, які забезпечують автоматизацію процесу вдавнення для різних конструктивно-технологічних сценаріїв, включаючи обмежені просторові умови, схили та слабкі водонасичені ґрунти.

Система багатокритеріального аналізу для оцінки механізації та автоматизації процесів вдавнення пал дозволяє ретельно оцінювати не лише кількісні, але й якісні параметри. Зокрема, врахування декількох груп критеріїв, що описують конкретне технологічне обладнання, становить основну перевагу багатокритеріального аналізу. З урахуванням поставленого завдання основні критерії вибору включають автоматизацію, продуктивність праці, масу базової машини, питомий тиск на ґрунт, мінімальну відстань до перешкод або об'єктів поблизу робочого місця. Ключову роль у виборі обладнання відіграють також показники, які характеризують зусилля вдавнення, вартість технологічного обладнання, вартість та засоби транспортування, а також матеріал та габарити будівельних елементів.

На основі інформації з різних джерел (підрозділ 1.3) та складеної таблиці 1.2 було проведено порівняння обладнання для вдавнення будівельних елементів згідно з обраними критеріями. Оцінка обладнання за кількісними критеріями виконана за допомогою десятибальної шкали, де балам 1 і 10 відповідають мінімальне і максимальне значення відповідно. Проміжні значення визначаються методом інтерполяції. Критерії вибору технологічного обладнання для вдавнення будівельних елементів визначаються параметрами, що найповніше та об'єктивно оцінюють його основні характеристики.

Критерії вибору включають різноманітні аспекти, такі як технічні, технологічні, експлуатаційні, економічні та екологічні. Для обробки результатів

багатокритеріального аналізу використовується "зведена діаграма" у програмі Microsoft Excel.

За 15 характеристиками наявного обладнання для вдавнення пал були обрані 5 найбільш значущих, враховуючи обмеження, визначені в основному завданні. Ці характеристики стосуються різних конструктивно-технологічних рішень пального поля, особливо в умовах обмеженого простору, обмежень реконструкції, слабких ґрунтів та можливості автоматизації процесу вдавнення.

З розгляду 15 характеристик було обрано 5, які найбільше впливають на вибір відповідно до зазначених обмежень. Однак при обмеженні до 5 критеріїв із 15 важко зробити однозначний вибір. Тому проведемо подальший аналіз, використовуючи загальну діаграму, подану на рисунку 2.1. і групуючи значення основних критеріїв для всього розглянутого обладнання для вдавнення пал, які представлені в таблиці 2.1.

Аналізуючи таблицю 2.1 та зведену діаграму на рисунку 2.1 для розглянутого технологічного обладнання для вдавнення будівельних елементів, можна відзначити, що один з ключових критеріїв - маса базової машини - для деякого обладнання перевищує 140 тонн. Це стосується YZY-600 «G-Pile Systems» та «Sunward-240». Велика маса базової машини ускладнює проведення робіт на схилах та призводить до великих витрат на транспортування.

Важливо враховувати різноманітність марок пал, їхню довжину, розмір поперечного перерізу, а також різні ґрунтові умови та властивості кожного ІГЕ. Заявлені швидкості і тривалість вдавнення кожної палі не є уніфікованими. Зусилля вдавнення та швидкість визначаються тиском у гідросистемі машини і не завжди відповідають опору ґрунтів у різних умовах. Тільки автоматизовані машини можуть забезпечити постійну швидкість.

Тривалість позиційного переміщення машини залежить від багатьох чинників, таких як розташування пал, міжосьові відстані та стан поверхні майданчика. Тільки в порталних машинах та на каретці, зокрема в

Таблиця 2.1 – Порівняння машин для влаштування палів

№	Найменування обладнання	Маса базової машини	Питомий тиск на ґрунт	Мінімальна відстань до перешкоди	Автоматизація	Швидкість вдавлення
1	Машина С0-450 (UA)	1	6	2	10	6
2	Машина РСМ-80 (UA)	1	3	1	1	5
3	Установка УВТ-200	1	8	2	1	4
4	Установка УСВ-200	2	8	2	1	2
5	УСВ-120 М (RU)	5	10	4	1	1
6	УСВ-160 (RU)	5	10	4	1	3
7	YZY-300 (AU)	6	5	9	1	10
8	YZY-600 (AU)	10	5	9	1	3
9	«Sunward-240» (CH)	10	4	6	1	9
10	ZYC-320B (CH)	5	5	6	1	9
11	JVY128A "Jove" (CH)	2	4	6	1	5
12	JVY208A (CH)	3	4	6	1	8
13	Машина СВО-В-1 (UA)	3	8	1	1	1
14	СВУ-В-6 «Гайзер»	3	1	1	1	4
15	Пристрій (поргальний)	4	5	10	1	1
16	Мостова СКЕ-1(RU)	2	7	4	1	1
17	СВУ кран КБ-160 (RU)	7	5	2	1	1
18	«Tubular Piler»(JP)	3	1	5	10	6
19	«Gyro Piler»(JP)	4	1	5	10	10
20	«Silent Piler»(JP)	2	1	1	10	10
21	«Z-Piler», ZP-100 (JP)	1	1	1	10	6

автоматичних машинах, швидкість переміщення є постійною, але обмеженою робочою зоною.

Питомий тиск на ґрунт виявляє високі значення в машинах: УСВ-120 М; УСВ-160; ЗУС-320В; JYU128A "Jove"; JYU208A; установки СВО-В-1 та СВУ-В-6 «Тайзер». Використання такого обладнання ускладнюється на слабких водонасичених ґрунтах. Мінімумально можлива відстань визначає можливість проведення робіт поблизу наявних будівель в обмежених міських умовах, в умовах реконструкції та для конструктивно-технологічних рішень пального поля.

51

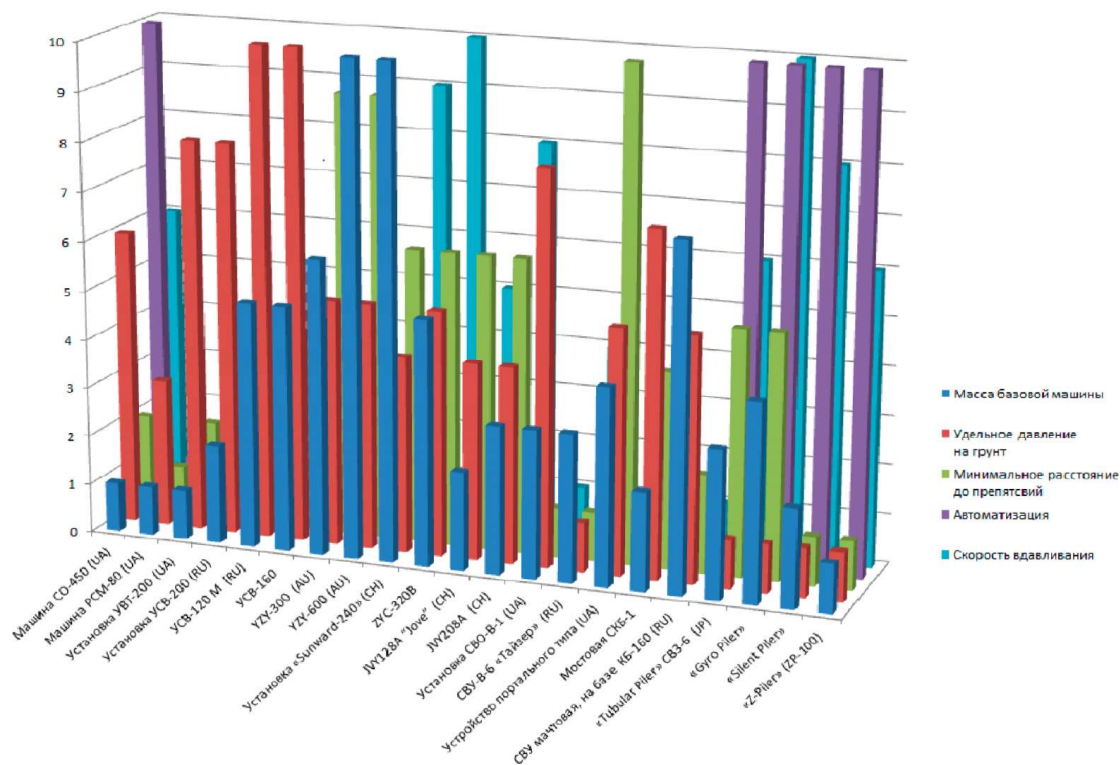


Рисунок 2.1 -- Обладнання для вдавлення паль за основними критеріями оцінювання

За аналізом зведеної діаграми, відображеної на рисунку 2.1, виділяється обладнання, яке не відповідає вимозі до мінімальної можливої відстані до перешкод. Серед такого обладнання можна вказати: УЗУ-300, УЗУ-600, СВО-

В-1, пристрій порталного типу і щоглова машина на базі КБ-160. Згідно з основним завданням, крім розглянутих критеріїв, обладнання повинно бути придатним для автоматизації процесу вдавнення будівельних елементів. Деякі машини, що відповідають цьому вимогам, включають СО-450, "Tubular Piler", "Gyro Piler", "Silent Piler" і "Z-Piler" (ZP-100).

Інше обладнання не відповідає поставленим вимогам за цим критерієм. Однак ще одним важливим критерієм вибору є швидкість вдавнення будівельних елементів. Деякі машини, такі як УВТ-200, УСВ-200, УСВ-160, СВО-В-1, СВУ-В-6 "Тайзер", мостова СКБ-1 і СВУ на КБ-160, мають низькі показники цього показника.

Після аналізу зведеної діаграми за основними критеріями, визначаємо обладнання, яке найбільш відповідає введеним обмеженням. Для цього обираємо ті установки і машини, які мають більше трьох позитивних результатів порівняння для побудови другої зведеної діаграми, представленої в таблиці 2.2 і на рисунку 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення додаткових критеріїв оцінювання технологічного обладнання в балах

Найменування	Макс. зусилля	Використовувані елементи	Вартість машини	Транспортування
Машина СО-450 (UA)	6	10	2	1
Машина РСМ-80 (UA)	2	6	1	1
ZYC-320B (CH)	8	8	6	5
JVY128A «Jove» (CH)	3	8	5	2
JVY208A (CH)	5	8	6	3
«Tubular Piler» (JP)	10	5	10	4
«Gyro Piler» (JP)	5	5	8	2
«Silent Piler» (JP)	1	5	5	1
«Z-Piler» (ZP-100)	2	5	6	2

Аналізуючи другу зведену діаграму для додаткових критеріїв, можна зазначити, що деяке обладнання не відповідає вимозі щодо максимальних зусиль вдавнення, обмежуючи його застосування. Це стосується машин, таких як РСМ-80, "Silent Piler" і "Z-Piler" (ZP-100). Інше обладнання використовується для подальшого порівняння.

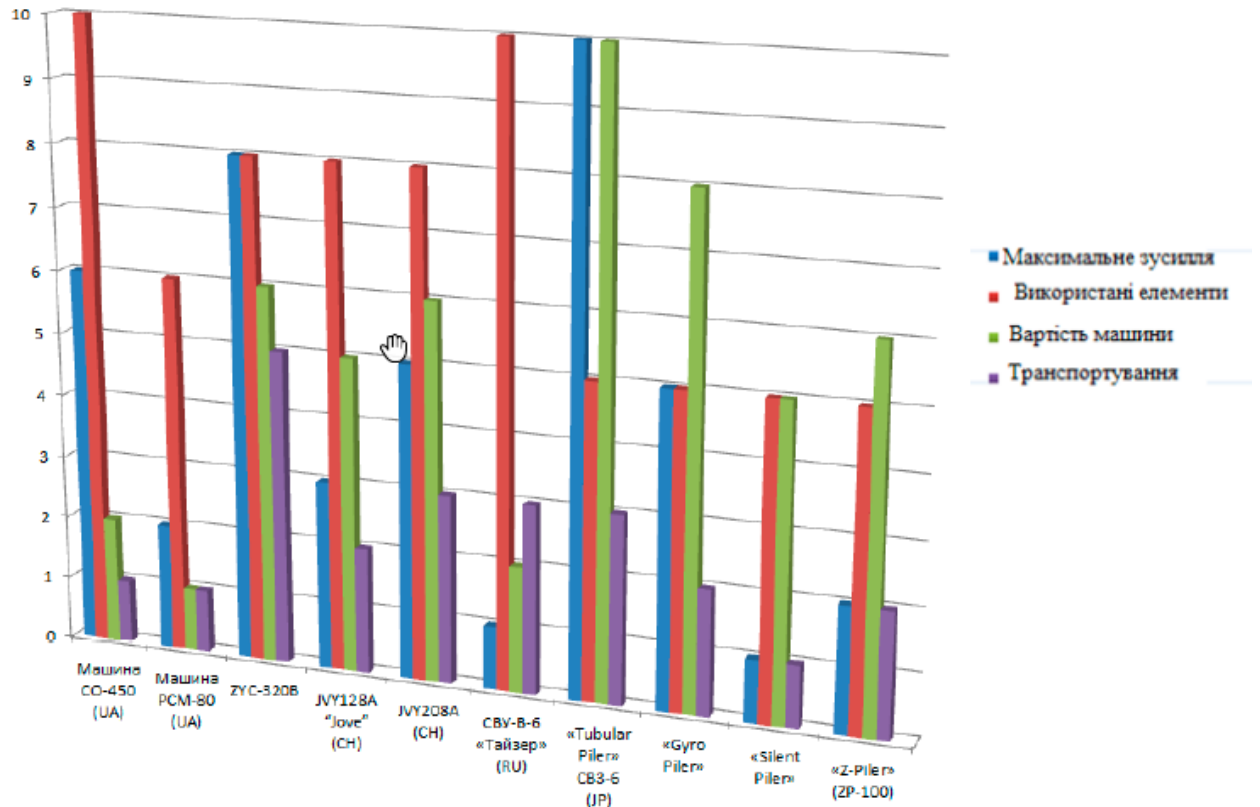


Рисунок 2.2 – Порівняння технологічного обладнання за додатковими критеріями обраного технологічного обладнання у зведеній діаграмі

Питомий тиск на ґрунт має високі значення у машинах, таких як УСВ-120 М, УСВ-160, УСВ-200, УВТ-200, що ускладнює їхнє використання на слабких ґрунтах. Машини "Tubular Piler", "Gyro Piler", "Silent Piler" і "Z-Piler" можуть працювати з найбільшими габаритами будівельних елементів, але обмежені за матеріалом вдавлюваних елементів, використовуючи тільки сталеві конструкції.

