МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

_____другий магістерський рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Дослідження несучої здатності паль динамічними методами у водонасичених основах

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-пцб-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)
_____Білецький Євген Сергійович_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____доц., к.т.н., Мішук К.М._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент _____доц., к.т.н.Данкевич Н.О._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"__" _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Білецький Євген Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Дослідження несучої здатності паль динамічними методами у водонасичених основах
керівник роботи Мішук Катерина Миколаївна, доц., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "30" 09 2024 року № *1486-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи *грудень 2024р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи палі та методи їх заглиблення, визначення їх несучої здатності
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, розділ 1 – Класифікація та основні характеристики паль, розділ 2 – Влаштування пальових фундаментів шляхом забивання, розділ 3 – Методика проведення випробувань ґрунтів палями з динамічними навантаженнями. 4 – Нові методи при випробуваннях залізобетонних забивних паль. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 2	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 4	Мішук К.М., доц. кафедри		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Розділ 1	1.09.2024 - 1.10.2024	
2	Розділ 2	2.10.2024 – 15.11.2024	
3	Розділ 3	16.11.2024 – 30.11.2024	
4	Розділ 4	01.12.2024 - 25.12.2024	

Студент _____ Білецький Є.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Мішук К.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Данкевич Н.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Білецький Євген Сергійович. Дослідження несучої здатності паль динамічними методами у водонасичених основах.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

В даний час для України особливої актуальності набувають проблеми будівництва нових та реконструкції існуючих об’єктів, розташованих у безпосередній близькості до наявних будівель та споруд, у тому числі в історичному центрі міст.

При цьому виникають не тільки технологічні труднощі, пов’язані з проведенням робіт у стиснених умовах, а й з’являється небезпека пошкодження будівель, які часто мають архітектурну та історичну цінність.

Порушення структури слабких ґрунтів відбувається внаслідок зміни статичної схеми роботи масиву ґрунту (додаткового навантаження при будівництві нових будівель, зняття навантаження при влаштуванні котлованів), динамічного впливу від будівельних машин, що рухаються, і технологічних впливів при влаштуванні фундаментів, особливо пальових, що виконуються із залізобетонних забивних паль виготовлення).

При проєктуванні фундаментів та розробці проєктів виконання робіт для отримання високих технічних та економічних показників необхідно забезпечити приблизну рівність несучої здатності палі за матеріалом її стовбура та ґрунту основи, цілісності конструкцій поруч розташованих будівель та споруд, а також виконання вимог екології (зменшити рівень шуму, загазованості повітря, забруднення територій, у тому числі при транспортуванні з площі забудови ґрунту, що розробляється, і глинистого розчину).

Досвід влаштування пальових фундаментів свідчить, що застосування забивної технології становить небезпеку для навколишньої забудови, оскільки технологічні процеси негативно впливають на навколишні будівлі та споруди. Тому, в процесі робіт для збереження навколишніх будівель і споруд, а також для контролю фундаменту, що будується, необхідно здійснювати постійний геотехнічний моніторинг, що включає геодезичний і динамічний контроль за їх опадами протягом всього періоду будівництва починаючи з розробки котловану.

Визначення несучої здатності паль за результатами динамічних випробувань є актуальною проблемою на етапі розвитку будівельної галузі. Необхідний ретельний розгляд цього питання у розрізі 21 століття. Проведення досліджень із використанням сучасних інженерно-технічних засобів, комп’ютерної та іншої обчислювальної техніки. Використання сучасних свабійних машин та іншого обладнання.

Ключові слова: палі, несуча здатність, динамічні навантаження, свабійні машини, водонасичені ґрунти.

ABSTRACT

Biletskiy Yevhen Serhiiovych. Investigation of the bearing capacity of piles using dynamic methods in water-saturated foundations.

Qualified graduation work to achieve a higher level of master's degree in the specialty 192 Life and civil engineering, scientific ceramics specialist K.M. Mishuk. Engineering Basic Science Institute named after. Yu.M. Potebni Zaporizhzhya National University, Department of Industrial and Civil Life, 2024.

Currently, for Ukraine, the problems of constructing new and reconstructing existing objects located in the immediate vicinity of existing buildings and structures, including in the historical centers of cities, are becoming especially relevant. This raises not only technological difficulties associated with carrying out work in cramped conditions but also the danger of damaging buildings that often have architectural and historical value. The violation of the structure of weak soils occurs as a result of a change in the static scheme of the soil mass (additional load during the construction of new buildings, removal of the load during the arrangement of pits), dynamic impact from moving construction machines, and technological impacts during the arrangement of foundations, especially pile foundations, which are made of precast reinforced concrete piles.

When designing foundations and developing project execution plans to obtain high technical and economic indicators, it is necessary to ensure approximately equal bearing capacity of the pile according to the material of its shaft and the soil base, the integrity of the structures of adjacent buildings and structures, as well as compliance with environmental requirements (reduce noise levels, air pollution, and land pollution, including during the transportation of soil developed from the construction site and clay slurry).

Experience in the construction of pile foundations shows that the use of the driving technology poses a danger to the surrounding buildings, as technological processes negatively affect neighboring buildings and structures. Therefore, in the process of work to preserve neighboring buildings and structures, as well as to

control the foundation under construction, it is necessary to carry out continuous geotechnical monitoring, which includes geodetic and dynamic control of their settlements throughout the entire construction period, starting from the development of the pit.