Зведена діаграма (рис. 2.2) вказує, що "ТиБиІагРііег" і "СугоРііег" мають високу вартість самої машини та великі витрати на транспортування до місця робіт. Таким чином, після багатокритеріального аналізу можна визначити, що обладнанням, яке найточніше відповідає обмеженням, є ПМ СО-450, вироблене в Україні. Тому наступні дослідження спрямовані на вирішення завдань з використанням саме цієї машини.

2.2 Загальна методика проведення дослідження

Дослідження спрямоване на розробку унікальних організаційно-технологічних методів вдавнення паль за допомогою інноваційної агрегатно-модульної системи. Послідовність проведення дослідження охоплює такі етапи:

1. Проведення виробничих експериментів і збір даних за етапами основних та допоміжних технологічних процесів.

2. Розробка унікальних організаційно-технологічних моделей виробництва, включаючи графіки виконання робіт.

3. Розрахунок та аналіз ключових показників ефективності: тривалості, продуктивності, виробітку, трудомісткості, маси переміщуваних вантажів, вартості робіт за нормативною методикою.

4. Аналіз результатів моделювання, побудова графіків відносно масштабів виробництва.

5. Вибір комплексних організаційно-технологічних рішень на основі оцінювання ефективності.

6. Розробка рекомендацій для використання результатів дослідження.

Загальна методика дослідження, представлена на блок-схемі (рисунок 2.3), включає кілька етапів. Дослідження технології вдавнення паль

проводилось у натурних умовах під час робіт з влаштування фундаментів будівель і споруд.



Рисунок 2.3 – Блок-схема дослідження

Експерименти виконувалися безпосередньо на будівельному майданчику під час робіт і технологічних перерв. Досліджувалися елементи основних та допоміжних технологічних процесів, різні варіанти виконання робіт за схемою "вдавлювання палі - переміщення машини". Кінцевою метою було створення організаційно-технологічної структури процесів та операцій з можливістю гнучкого переналагодження і якісної оцінки розроблених комплексних технологічних процесів.

Під час дослідження слід визначити тривалість окремих процесів і операцій, час їх переналагодження відповідно до структури, параметри базового автоматизованого процесу, співвідношення тривалості основних та

допоміжних процесів, а також ідентифікувати найбільш затратні процеси та операції.

Дослідження трудомісткості роботи крана, яке раніше не проводилося, включає групу процесів за участю крана з оцінкою за критерієм сумарної маси переміщуваних вантажів. Кожен об'єкт піддається фото- і відеофіксації, хронометражу кожної операції та оцінці методів праці робітників. Експерименти проводилися у виробничих умовах з використанням різних машин та кранів. Базовий автоматизований процес досліджено в різних ґрунтових умовах.

Проведено контрольні виміри швидкості вдавнення палів, аналіз спектру вдавнення та інших параметрів. Додатково були випробувані різні режими та умови занурення пал у ґрунт, включаючи переміщення та повернення на вихідну позначку. Середню швидкість вдавнення палі визначено як відношення довжини палі, втисненої на проектну позначку, до часу її вдавнення в ґрунт.

Швидкість позиційного переміщення машини розраховано як відношення між відстанню міжосьової двох сусідніх пал та тривалістю процесу переміщення. Вибір тривалості окремих ручних процесів здійснювався на основі найгірших показників, а для механізованих процесів (за участю крана) бралася середня арифметична величина.

Серії дослідів в різних ґрунтових умовах встановлювали діапазони зусиль і швидкості вдавнення палів, автоматично регульованих. Фізико-механічні характеристики ґрунтів використовувались на основі інженерно-геологічних звітів з будівельних майданчиків. Оцінка носійної здатності вдавнених пал виконувалась після польових контрольних випробувань ґрунтів натурними палями за відомою методикою [10].

Для аналізу використано дані журналів виконання робіт з вдавнення палів за період з 2007 по 2020 роки, надані ІЦ "Трансзвук", Одеса. Отримані раніше невідомі дані з технологічних процесів були узагальнені в альбомі типізованих технологічних схем (ТТС).

ТТС комплексних процесів для влаштування пальових основ різної конфігурації містять списки процесів та операцій, використовувані машини й механізми, послідовність виконання операцій (процесів) в просторових координатах. Досліджено різні варіанти компонування системи відповідно до типізованих технологічних схем, включаючи поодинокі палі, однорядні та багаторядні фундаменти, кущі пал, суцільні пальові поля.

Такий метод дослідження дозволяє встановити необхідні залежності для кожного елемента розроблених комплексних процесів, забезпечуючи високу достовірність отриманих результатів.

Методика організаційно-технологічного проектування будівельних технологічних процесів, заснована на використанні потокового методу, враховує рекомендації М.С. Будникова [9] та інших дослідників [10]. Вона охоплює вирішення наступних завдань:

1. Розробка технологічної структури будівельних процесів.
2. Визначення ступеня розчленування на компоненти технологічних процесів та операцій, встановлення послідовності їх виконання.
3. Вибір методу та варіантів виконання робіт, визначення параметрів застосованого обладнання, машин, механізмів і пристосувань.
4. Проектування технологічних процесів з максимально можливим суміщенням в часі та просторі, а також організація праці з виконанням необхідних розрахунків.
5. Визначення необхідних виробничих ресурсів: матеріальних, трудових, енергетичних, та розрахунок ефективності.

Для розробки організаційно-технологічної структури процесів вдавнення пал за різними методами використовуються дані пальових вимірів, охоплюючи повний цикл основних та допоміжних процесів. Також проводиться систематизація отриманих результатів, враховуючи витрати праці та часу на кожний процес:

- Підготовчі роботи.

- Монтаж модульної системи, установка машини, анкерування.
- Вдавлення палі в ґрунт, позиційне переміщення машини.
- Послідовне перестигування модульних секцій краном.
- Розвантаження машини, демонтаж модульної системи.

Варто відзначити, що в методиці вибору найбільш ефективного варіанту виконання робіт та відповідних параметрів обладнання ще немає врахування.

Методика оцінювання ефективності виконання робіт з вдавлення паль включає аналіз техніко-економічних показників різних варіантів виконання завдань. У розділі наводяться наступні показники для оцінки техніко-економічної ефективності:

- Тривалість виробництва палевих робіт.
- Витрати праці та машинного часу.
- Калькуляція трудових витрат та графіки виконання робіт.
- Кошторисні розрахунки заробітної плати.
- Витрати на експлуатацію обладнання.

Тривалість процесів та операцій вимірюється в годинах за допомогою хронометражу робіт «ДЦ Трансзвук». Витрати праці для трьох способів визначаються як добуток тривалості робіт на склад ланки.

Питомі показники ефективності розраховуються розрахунковим шляхом і включають:

- Продуктивність, паль на годину.
- Виробіток на 1 люд.-год, шт. паль.
- Витрати праці на вдавлення 1 палі, люд.-год.

Методика визначення вартості робіт включає розцінки на проведення робіт з вдавлення паль трьома технологічними способами: точковим, лінійним і координатним. Розцінки розроблені згідно з ДСТУ-Н Б Д. 1.1-6 «Постанова щодо розроблення ресурсних елементних кошторисно-норм на будівельні роботи».

Для визначення залежності ефективності від масштабів виробництва використовуються організаційно-технологічні моделі влаштування трирядної пальної основи. Ураховуються калькуляція трудових витрат, графіки виконання робіт та таблиці числових значень маси елементів обладнання, отримані на попередніх етапах. В технологічному регламенті та таблицях враховані операції, які виконуються допоміжним краном для монтажу та демонтажу модульної системи, установки вдавлювальної машини та інші. Сумарна маса вантажів обчислюється як сума маси всіх переміщуваних вантажів у порядку виконання операцій.

2.3 Концепція використання агрегатно-модульної системи

Розроблена технологія ґрунтується на використанні агрегатно-модульної системи для вдавнення паль. Засада агрегатно-модульної конструкції промислових роботів [1-6], використовувана в машинобудуванні, спрямована на створення автоматизованих систем з певними компоувальними схемами, характеристиками та видами керування.

Компоування цих систем реалізується за допомогою стандартних та уніфікованих модулів, вузлів і агрегатів, які взаємозамінні як з точки зору геометрії, так і функціонально. Зазначений принцип конструкції систем [9,10] дозволяє раціонально вибирати компоувальну схему обладнання:

- Забезпечення конструктивної та функціональної взаємозамінності;
- Забезпечення проектних статичних і динамічних характеристик;
- Можливість компоування модулів у різних положеннях і комбінаціях з іншими модулями;
- Уніфікація з'єднань, комунікацій та інших елементів.

Дана система [7, 8] включає обладнання для вдавнення палів, яке представлено вигляді вдавлювальної машини та механізму її переміщення, що має два модулі: основний (агрегатний) та допоміжний. Агрегатний модуль є функціонально і конструктивно самостійною одиницею, яку можна використовувати окремо або в поєднанні з іншими модулями.

Модулі розроблені відповідно до модульної координації розмірів у будівництві (МКРБ) [9], що дозволяє швидко з'єднувати їх один з одним та переміщати агрегат з одного модуля на інший.

Це відкриває можливості для автоматизації робіт з вдавнення палів та повторного використання стандартних компонентів системи в різних умовах будівництва. За принциповою концепцією, поздовжні опори модулів встановлюються в ґрунт і формують технологічну модульну сітку на координаційній площині пального поля, яка збігається (прив'язана) з модульною сіткою будівлі. Це дає змогу модульній системі конструктивно та технологічно входити як підсистема в будівельну об'єктну систему будівлі.

Для планування переміщення машини по захватах при зведенні складних будівель або комплексів будівель зі складною конфігурацією пального поля [16], можна використовувати систему автоматизованого проектування (САПР) [15].

Неперервність процесу, що включає в себе вдавнення палів та переміщення машини, відкриває перспективи для повної автоматизації. Реалізація цієї концепції дозволяє досягти високої продуктивності, суттєво зменшуючи трудові витрати.

Описана технологія включає в себе монтаж агрегатного модуля та машини, а також примусове координатне переміщення машини по агрегатному модулю вздовж та поперечно. Рух машини здійснюється методом ковзання за допомогою гідроциліндрів. Послідовність вдавлювання палів у координатному просторі агрегатного модуля залежить від проектного розташування палів у

плані, і допоміжний модуль приєднується краном до основного модуля під час руху.

Машину разом із кареткою переміщують на допоміжний модуль за допомогою гідроциліндрів вздовжнього переміщення, і там продовжують вдавлювати палі в координатному просторі допоміжного модуля. Розташування обладнання (модулів) на монтажній ділянці планується за допомогою різноманітних структурно-планувальних сіток на основі МКРБ [5,6].

Розміщення пал у місцях перетину ліній модульної (допоміжної) сітки споруди є загальним конструктивним елементом пальових основ [264]. Ця обставина визначає концепцію використання агрегатно-модульної системи для вдавнення палі, а також визначає її конструктивно-технологічні та геометричні параметри.

Аналіз конструктивних параметрів фундаментів на основі паль.

Згідно зі стандартами [5-7], типорозміри використовуваних будівельних елементів [6] визначаються як: залізобетонні призматичні палі з перерізом від 250x250 мм до 450x450 мм, які можуть бути цільні або набірні (виготовлені заводом); металеві профілі прокату, такі як швелер, двотавр, труби, шпунт Ларсена, розміром не більше 500 мм. Основні схеми розстановки паль у плані включають однорядні, багаторядні, куці палі та суцільні поля, як це показано на рисунку 2.4.

Технологічна характеристика об'єктів будівництва.

Об'єкти будівництва, як і їхні фундаменти, різноманітні за своїми просторовими, конструктивними та іншими характеристиками, однак мають загальні технологічні риси, які можуть визначати різні методи їх зведення. Фундаменти можуть бути однорідними чи неоднорідними.

Однорідні об'єкти (фундаменти) характеризуються повторюваністю типових елементів, рівномірним розподілом обсягів робіт та використанням однакових будівельних елементів (пал), що сприяє безперервній технології

виробництва. Сюди входять типові багатоповерхові житлові комплекси, промислові будівлі та гідротехнічні споруди [14].

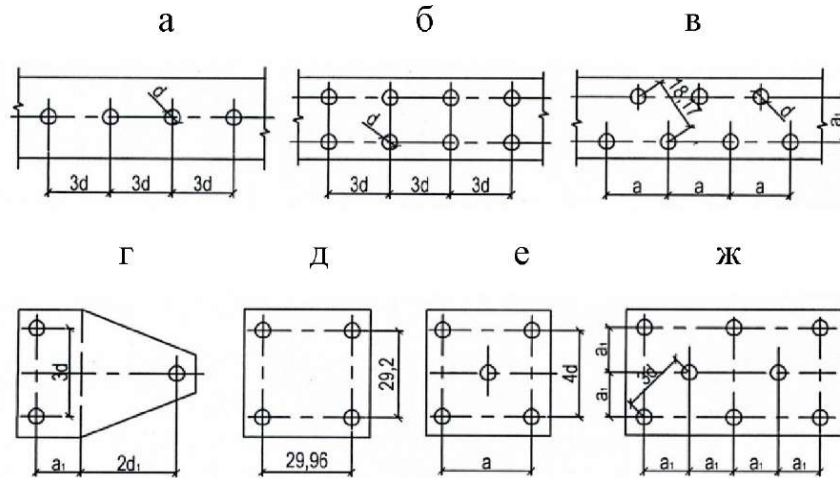


Рисунок 2.4 – Схема розстановки паль: а - однорядні; б, в - дворядні; г, д, е - куці паль; ж - трирядні фундамента

Неоднорідні об'єкти відрізняються нерівномірним розподілом робіт і використанням різних будівельних елементів (пал, труб, шпунтів) на різних ділянках. Сюди входять об'єкти, зведені в нестандартних умовах [5, 6]. Вони можуть бути лінійно протяжними, зосередженими або територіально розрізненими. Лінійно протяжні фундаменти характеризуються розташуванням пал уздовж поздовжніх осей пального ряду та рівномірним чи нерівномірним розподілом фронту робіт. Прикладами таких об'єктів є протизсувні пальові споруди.

Однорядні фундаменти представлені як одна стрічка пал з різним кроком, як показано на рисунку 2.4, а. Конструктивні схеми багаторядних фундаментів показані на рисунку 2.4, б, в, ж. Розташування пал у двох та більше рядух відбувається в порядку шахівниці (в) або за схемою, показаною на рисунку 2.4, б, ж. Конструктивні схеми фундаментів у вигляді протяжних однорядних і багаторядних палових стрічок [11] з урахуванням кроку паль ($3c_i$) і допустимих відхилень паль у плані показані на рисунку 2.5.

Для організаційно-технологічного проектування виробництва робіт з використанням системи вибрана схема трирядного пальового фундаменту, показана на рисунку 2.5, в, яка легко масштабується, а її декомпозиція дозволяє аналізувати однорядні та дворядні конструкції, враховуючи різноманітні варіанти розташування пал, як показано на рисунку 2.4.

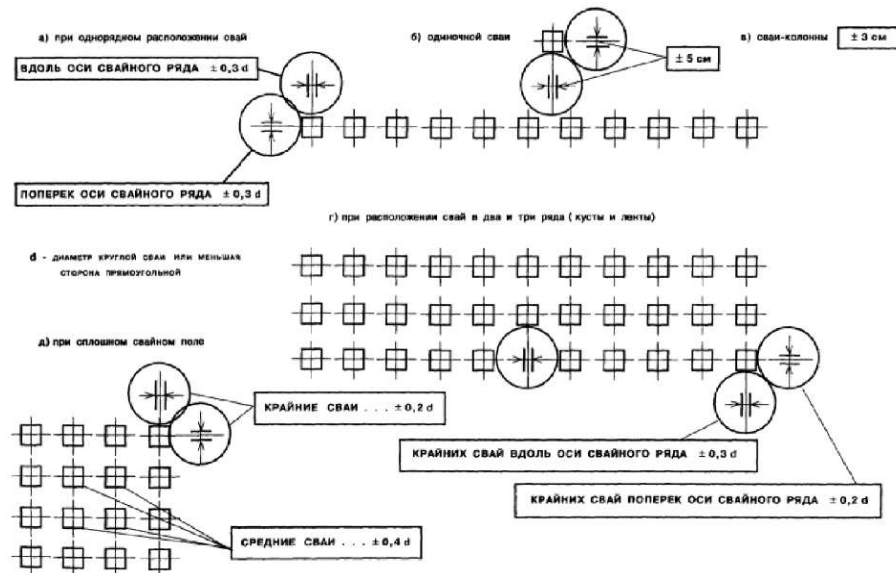


Рисунок 2.5 – Схеми характерних пальових основ: а - одиночна палля; б - однорядні; в - трирядні; г - суцільне пальове поле

Класифікація масштабів виробництва. Масштаб виробництва робіт визначається загальною кількістю пал у проекті фундаменту (пальнової основи). Будівництво в умовах щільної забудови з невеликою кількістю проектних пал (до 50 шт.) може класифікуватися як індивідуальне виробництво. Влаштування фундаментів каркасних будинків (секцій) з кількістю пал до 400 шт. може бути визнано як серійне виробництво. Будівництво великих об'єктів з кількістю пал приблизно 800 шт. може вважатися великосерійним. Будівництво споруд або комплексів будинків (об'єктів) з кількістю пал понад 1000 шт. може бути визнано масовим виробництвом.

Визначення класифікації методів виконання робіт.

Під час аналізу наявних методів виконання робіт із вдавнення паль та конструктивно-технологічних параметрів, які використовуються для агрегатів (ПМ), виявлено загальні технологічні ознаки, які характеризують реалізацію методу у просторі, особливо на основній координатній площині пальового поля. Це надає підставу для розробки технологічної класифікації методів виконання робіт із вдавнення паль.

Відповідно до запропонованої класифікації методів виконання робіт за технологічною послідовністю вдавнення паль, виділяють такі методи: 1) точковий (Т); 2) лінійний (Л); 3) координатний (К). Слід враховувати порядок виконання робіт, за яким забезпечується безперервність процесу: вдавнення палі - переміщення машини.

Безперервним вважається будівельний процес, де операції відбуваються нерозривно й негайно одна за одною [8], з можливістю контролювати прив'язку до однієї з осей споруди.

Т-метод передбачає встановлення ПМ краном безпосередньо на позначку вдавнення палі (несамохідні машини гравітаційного типу) або наїзд на позначку самохідним агрегатом у випадку, коли машиніст повинен визначити робочу позицію палевдавлювальної машини. Самохідні ПМ на гусеничній або колісній базах забезпечують цей метод виконання робіт. До них відносяться машини, зазначені на рисунку 1.2 і в таблиці 1.1, п.п. 1-6. Несамохідні машини, такі як УСВ-200, С0-450 і РСМ-80, представлені на рисунках 1.3 - 1.5 і в таблиці 1.1, п.п. 7-9.

Л-метод базується на можливості однокоординатного переміщення машини вздовж однієї з осей споруди (Х, У) за допомогою рухомих або нерухомих металевих напрямних опор, рейкових шляхів та ін. Цей метод вважається найбільш поширеним та ефективним, зокрема для влаштування однорядних фундаментів і лінійно протяжних споруд, і використовується машинами, які представлені на рисунках 1.6, 1.8, 1.10, 1.13 і в таблиці 1.2, п.п.

7-12, 17-21. Схеми технологічної послідовності роботи машин цього типу зображено на рисунках 1.7, 1.11 і 1.12.

К-метод базується на двокоординатному позиційному переміщенні машини вздовж поздовжніх і поперечних осей (X - Y) споруди. Для його реалізації використовуються як поздовжні, так і поперечні напрямні опори підлогового або порталного типу, а також поперечна каретка. Цей метод використовує лише два типи машин: порталне обладнання Б.3. Кашки, представлене на рисунку 1.9, а також агрегатно-модульна система для вдавнення паль. З метою вдосконалення існуючої класифікації обладнання для вдавнення паль [2] запропоновано розширити її, введенням таких позицій:

- 1) механізоване обладнання;
- 2) автоматизоване обладнання.

Наприклад, машини крокуючого типу, представлені в таблиці 1.2, п.п. 7-12, виробництва Китаю (СІЧ), Австралії (АЦ) і Великобританії (СВ), відносяться до першої групи. Машини з клиновим затиском та оригінальною системою переміщення, зображені на рисунку 1.4, 1.10 і 1.13, виробництва Японії (ІР) і України (ІА), відносяться до другої групи.

Ця класифікація здійснена для стандартизації конструктивних і технологічних рішень для подальшого розвитку різних методів виконання робіт. Кожен метод використовує автоматизоване обладнання (основну машину) та типові технологічні процеси, розроблені з урахуванням різних конфігурацій пальових основ.

2.4 Вибір найбільш значущого показника ефективності та факторів, що на нього впливають

Показники результативності виробничих процесів робіт із вдавнення паль в ґрунт можна класифікувати за кількома категоріями: вихідні, основні, питомі та додаткові [10]. Вихідні показники включають параметри, які визначаються на етапі проектування, такі як обсяг виконуваних робіт (U_o) у рамках комплексного технологічного процесу або визначена тривалість.

Основні показники охоплюють собою собівартість (Z) всього обсягу робіт, вартість експлуатації машин, трудомісткість робіт (O_o) в межах комплексного технологічного процесу, загальну продуктивність робіт (P_o) та економічний ефект (E_o) порівняно з базовим процесом.

Питомі показники обчислюються на одиницю кінцевої продукції, такі як собівартість (грн.-паль), виробіток (шт. паль на 1 люд.-год), трудомісткість (люд.-год/од. обсягу), продуктивність (кіл. паль на годину), витрати праці робітників та оператора крана (люд.-год.), а також час експлуатації машин і механізмів (маш.-год.).

Додаткові показники використовуються для оцінювання ефективності технологічних процесів з урахуванням особливостей конкретного виробництва. Маса вантажів, які переміщує кран для виконання комплексного технологічного процесу, характеризує трудомісткість різних варіантів виконання робіт.

Розглядаються два показники маси: сумарна (M_e) - сума мас різних елементів, що переміщуються допоміжним краном під час вдавлювання паль. Питома маса (M) переміщуваних краном вантажів на одну палу використовується для оцінки варіантів виконання робіт в різних умовах і масштабах виробництва.

Цей показник вважається універсальним, оскільки не залежить від часу виконання технологічних процесів і групи проектних факторів, які характеризують пальове поле. Фактори, які впливають на показники результативності, поділяються на три групи: проектні (X₁, X₂), організаційні (X₃, X₄, X₇, X₈) та конструктивно-технологічні (X₅, X₆).

Фактор X₁ визначає масштаб виробництва і представляє загальний обсяг робіт (У₀), а саме кількість паль (N_{pi}) у проекті фундаменту. Фактор X₂ охоплює групу проектних факторів, що визначають параметри пального поля:

- X_{2.1}: інженерно-геологічні умови;
- X_{2.2}: розмір поперечного перерізу, довжина та глибина занурення, крок;
- X_{2.3}: конфігурація фундаменту (взаємне розташування паль у плані);
- X_{2.4}: протяжність монтажної ділянки.

Фактор X₃ визначає технологічний спосіб виробництва (Координатний - К, Лінійний - Л, Точковий - Т) і розглядається в рамках варіантів, позначених цифрами. Фактор X₄ вказує на час виконання кожного технологічного процесу та операції, що є незалежним фактором, впливаючим на показники ефективності, такі як загальна тривалість, продуктивність та витрати праці.

Фактори X₅ та X₆ визначають конструктивно-технологічні особливості основної машини (наприклад, С0-450 на рис. 1.4) та модульної системи переміщення машини відповідно. Фактори X₆, які включають геометричні параметри будівельної захватки, кількість паль у координатному просторі модуля та інші, впливають на конструкцію модульної системи.

Фактор X₇ визначає сумарну масу вантажів, що переміщуються краном у процесі виробництва робіт, і включає масу залізобетонних пал, інвентарного інструменту, основної машини, комплекту вантажів та модулів.

Фактор X₈ представляє склад бригади і методи праці робітників. Для вирішення поставлених завдань в роботі обрані найбільш значущі фактори: X₁ (загальна кількість паль у проекті) та X₇ (маса вантажів, які переміщуються краном у процесі виробництва робіт). Зважаючи на те, що фактор X₇ складний і

залежить від п'яти величин, а фактори X2 - X6 прийняті константами, в роботі досліджено вплив шести обраних факторів на показники ефективності. Загальна кількість паль у проекті визначає основний проектний фактор, що впливає на всі складові організаційно-технологічної структури будівельних процесів.

Техніка варіативного проектування.

Урахування конфігурації та різноманітності палювих основ, а також кількості паль у проекті фундаменту насуттєвіше для застосування різноманітних методів та варіантів виконання робіт. Серед цих можливостей використання різних типізованих технологічних схем (ТТС) та конфігураційного обладнання.

Безліч таких вирішень приводить до того, що проектування набуває варіативної природи. Оцінка кожного варіанту може здійснюватися за одним або кількома критеріями, про які вже згадувалося вище. Серед них можуть бути вартість робіт, трудомісткість виконання, тривалість та зазначені витрати.

Універсальним критерієм для оцінки різних варіантів може стати питома маса вантажів, які переміщуються краном, оскільки цей показник не залежить від тривалості окремих технологічних процесів та операцій, а також від групи факторів, які характеризують палюве поле.

Засобом для оцінки різних варіантів виконання робіт, уникнення складних обчислень та розрахунків, є закономірність зміни питомого показника ефективності.

Графічні зображення залежності питомої маси вантажів від загальної кількості паль у проекті є ефективним інструментом для обґрунтування вибору варіантів організаційно-технологічної структури при виконанні (проектуванні) робіт із вдавлювання паль, а також для вибору обладнання в залежності від умов і масштабів виробництва.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ПАЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Агрегатно-модульна система для вдавлення палів з розширенням ствола

Агрегатно-модульна система представляє собою багатофункціональне будівельне устаткування та призначена для вдавлення в ґрунт залізобетонних палів і інших елементів заводського виготовлення. Система включає в себе гідравлічну палевдавлювальну машину С0-450 та систему горизонтального переміщення машини, як показано на рисунку 3.1.

Згідно з основною концепцією [7, 8], система складається з двох модулів: основного (агрегатного) та допоміжного. Агрегатний модуль, як зображено на рисунку 3.1, реалізований у вигляді рамної конструкції з поздовжніми напрямними опорами 2, з'єднаними між собою з'єднувальними балками та каретками 3. Кожен модуль формує внутрішній координаційний простір, головні осі якого збігаються з осями пального ряду, які "прив'язані" до головних горизонтальних координаційних осей будівлі.

Модулі реалізовані відповідно до модульної координації розмірів у будівництві [9] з можливістю швидкороз'єднання та переміщення агрегата з одного модуля на інший.

Модульна концепція дозволяє переміщення (X - Y) машини С0-450 в координаційному просторі агрегатного модуля та по монтажній ділянці з повним комплектом анкерних вантажів (200 тонн) без переанкерування. Основні характеристики системи наведено в таблиці 3.1.

У розділі 3.1.1. розглядається палевдавлювальна машина С0-450. Гідравлічна палевдавлювальна машина (ПМ) С0-450 використовується для

автоматичного вдавнення в ґрунт заводських залізобетонних паль [6], труб, профілів прокату та шпунтів усіх видів, розміром не більше 450x450 мм.

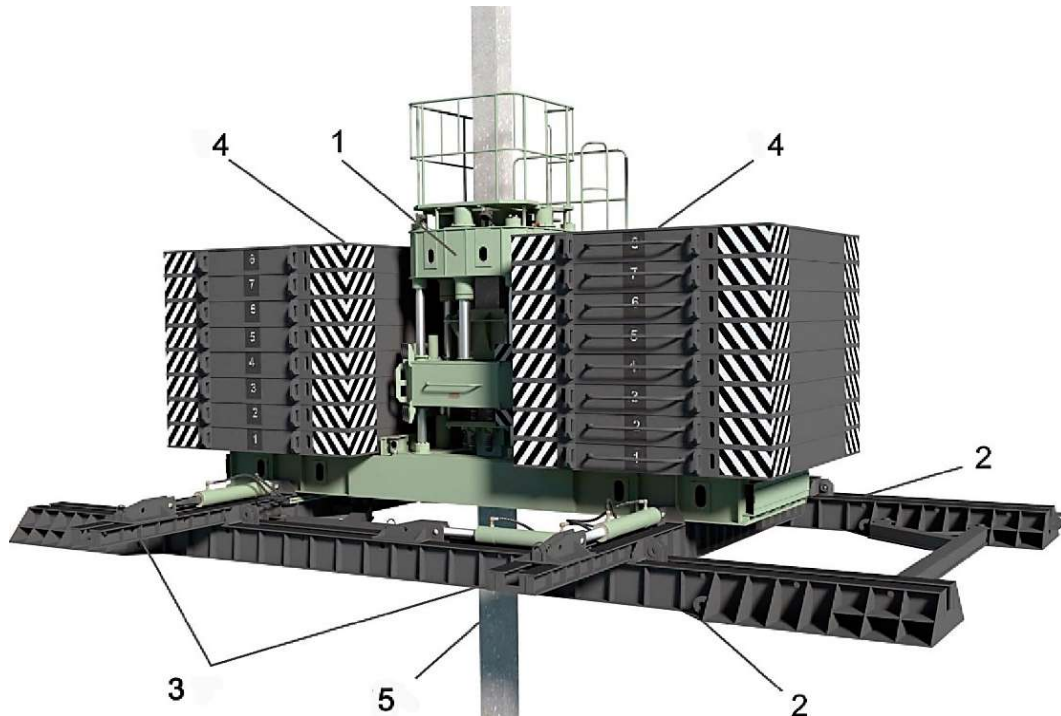


Рисунок 3.1 – Агрегатний модуль: 1 - палевдавлювальна машина; 2 - поздовжні напрямні опори (модуль); 3 - поперечні опори (каретка); 4 - анкерні вантажі; 5 - залізобетонна паля.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики агрегатно-модульної системи

Найменування характеристик	Значення характеристик
1	
Зусилля вдавнення номінальне, т.е. (кН)	200 (2000)
Швидкість вдавнення палі, м/х в.	1,0-3,0
Швидкість переміщення машин, м/хв.	1,0-3,0
Точність робочих переміщень (X - Y), мм	±10,0
Керування (автоматичний режим)	дистанційне

Машина С0-450 (рис. 3.1., 1.4) використовується для влаштування фундаментів будівель і шпунтових огорож в умовах, коли не допускаються вібраційні навантаження на основу: поблизу старих будівель, на слабких, водонасичених ґрунтах [5, 6]. Як машина гравітаційного типу, С0-450 анкерується металевими вантажами. Сумарна маса комплексу анкерних вантажів визначається з урахуванням ґрунтових умов майданчика будівництва.

Конструкція бокового клинового затиску палі дозволяє занурювати палу в ґрунт нижче поверхні землі (до 10 м) за допомогою металевого інвентарного інструмента і здійснювати статичне лідирування (прокол), гідророзмив, "розпушення" голів палі, прокладання старих фундаментів, влаштування набивних палі і зондів теплових насосів.

3.1.2. Координатна система для переміщення машини С0-450 пальовим полем розроблена з урахуванням можливості безанкерного переміщення. Це означає, що не потрібно видаляти анкерні вантажі перед кожним переміщенням та повторно завантажувати їх після розташування машини на новому місці для вдавнення палі. Система, яка включає гідравлічну систему ковзання підлогового типу, складається з двох послідовно з'єднаних модулів №1 та №2, кожен розміром 12,0х4,20 м по осях, згідно з рисунком 3.2.

Ці модулі розроблені з урахуванням можливості швидкороз'єднання для пересування машини з одного модуля на інший вздовж польової напрямної. Кожен модуль має дві поздовжні опори 2 і поперечні опори 3, які утворюють рамну конструкцію, де одна поздовжня - нерухома (модуль), а інша поперечна - рухлива (каретка). Поздовжні опори служать для переміщення каретки чи машини вздовжною координатою, а каретка - для переміщення машини поперечною координатою.

Для фіксації каретки і машини та зменшення коефіцієнта тертя, каретка встановлюється на 4 лижі, а машина - на 2 лижі. Лижі обладнані напрямними полозами та антифрикційними накладками.

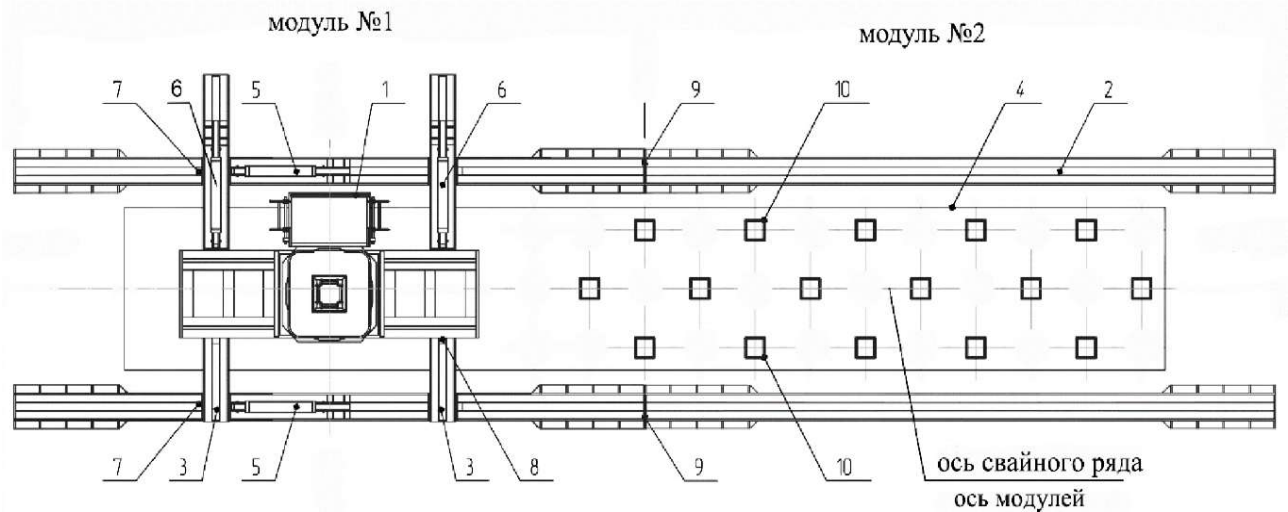


Рисунок 3.2 – Модульна координатна система: 1 - машина СЮ-450, 2 - поздовжні опори, 3 - каретка; 4 - координаційний простір модуля; 5, 6 - гідроциліндри; 7 - лижі каретки; 8 - лижі машини; 9 - вузол стикування; 10 - палі

Принцип роботи системи та методи виконання робіт організовані поетапно. Модулі №1 та №2, за допомогою крана, розміщуються на ґрунті так, щоб осі пального ряду в плані співпадали з осями модулів. Потім палевдавлювальна машина С0-450 встановлюється на каретку, розташовану по центру модуля №1, та завантажується анкерними вантажами.

Переміщення ПМ С0-450 до кожної робочої позиції, що відповідає точці вдавлювання палі, здійснюється по модулях за допомогою гідроциліндрів. Керування гідроциліндрами відбувається гідроапаратурою за допомогою дистанційного пульта.

Палу подається краном у затискний механізм машини, центрується і вдавлюється в ґрунт у ручному або автоматичному режимах. Після вдавлювання палі машина разом з кареткою переміщується по поздовжніх напрямних модулях до точки вдавлювання наступної палі.

У той самий час ПМ, за допомогою двох додаткових гідроциліндрів, може переміщатися по каретці поперечно відносно осі модуля. Це дозволяє вдавлювати палі по всій площі внутрішнього координаційного простору модуля.

Після завершення вдавлювання всіх паль на площі модуля №1 ПМ переміщається на модуль №2, пристосований послідовно вздовж осі пальового ряду. Коли завершено вдавлювання всіх паль, розташованих в просторі модуля №2, проводиться операція роз'єднання модулів: їхнє роз'єднання, переустановка краном модуля №1 у напрямку руху машини та послідовне з'єднання з модулем №2. Машина переміщається на модуль №1.

Організаційно-технологічна структура процесів виробництва робіт з використанням агрегатно-модульної системи для вдавнення палі включає три методи: точковий, координатний і лінійний. Кожен метод використовує автоматизоване обладнання для вдавнення палі (основна машина) та нові технологічні процеси, які визначено в розділі 2, пункт 2.3.3.

3.2 Точковий спосіб

Робочий метод, визначений як Точковий (Т), базується на розміщенні машини С0-450 на кожній позначці вдавнення палі безпосередньо за допомогою крана. Цей метод ефективно використовується для вдавнення палів, які мають підвищений ступінь відповідальності, а також для тих, які піддаються випробуванням, особливо в ускладнених умовах, де безпека та збереження навколишніх будівель або споруд є ключовим фактором.

Вдавлювання палі має обмеження для машини СЮ-450: загальний опір вдавненню ґрунту не перевищує 2300 кН; ґрунти до глибини 1,5 м нескельні, за

винятком дрібних, середньої грубості та грубих пісків і грубоуламкових ґрунтів, проникність яких більше 2 Дарсі.

Залежно від опору ґрунту, для вдавнення палів можуть використовуватися додаткові заходи, такі як статичне лідірування, розпушування ґрунту шнеком, буріння лідерних свердловин, замочування свердловин, гідророзмив.

Вдавлювання палів без додаткових заходів застосовується в умовах, коли загальний опір ґрунту не перевищує максимального зусилля вдавнення, що може розвивати машина С0-450 (не більше 230 т.с).

Використання інвентарної палі довжиною 12 м дозволяє занурювати палі на проектну позначку нижче поверхні майданчика (до 10 м) без пошкодження поверхневого шару, що уникає необхідності підготовки котловану та мінімізує роботи з прибирання будівельного майданчика.

Процес вдавлювання палі за Т-способом включає встановлення машини краном на позначку проектного положення палі та завантаження анкерними вантажами відповідно до розрахункового зусилля вдавнення. Паля подається краном у машину, центрується в механізмі затиску та вдавлюється в ґрунт в автоматичному режимі (без участі оператора) до досягнення контрольного зусилля вдавнення або проектної позначки.

Цей метод залишається невід'ємним в умовах максимального наближення до наявних будівель, фундаментів, комунікацій (0,85 м), під час реконструкції будівель, реставрації фундаментів, робіт у підвалах, ліфтових шахтах та під перекриттям будівель, як зображено на рисунку 3.3.

Технологічний процес вдавнення одиначної палі за Т-способом об'єднує різні етапи, як показано на рисунку 3.4. Залежно від швидкості вдавнення та довжини палі, тривалість циклу визначає час, необхідний для виконання операцій.



Рисунок 3.3 – Вдавлення палі точковим способом під перекриттям існуючого промислового будинку із застосуванням машини C0-450

На кожній робочій позначці вдавлення палі тривалість циклу для палі довжиною 16 м становить 60 хвилин. З огляду на те, що транспортування машини відбувається в зібраному вигляді, додатковий монтаж на об'єкті не є необхідним.

Вдавлювання пробної палі Т-способом можливе впродовж 30 хвилин після доставки машини C0-450 на місце. Час переналагодження основного процесу для зміни інструменту (паля - труба - шпунт) для різних будівельних елементів складає до 20 хвилин.

Згідно з технологічною схемою, представленою на рисунку 3.4., виконання робіт з вдавлення палі в ґрунт машиною C0-450 за точковим способом передбачає наступні процеси:

1. Підготовка машини до роботи, установка на ґрунт та анкерування.
 2. Вдавлювання палі машиною - базовий автоматизований процес.
 3. Розвантаження машини, зняття анкерних вантажів краном.
- Підготовка машини C0-450 до роботи.

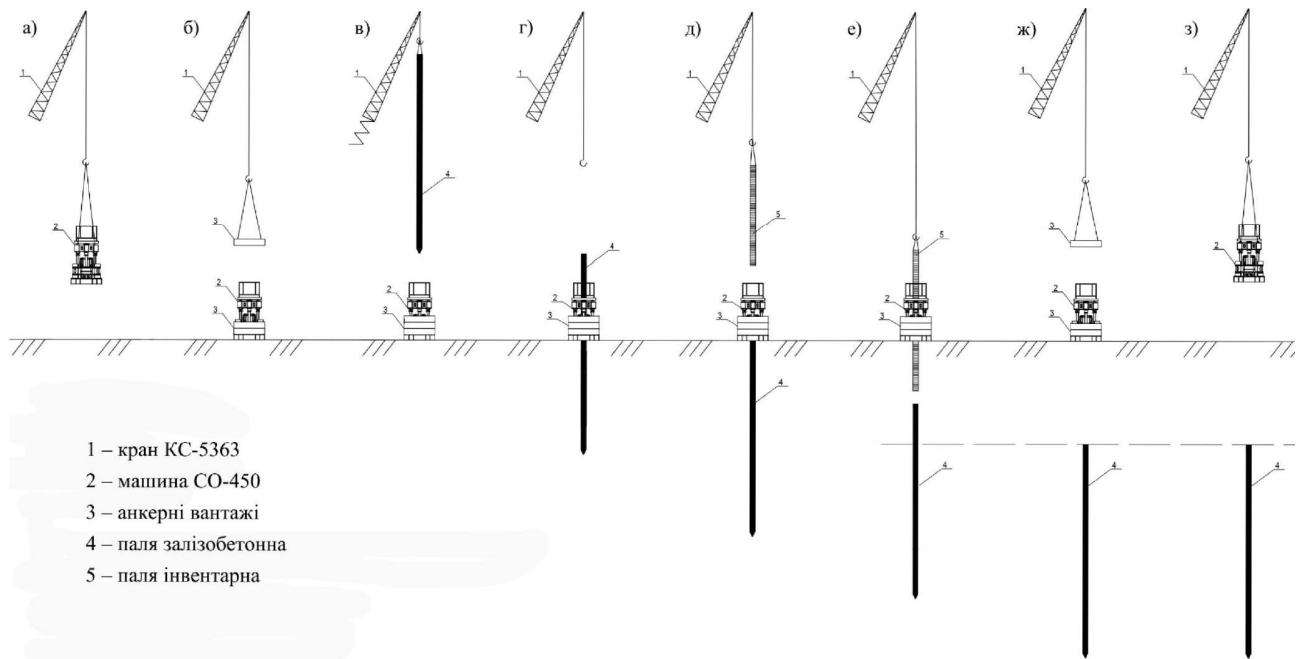


Рисунок 3.4 – Технологічний цикл вдавнення палі Т-способом: а - установка на грунт; б - анкерування машини; в - подача палі в машину; г - вдавнення палі; д - подача інвентарної палі; е - додавлювання палі через інвентарну; ж - розвантаження машини; з - перестановка машини краном на позначку вдавнення чергової палі

Процес підготовки палевдавлювальної машини С0-450 до роботи, зображений на рисунку 3.4., а-б, включає такі операції:

- Під'єднання електрокабеля до машини.
- Підготовка машини до роботи.
- Встановлення машини на позначку вдавлювання палі.
- Встановлення анкерних вантажів на вантажну раму машини.

Палевдавлювальна машина С0-450 розташовується на позначці вдавнення палі за допомогою крана. Здійснюється перевірка правильності позиціонування перехрестя прицілу відносно проектної позначки вдавлюваної палі, а потім проводиться анкерування вантажами.

Кількість анкерних вантажів повинна відповідати розрахунковому зусиллю вдавнення палі, зазначеному в проекті, але не перевищувати 200 тонн. Розташування анкерних вантажів повинно бути симетричним відносно осі вдавнення палі та головних осей машини.

Підготовка машини до роботи проводиться відповідно до інструкції з експлуатації палевдавлювальної машини С0-450.

Вдавнення палі в ґрунт за допомогою машини С0-450, зображене на рисунку 3.4, в-е, передбачає послідовні етапи, включаючи:

1. Стропування та подача палі краном у затискний механізм машини.
2. Центрування палі в машині.
3. Автоматичне вдавлювання палі в ґрунт.
4. Додавлювання основної палі інвентарем вручну.
5. Розміщення інвентарної палі у місце зберігання.

Операції виробництва (основний процес): від вдавлюваної палі відокремлюються вантажопідйомні скоби, її стропують кільцевим стропом так, щоб центр ваги був нижче місця стропування, і під час підйому краном пала залишалася строго вертикальною вниз шпилем. Під час подачі палі краном на вісь вдавлювання, нижній кінець палі повинен бути вище верхнього огородження машини на 300-500 мм.

Після торкання поверхні землі, пала підіймається на 50-100 мм, центрується та затискається клинами в голівці машини. Під час вручного вдавлювання палі на один-два робочих ходи, гак крана опускається на 800-1000 мм, і кільцеві стропи слабкішаються.

Перевірка зусиль вдавлювання постійно контролюється тарованим манометром машини С0-450. По досягненні палею проектної позначки або контрольного зусилля вдавлювання, робота із зануренням палі завершується.

Якщо зусилля вдавлювання менше контрольного, процес вдавлювання триває до досягнення верхнього торця палі позначки 1,5 м над рівнем землі. Голівка машини повертається в початкове положення.

Аналогічно основній палі, інвентарна допоміжна пала довжиною 8,0 м стропується та виводиться на вісь вдавлення. Занурюється через напрямний уловлювач та голівку машини до доторкання торця основної палі, центрується затискними клинами. Після розщеплення стропів та перенесення стріли крана в безпечне положення, інвентарне вдавлювання вручну триває до досягнення верхнього торця основної палі проектної позначки. Голівка машини зупиняється, клини розтискаються. Інвентарна пала видаляється та місцезберігається краном на будмайданчику.

Розвантаження машини С0-450 від анкерних вантажів.

1. Розвантаження машини С0-450 від анкерних вантажів.
2. Відімкнення гідросистеми та електрокабеля.

Процедура розвантаження палевдавлювальної машини С0-450 виконується з використанням крана. Анкерні вантажі вилучаються послідовно (по одному вантажу з кожного боку), аналогічно процесу завантаження, і розміщуються на безпечному і зручному місці на будівельному майданчику. Після цього машина СЮ-450 переміщується краном на позначку вдавлення наступної палі.

Розглянутий метод можна вважати найточнішим серед можливих варіантів позиціонування машини, завдяки використанню спеціалізованого крана. Цей підхід також є ефективним у ситуаціях обмеженого простору, в реконструкції будівель, реставрації фундаментів, робіт у підвалах, ліфтових шахтах і під перекриттям будівель. Однак слід враховувати, що цей метод характеризується меншою продуктивністю та вищими трудовитратами, особливо при великих обсягах робіт.

3.3. Координатний спосіб

Технічний метод виконання робіт, що базується на координатах (двокоординатний), ґрунтується на позиційному переміщенні машини СЮ-450 вздовж осі Х та поперековій координаті Y, використовуючи модульну координатну систему. Проведення робіт із вдавнення палі в ґрунт за допомогою модульної системи включає в себе такі етапи:

1. Встановлення модульної системи.
2. Підготовка машини С0-450 до роботи та анкерування.
3. Вдавлювання палі в ґрунт та переміщення машини С0-450.
4. Послідовне передислокаційне рухання модулів.
5. Розвантаження машини С0-450 та розбирання модульної системи.

Координатний метод застосовується для кустового та багаторядного розташування пал, підвищуючи точність їх вдавнення та продуктивність виконання робіт.

Установка модульної системи.

Процедура установки включає такі операції:

- Перевірка стану польового об'єкта в місці майбутньої роботи.
- Складання конструкцій модулів №1 та №2, установка лиж і гідроциліндрів для поздовжнього переміщення.
- Розміщення модулів №1 та №2 вздовж вісі ряду пал.
- Сполучення модулів №1 та №2.
- Збірка каретки, установка лиж і гідроциліндрів для поперечного переміщення.
- Встановлення каретки на модуль №1.

Організаційна схема будмайданчика під час монтажу системи та розташування машини С0-450 на каретці модуля показана на рисунку 3.5. Модульна координатна система складається з двох поздовжніх модулів №1 і

№2 з розмірами 24,0x4,20 м по осях модулів та поперечної секції (каретки) розмірами 4,20x4,20 м по осях. Перед монтажем системи важливо перевірити польовий об'єкт, врахувати рівність його поверхні, відсутність сторонніх предметів та обладнання, що може заважати роботі. Модулі встановлюються таким чином, щоб осі ряду пал збігалися з осями модулів.

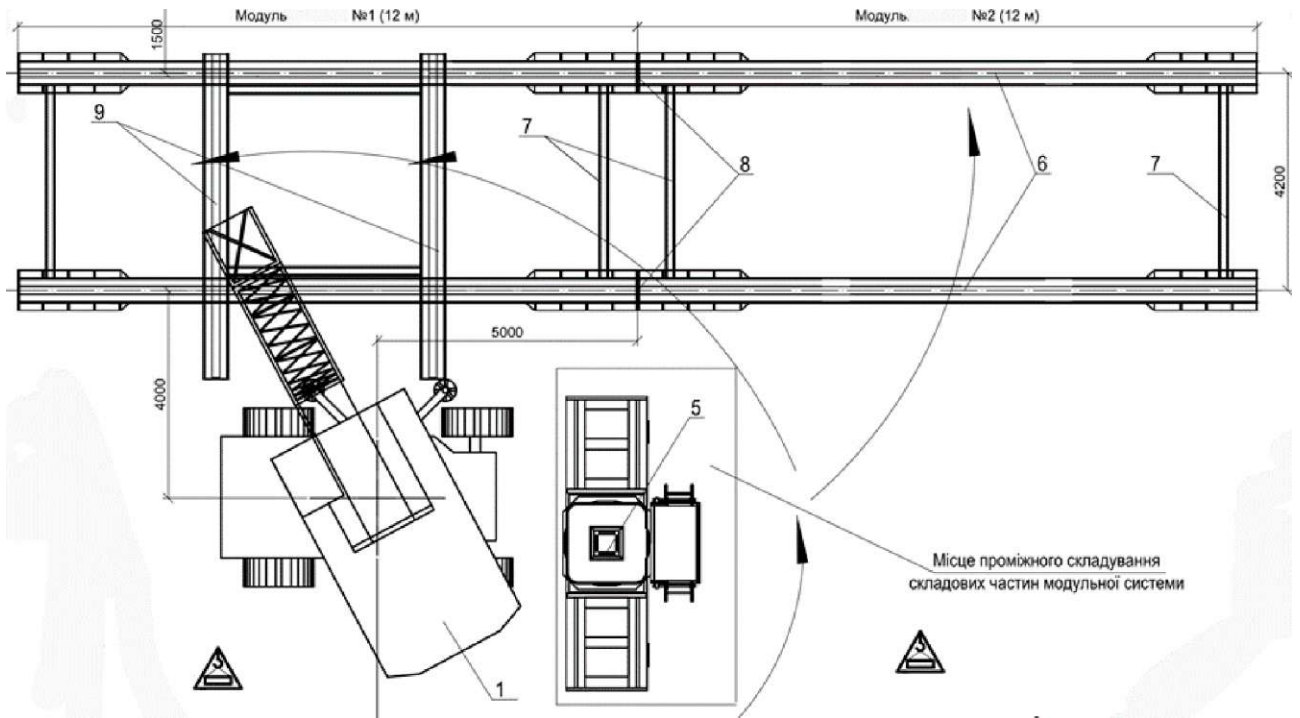


Рисунок 3.5 – Схема організації монтажу системи: 1 - кран; 5 - машина; 6 - модуль; 7 - сполучна балка ; 8 - вузол стикування модулів; 9 - каретка

Схема технологічної послідовності представлена на рисунку 3.6.

Установка машини СО-450 на каретку та анкерування.

Процедура підготовки машини до роботи включає такі етапи:

- Під'єднання електрокабеля до машини СО-450.
- Підготовка машини СО-450 до роботи.
- Встановлення машини СО-450 на каретку модуля.
- Під'єднання гідросистеми модуля до машини СЮ-450.
- Установлення анкерних вантажів на вантажну раму машини.

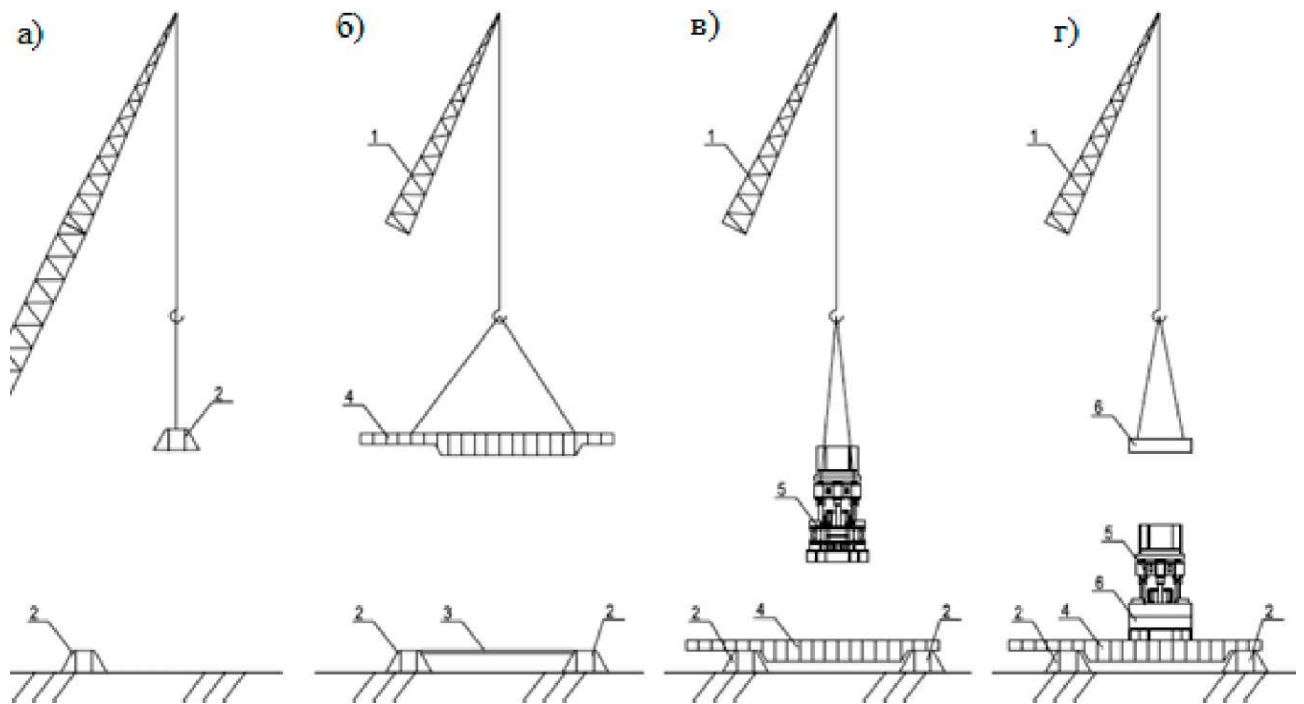


Рисунок 3.6 – Установка машины на каретку й анкерування: 1 - кран, 2 - поздовжні опори, 3 - сполучна балка, 4- каретка, 5 - машина, 6 - анкерні вантажі; а - установка поздовжніх опор, б - установка каретки на поздовжні опори, в - установка машини на каретку, г - анкерування машини

- Перевірка горизонтальності машини після анкерування.

Під'єднання електрокабеля виконується старшим оператором, а підготовка машини до роботи відбувається відповідно до інструкції з експлуатації ПМ СЮ-450. Установка машини на каретку здійснюється за допомогою крана, як показано на рисунку 3.6, в-г. Анкерування проводиться послідовно за одним вантажем вагою не більше 12 т на кожен бік рами машини. Кількість вантажів повинна відповідати розрахунковому зусиллю вдавнення паль, зазначеному в проекті, але не більше 200 т. Анкерні вантажі стропуються чотири вантажопідйомними захопленнями, і їхній технічний стан важливо перевіряти перед кожним стропуванням. Розташування вантажів повинно бути

строго симетричним щодо осі вдавнення палі та осей самої машини. Під час та після анкерування важливо контролювати горизонтальність положення машини.

Вдавлювання палі та переміщення машини С0-450 методом К. Послідовність технологічних етапів вдавлювання палі за координатним методом включає наступні операції:

- Встановлення пристрою «приціл» та переміщення машини С0-450 на місце вдавлювання палі, використовуючи гідроциліндри.
- Стропування та введення палі в захватний механізм машини.
- Центрування палі в клиновому затиску машини.
- Вдавлювання палі в ґрунт в автоматичному режимі.
- Надання додаткового тиску на основну палі через інвентарну палю вручну.
- Розміщення інвентарної палі на місце зберігання.
- Переміщення машини С0-450 на задану мітку для наступної палі.

Технологічний цикл вдавлювання палі в ґрунт з використанням координатного методу подано на рисунку 3.7. Паля подається краном в уловлювач машини, захоплюється клинами в голівці машини та центрується. Після цього машина переходить в автоматичний режим роботи, а зусилля вдавлювання контролюються за допомогою тарованого манометра машини. Вдавлювання основної палі продовжується через інвентарну палю вручну до досягнення верхнього торця палі встановленої проектною позначки. Після досягнення палею проектною позначки або зусилля вдавлювання, зазначеного в проекті, процес занурення палі припиняється. Інвентарна паля видаляється з машини та розміщується краном у безпечне й зручне для подальшої роботи місце. Зображення вдавлювання палі представлено на рисунку 3.8. Організаційна схема робочого майданчика показана на рисунку 3.9.

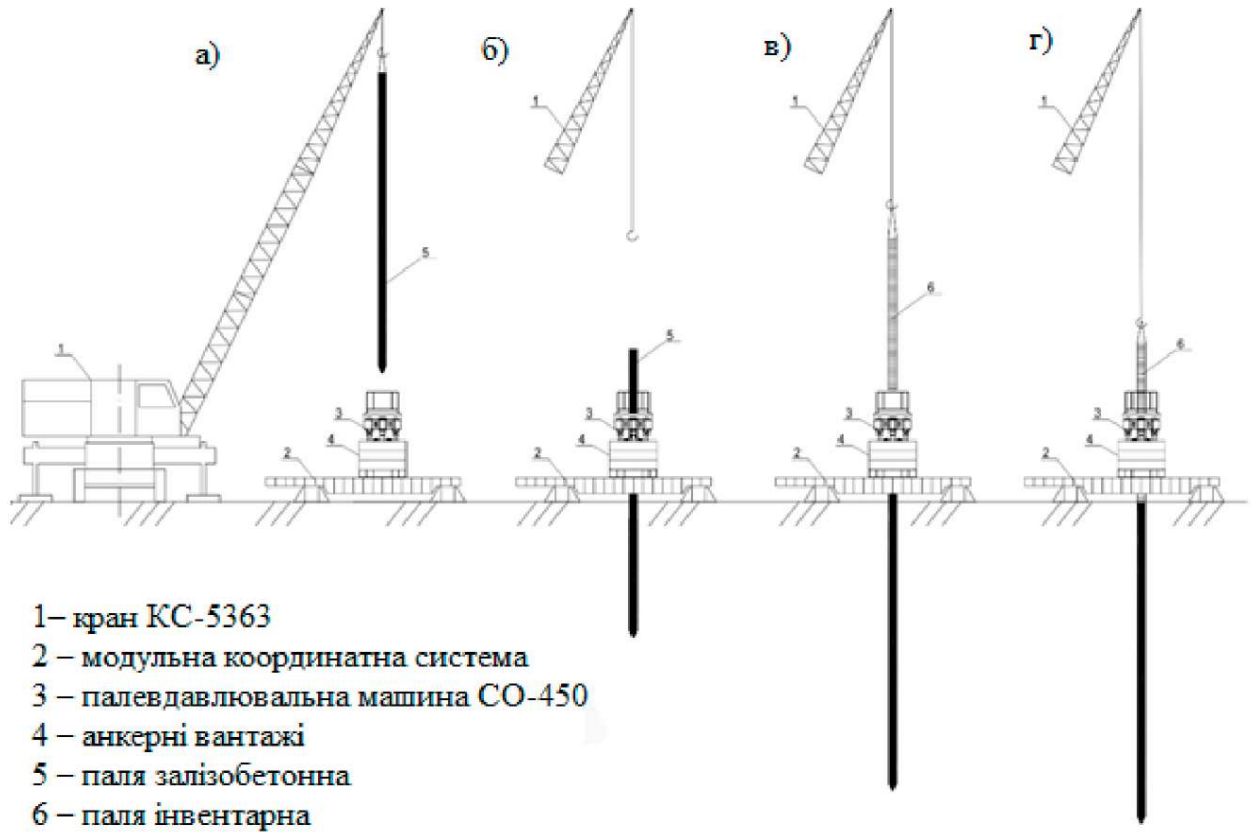


Рисунок 3.7 – Технологічний цикл вдавлювання палі координатним способом: а - подача палі, б - вдавлювання, в - подача інструменту, г - додавлювання палі



Рисунок 3.8 – Вдавлювання палі координатним способом (варіант К2) з дневної поверхні із застосуванням агрегатно-модульної системи на об'єкті компанії «ЗАРС» по вул. Пироговська, 2, в Одесі

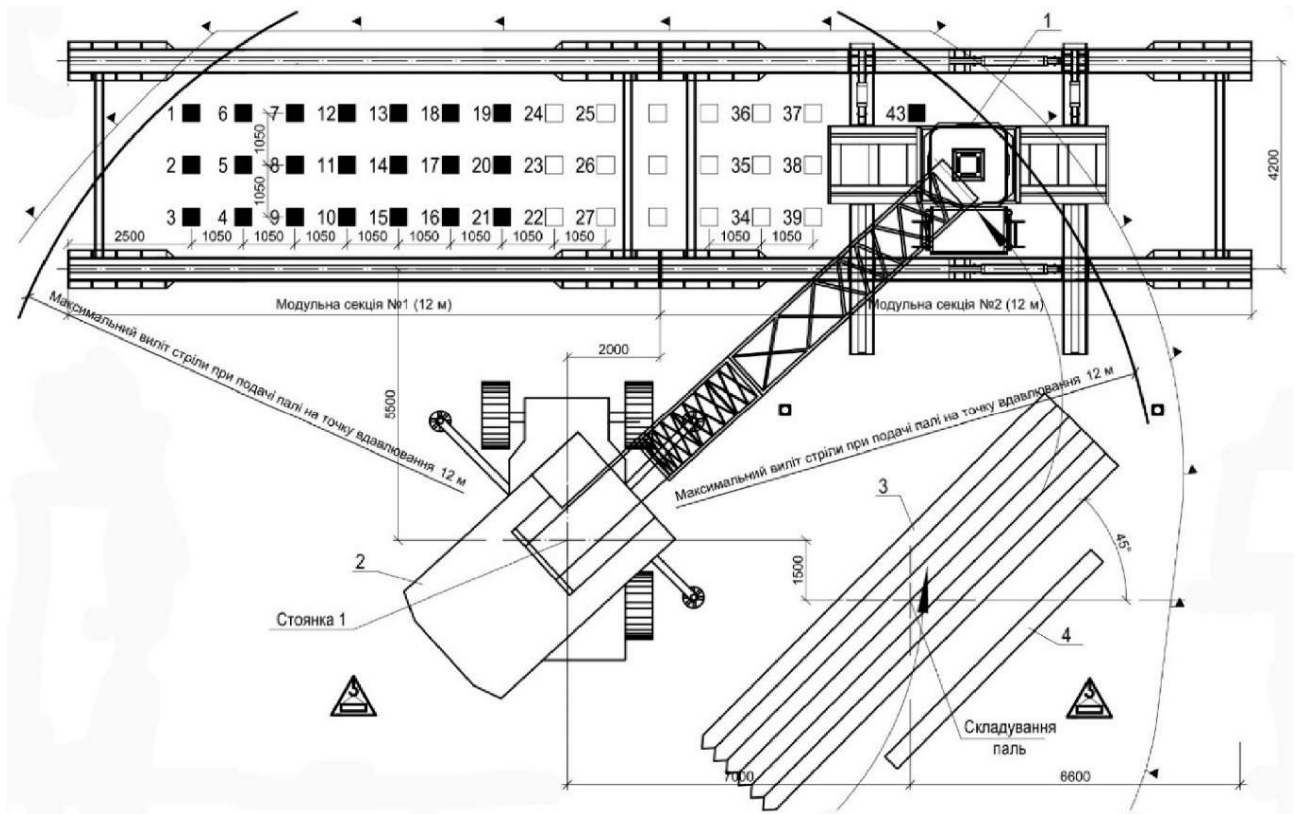


Рисунок 3.9 – Схема організації будівельного майданчику в процесі вдавлювання палі згідно з варіантом К₂: 1 - машина С0-450, 2 - кран КС-5363, 3 - залізобетонні палі, 4 - паля інвентарна, 5 - модульна система

Послідовне переміщення модулів.

Залежно від довжини монтажної ділянки, коли її протяжність (Б) перевищує 36 м, і вдалого завершення вдавлювання всіх пал, розташованих у робочій зоні модулів, виконується послідовне переміщення модулів. Цей процес включає їхнє розстикування, перенесення краном модуля №1 в напрямку руху машини та послідовне з'єднання з модулем №2. Такий підхід надає можливість необмежено подовжувати опорний шлях перед машиною при її русі вздовж поздовжніх осей будівлі.

Розвантаження машини С0-450 і демонтаж модульної системи. Процедура розвантаження палевдавлювальної машини СЮ-450 та демонтажу

модульної системи відображена на рисунку 3.10. Цей процес включає такі етапи:

- Розвантаження машини від анкерних вантажів (а);
- Відключення гідросистеми та електрокабеля;
- Зняття машини СЮ-450 з каретки (б);
- Демонтаж модульної системи (в, г);

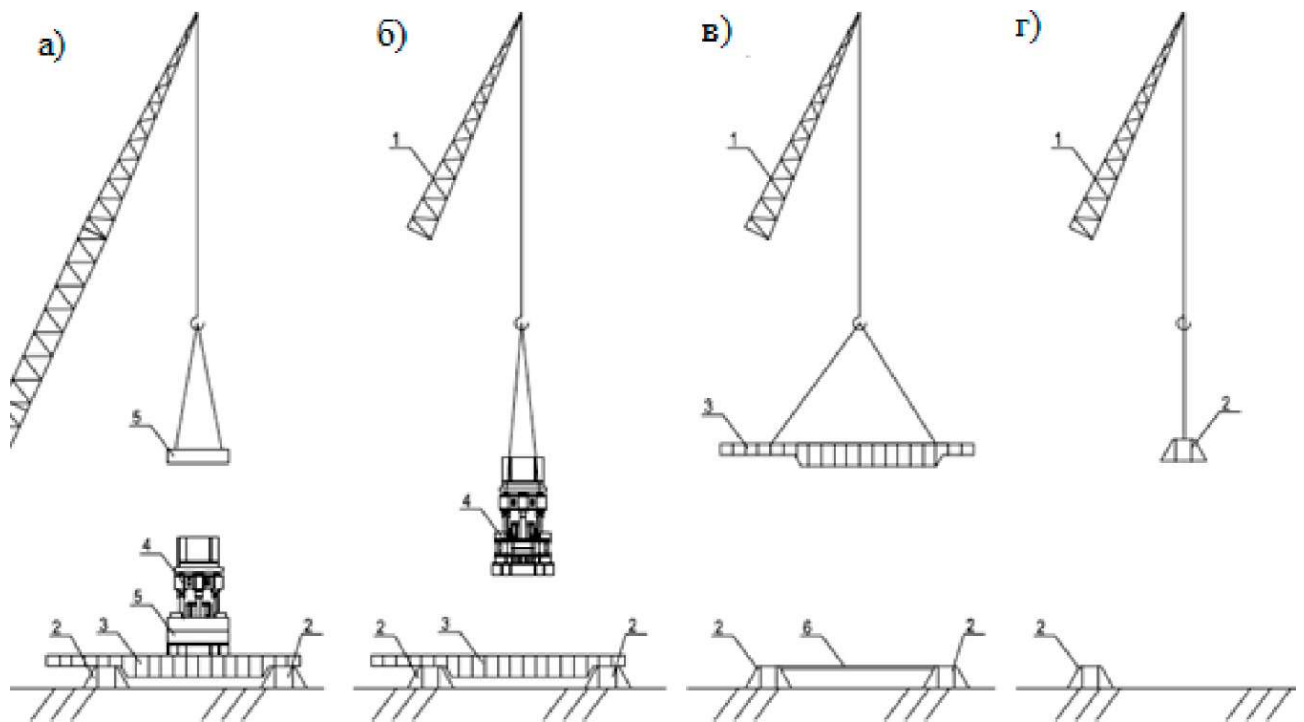


Рисунок 3.10 – Розвантаження машини і демонтаж модульної системи: 1 - кран; 2 - поздовжні опори (модуль); 3 - каретка; 4 - машина; 5 - анкерні вантажі

Машина розфіксується від анкерних вантажів за допомогою крана. Вантажі видаляються послідовно (по одному вантажу з кожного боку машини) відповідно до завантаження, і розміщуються на безпечному і зручному для подальшої роботи місці на будівельному майданчику. Машина піднімається з

каретки за допомогою крана. Організаційна схема будівельного майданчика під час процесу демонтажу модульної системи представлена на рисунку 3.11.

Після цього виконується розбирання модулів. Поздовжні, поперечні та з'єднувальні балки завантажуються на напівпричіп для довгомірних вантажів і вивозяться з об'єкта. Розвантаження, зняття машини з каретки та демонтаж системи здійснюються краном.

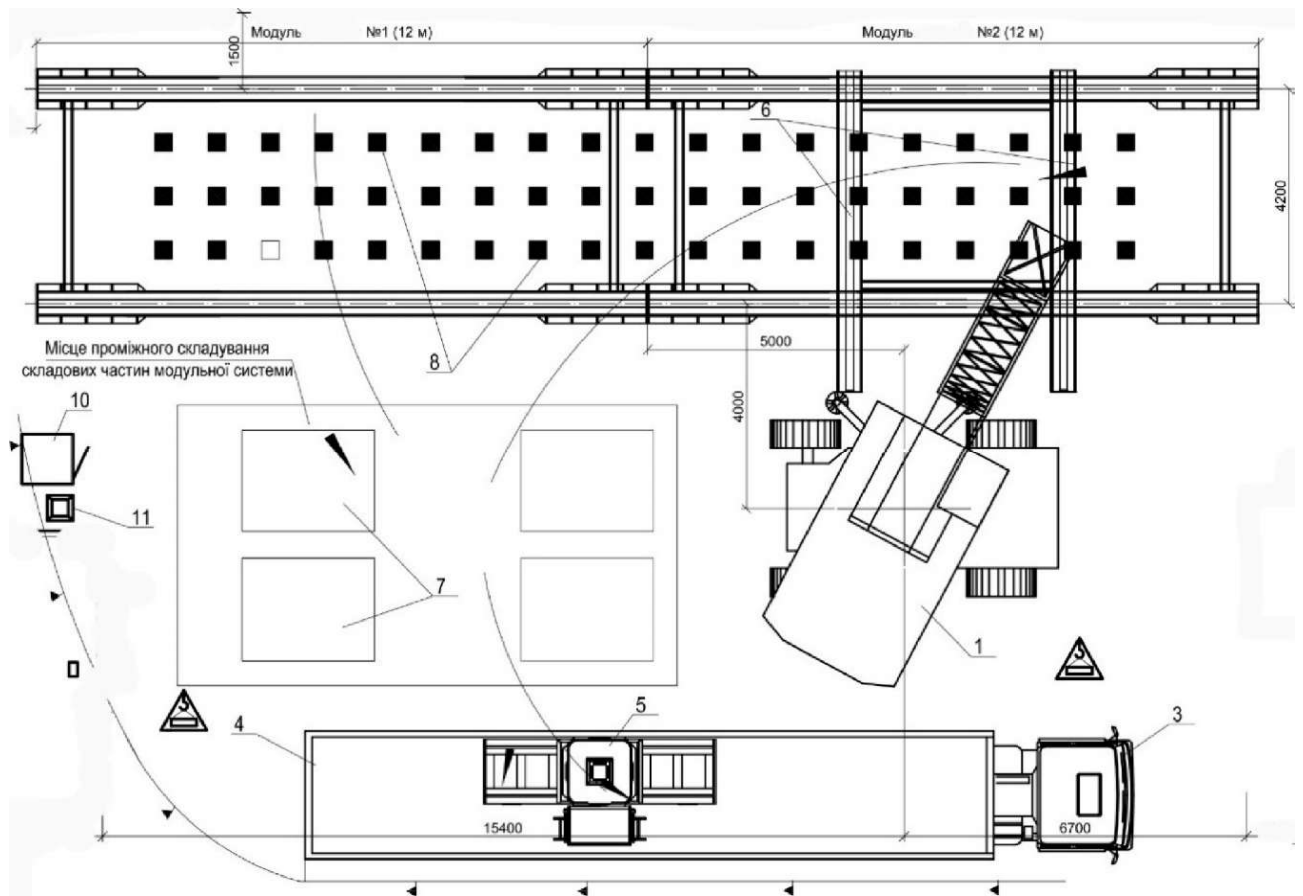


Рисунок 3.11 – Схема організації майданчика в процесі демонтажу системи: 1 - кран; 3 - тягач; 4 - напівпричіп; 5 - машина С0-450; 6 - каретка; 7 - анкерні вантажі; 8 - вдавнені палі; 10 - битовка; 11 - трансформаторна

У випадку, коли перенесення модуля ускладнюється обмеженнями через габарити майданчика (ділянки, котловану) при $B < 24$ м, застосовується варіант

виконання робіт із використанням одного модуля, як показано на рисунку 3.1 - варіант Кі. У цьому випадку розмір робочої зони складає 12,0x4,20 м по осях модуля, а мінімальна відстань у плані від осі палі до наявних будівель становить 1,5 м. Спочатку виконується збирання модуля. Потім збирається каретка, встановлюються поздовжні напрямні опори, з'єднувальні балки, лижі та гідроциліндри для поперечного переміщення. Потім модуль за допомогою крана встановлюється на ґрунт так, щоб осі пальового ряду (осі споруди) збігалися з основними осями модуля. Після цього формується агрегатний модуль шляхом установаження каретки на поздовжні напрямні опори, встановлення ПМ на каретку та під'єднання гідросистеми модуля до гідросистеми машини. Виконується анкерування: встановлення краном анкерних вантажів на раму машини та перевірка горизонтальності машини після анкерування. Палевдавлювальна машина переміщується на точку вдавлювання палі за допомогою гідроциліндрів поперечного та поздовжнього переміщення.

На відкритих майданчиках використовується варіант з двома модулями та їх послідовним переміщенням краном вздовж поздовжніх осей споруди - варіант Кз.

Згідно з цим варіантом спочатку виконується збірка та встановлення модулів. Потім машина переміщується на точку вдавлювання палі за допомогою гідроциліндрів. Процес включає вдавлювання палі в робочій зоні модуля №1, переміщення машини з робочої зони модуля №1 в робочу зону модуля №2, вдавлювання палі в робочій зоні модуля №2, розстикування модулів, перестановка модуля №1 краном вздовж руху та їх з'єднання з модулем №2, переміщення машини з робочої зони модуля №2 в робочу зону модуля №1, та вдавлювання палі в робочій зоні модуля №1.

Процес переміщення модулів та повторення цього циклу займає 20 хвилин.

Вищеописаний метод має свої недоліки:

1. Послідовне з'єднання модулів ускладнюється в умовах обмеженого простору будівельного майданчика.

2. Неможливо виконувати операції одночасної та послідовної перестановки модулів через обмежену зону крана.

3. При одночасному з'єднанні модулів утворюється простір, який випадає з робочої зони машини, ускладнюючи вдавлювання палі між паралельно з'єднаними модулями.

4. Операція перенесення палевдавлювальної машини на паралельний модуль є складною і небезпечною через велику вагу обладнання.

5. Розрив у безперервності процесу (вдавлювання палі - переміщення машини) ускладнює можливість автоматизації.

У цьому випадку виникає необхідність в додаткових операціях для переміщення обладнання краном в новий простір: переанкерування машини, встановлення/зняття каретки та модулів. Все це призводить до зниження продуктивності та недостатньої точності (технологічної та позиційної) вдавлювання палі.

3.4 Лінійний спосіб

Лінійний (однокоординатний) метод ґрунтується на переміщенні палевдавлювальної машини вздовж поздовжньої (X) координати вздовж осі пального (шпунтового) ряду, використовуючи жорсткі поздовжні напрямні опори.

Цей метод ефективно застосовується для однорядного розташування будівельних елементів, таких як палі, металеві труби, шпунти, а також профілі сортового прокату. Згідно з цим методом, машина рухається тільки в одному напрямку на відстань, обмежену довжиною напрямних опор. При зміні напрямку

руху та переході на сусідній ряд палі (нові осі, ділянку), необхідне переанкерування палевдавлювальної машини СО-450. Рух вздовж поздовжніх осей споруди відбувається шляхом нарощування опорного шляху з використанням двох модульних секцій розміром 2,1 (4,2) м по осях і довжиною 12 (24) м.

Операції розташування модульних секцій включають у себе:

1. Складання конструкцій модульних секцій.
2. Стропування та налаштування напрямних опор на польовій ділянці палів.

Підготовчі процеси для машини СО-450 та анкерування включають у себе:

- Під'єднання електрокабеля до машини.
- Підготовка машини до роботи.
- Установлення машини на точку вдавлювання палі.
- Установлення анкерних вантажів на вантажну раму машини.

Базовий процес вдавлювання палів в ґрунт машиною включає:

- Стропування та подання палі краном у затискний механізм машини.
- Центрування палі в машині.
- Вдавлювання палі в ґрунт в автоматичному режимі.
- Додавлювання основної палі через інвентарну в ручному режимі.
- Укладання інвентарної палі в місце складування.

Процес розвантаження машини СО-450 та зняття анкерних вантажів включає:

- Розвантаження машини СО-450 від анкерних вантажів.
- Від'єднання гідросистеми та електрокабеля.

Демонтаж модульних секцій передбачає:

- Розбирання конструкцій модульних секцій.
- Стропування та переміщення їх на майданчик для зберігання.

3.5 Організація проведення робіт із вдавнення паль із використанням агрегатно-модульної системи

Перед початком влаштування пального поля необхідно провести контрольні випробування паль, щоб підтвердити їхню проектну носійну здатність та глибину закладання [10]. Процедура вдавлювання паль, які підлягають випробуванням, виконується за допомогою Т-способу.

Перед вдавлюванням паль слід завершити всі підготовчі роботи, такі як:

- Влаштування котлованів (якщо необхідно). На нестійких та водонасичених ґрунтах котловані слід влаштовувати під захистом огороження, такого як шпунти, підпірні стіни тощо.

- Влаштування водостоків та водовідводів з робочого майданчика (дна котловану).

- Геодезична розбивка осей та положення паль і рядів паль відповідно до проекту.

- Влаштування тимчасових проїздів для палевдавлювальної машини та крану.

- Прокладення силових та освітлювальних ліній електромережі.

- Виконання комплектування та складування паль у кількості, необхідній для дводенної безперервної роботи.

- Винесення, закріплення на місцевості та передання згідно з актом розбивочні вісі будівлі, додано схеми розміщення знаків розбивки.

- Перевірка відповідності маркування паль заводським паспортам.

- Доставка та розміщення на будмайданчику машини, анкерних вантажів, необхідних механізмів, пристроїв та інструментів.

- Встановлення звукової сигналізації та зовнішньої огорожі будівельного майданчику.

- Влаштування побутових приміщень.

Схема організації будівельного майданчику для процесу монтажу модульної координатної системи та ПМ С0-450, а також схеми організації робіт із вдавлювання палі представлені на рисунках 3.5, 3.9 і 3.11.

Організація бригади та методи роботи працівників.

Виконання точкового вдавлювання палі машиною СЮ-450 покладено на чотирьохосібну бригаду з таким розподілом обов'язків:

1. Оператор (1 особа) відповідає за управління будівельним майданчиком, розташуванням ПМ у визначеному місці для вдавлювання палі, а також завантаженням та розвантаженням анкерних вантажів. Він також керує процесом вдавлювання палі в ґрунт, контролює показники приладів, регулює роботу всіх вузлів та агрегатів вдавлювання машини, а також веде журнал занурення робочих палі.

2. Кранівник (1 особа) відповідає за перестановку ПМ у визначене місце для вдавлювання палі, а також завантаження та розвантаження машини анкерними вантажами. Також він здійснює подачу основної та інвентарної палі в машину.

3. Стропальники (2 особи) відповідають за завантаження та розвантаження машини анкерними вантажами, стропування та подачу палі в машину, стропування та установку ПМ у визначене місце для вдавлювання палі.

Виконання вдавлювання палі координатним способом із використанням агрегатно-модульної системи виконується бригадою, що складається з 4 осіб:

1. Старший оператор 5-го розряду (1 особа).
2. Кранівник 5-го розряду (1 особа).
3. Стропальники 4-го розряду (2 особи).

Наведена організаційно-технологічна структура процесів виробництва робіт із використанням агрегатно-модульної системи передбачає три різновиди способів, які визначаються технологічною класифікацією та використанням

автоматизованого обладнання для вдавлювання палі. Також враховані нові типові технологічні процеси, що оптимізовані для різних пальових основ, що надає можливість швидко адаптуватися до змінних умов будівництва.

T-спосіб ефективно використовується для залізобетонних паль підвищеної відповідальності в умовах обмеженого простору, де ключовим фактором є збереження цілісності структур, розташованих поруч.

Лінійний (Л) метод, що є конкретним варіантом координатного підходу без застосування каретки, розглядається в рамках трьох альтернатив:

1. Варіант Л1 - використання двох поздовжніх напрямних опор (однієї модульної секції) розмірами 1,20 x 12,0 м.

2. Варіант Л2 - використання 4-ох з'єднаних поздовжніх опор (двох модульних секцій) розмірами 1,20 x 24,0 м.

3. Варіант Л3 - послідовне перестиккування краном 4-ох опор.

Існує покращення продуктивності праці в порівнянні з T-способом, але, як і раніше, цей метод залишається неефективним для багаторядних пальових конструкцій, оскільки переміщення на сусідній ряд палів (осей) вимагає перестановки опор краном і переанкерування машини.

K-спосіб використовується для кущового та багаторядного розташування палів, зокрема для будівництва багаторядних протяжних протизсувних пальових споруд і суцільних пальових полів, а також на слабких водонасичених ґрунтах.

Розглядається за трьома альтернативними виконаннями комплексного технологічного процесу:

1. Варіант К1 - використання одного агрегатного модуля (М12) з шириною $B = 12$ м.

2. Варіант К2 - використання двох модулів (2М12) з шириною $B = 24$ м, з'єднаних послідовно без перестиккування (який розглядався раніше).

3. Варіант К3 - використання двох модулів в системі та їхнє послідовне перестиккування краном.

Використання цього методу дозволяє зменшити час вдавлення однієї палі у чотири рази порівняно з Т-способом, а також коригувати вертикальне положення палі на перших метрах занурення та виконувати стендові випробування палів і шпунтів бічними навантаженнями.

Технічний результат полягає в збільшенні опорної площі, підвищенні стійкості на слабких ґрунтах, покращенні позиційної точності, підвищенні продуктивності та зниженні трудовитрат, проте обмежено функціональні можливості координатного простору модуля.

ВИСНОВКИ

1. Концепція використання агрегатно-модульної системи заснована на конструктивно-технологічному поєднанні координаційного простору модулів з модульної сіткою споруджуваної будівлі чи споруди, що забезпечує технологічну точність і безперервність виконання робіт по влаштуванню паль.

2. Розроблена класифікація способів виробництва робіт за технологічною послідовністю влаштування паль дає змогу типізувати конструктивно-технологічні рішення і вказує на необхідність розробки модульної системи переміщення машини С0-450.

3. Агрегатно-модульна система для влаштування паль складається з гідравлічної палевдавленої машини С0-450 з боковим клиновим затиском палі та модульної координатної системи переміщення.

4. Застосування модульної координатної системи дало змогу вилучити неефективні процеси, скоротити тривалість і витрати праці.

5. Організація проведення робіт з влаштування паль на основі використання типізованих технологічних схем дає змогу одним комплектом устаткування охопити весь діапазон класифікованих технологічних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Швець В.Б., Феклін В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція фундаментів: посібник. Харків: СІ, 2002. - 203 с.
2. Тугаенко Ю. Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов: учебное пособие. Одесса, 2008. 216 с.
3. Швець В.Б., Фёклин В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція фундаментів. Харків : СІ, 2002. 203 с.
4. Анотація доповідей XIII Європейського конгресу з механіки ґрунтів та геотехнічного будівництва. *Бібліотека журналу "Світ геотехніки"*. Запоріжжя ДНДІБК. 2006. 172 с.
5. Ostwald M. 2001. "The Modulor and Modulor 2" by Le Corbusier (Charles Edouard Jeanneret), no. 1:145. Basel: Birkhäuser, 2000 Nexus Network Journal.
6. Ежов В.И., Архитектурно-конструктивные системы общественных зданий. Киев: Будівельник, 1981. 120 с.
7. Новский А.В. К вопросу метода вдавливания свай вблизи существующих зданий и пути его совершенствования. Вестник Одесской Гос. Академии строительства и архитектуры. 2001 г. Вып. 4. С. 152-157.
8. Мещеряков Г.Н., Технология и оборудование для автоматизированного вдавливания свай. Інформаційні технології в освіті, науці та вироб-тві. Вип. 2(13). 2016. С. 27-39.
9. 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.
10. Поляков Е.В. Реконструкція та ремонт житлових будинків: навч. посібник. Київ : НЕДРА, 1997. 192 с.
11. Комаров І.К. Вдосконалення будівельного виробництва: посібник.

Харків, 2007.-208с.

12. Соколов Г.К. Технологія та організація будівництва: посібник. Дніпро: центр .2006. 528с.

13. Пашечко О. А. Виробництво робіт з влаштування монолітних залізобетонних конструкцій. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія: Економіка. 2013. Вип. 24. С. 39-43.

14. Сердюк В.Р., Франишина С.Ю. Технологія індустріального будівництва з монолітного бетону. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2009. №4. С.17-21.

15. Щербініна С.А. Опалубні системи для монолітного будівництва. Вісник ПДТУ. 2014. № 28. С.117-121.

16. Дрожжин Д.Ю. Технологія будівельних процесів. Державне будівництво. 2012. № 2. С. 1-9.