Determining the bearing capacity of piles based on the results of dynamic tests is an urgent problem at the stage of development of the construction industry. A thorough consideration of this issue in the context of the 21st century is necessary. Conducting research using modern engineering and technical means, computer and other computing equipment. The use of modern pile driving machines and other equipment.

Keywords: piles, bearing capacity, dynamic loads, pile driving machines, water-saturated soils.

ЗМІСТ

	Вступ	8
1	КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛЬ	10
1.1	Класифікація паль за способом заглиблення та за умовами роботи	10
1.2	Основні типи, параметри та розміри забивних залізобетонних паль	11
1.3	Характеристики паль	14
1.4	Область застосування паль	20
2	ВЛАШТУВАННЯ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ШЛЯХОМ ЗАБИВАННЯ	24
2.1	Загальні положення	24
2.2	Забивання залізобетонних паль	26
2.3	Машини та обладнання для занурення забивних паль	28
2.4	Технологія вибору молота для забивання паль	43
3	МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ҐРУНТІВ ПАЛЯМИ З ДИНАМІЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ	49
3.1	Загальні положення	49
3.2	Обладнання та прилади для проведення випробувань ґрунтів динамічними навантаженнями	50
3.3	Випробування ґрунтів динамічним навантаженням	52
3.4	Вимоги до польових випробувань ґрунтів палями	56
4	АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ҐРУНТІВ ПАЛЯМИ ДИНАМІЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ	58
4.1	Інженерно-геологічні умови будівельного майданчика	58
4.2	Визначення несучої здатності за результатами випробувань паль динамічним навантаженням	62
4.3	Техніка безпеки під час польових випробувань	65
4.4	Нові методи випробування залізобетонних забивних паль	65
4.4.1	Стан питання	65
4.4.2	Технічні та теоретичні передумови створення нового методу	69
4.4.3	Рекомендації щодо технології динамічних випробувань паль	72
	Список використаних джерел	76

ВСТУП

Актуальність теми. Найважливішим завданням проєктування будівель та споруд є максимальна економія вкладених коштів за збереження експлуатаційних властивостей споруди. При цьому слід прагнути до мінімізації економічних витрат як безпосередньо на будівництво (оптимізація конструкцій, здешевлення та прискорення виконання робіт), так і на сам процес проєктування, включаючи розрахунки та інженерні дослідження.

Останні десятиліття ознаменувалися інтенсивним впровадженням пальових технологій під час проєктування та будівництва фундаментів, особливо у складних інженерно-геологічних умовах. При оцінці надійності пальового фундаменту одним із центральних традиційно є питання про несучу здатність палі. І в класичних, і в чисельних, і в нормативних методах визначення цього параметра найбільша увага приділяється здатності палі на вдавлювання і висмикування. Вдосконалення методів визначення несучої здатності паль на динамічне навантаження, а також удосконалення методів розрахунку пальових фундаментів будівель та споруд є актуальним завданням.

Мета роботи - визначення методики визначення допустимих значень динамічних навантажень на палю з урахуванням їх спільної дії та вдосконалення на цій основі узагальненої методики визначення зусиль у пальовому фундаментів у водонасичених основах.

Задачі роботи. Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі конкретні задачі:

- розробити в загальному вигляді постановку та вирішення задачі про несучу здатність паль у ґрунті;

- визначити практичну методику розрахунку паль на динамічні навантаження, узагальнити цю методику для водонасичених ґрунтів, що повільно ущільнюються;

-розробити методику раціонального проєктування пальового

фундаменту, засновану на обліку перерозподілу навантажень між палями.

Об’єктом дослідження є пальові фундаменти, що складаються з групи або поля паль.

Предметом дослідження є взаємодія палі, навантаженої горизонтальним навантаженням і моментом, з навколишньою ґрунтовою основою.

Наукова новизна роботи полягає:

- у запропонованій методиці для визначення несучої здатності паль у ґрунті;
- в удосконаленні узагальненої методики розрахунку пальових фундаментів;
- в аналізі впливу геометричних параметрів палі та механічних характеристик ґрунту на несучу здатність паль.

Методи дослідження. Використовувалися засоби вимірювання та автоматичного збору та обробки інформації. Для розрахунків, теоретичного та графічного аналізу результатів використовувалося сертифіковане ПЗ: пакети стандартних вітчизняних та зарубіжних комп’ютерних програм.

Структура і об’єм магістерської роботи. Робота складається із введення, чотирьох розділів, висновків, загальних висновків та пропозицій, списку використаних джерел. Основною темою текст викладено на 79 сторінках, з них 8 малюнків, 15 таблиць, та містить списки літератури зі 25 найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛЬ

Палі мають бути виготовлені відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.6-65:2008 «Конструкції будинків і споруд. Палі залізобетонні. Технічні умови», технологічної документації, затвердженої підприємством-виробником.

1.1 Класифікація паль за способом заглиблення та за умовами роботи

За способом заглиблення в ґрунт слід розрізняти такі види паль:

a) забивні залізобетонні, дерев'яні та сталеві, що занурюються в ґрунт без його виїмки за допомогою молотів, віброзанурювачів, вібровдавлювальних та вдавлюючих пристроїв, а також залізобетонні палі-оболонки, що заглиблюються віброзанурювачами без виїмки або з частковою виїмкою ґрунту та не заповнюються бетонною сумішшю;

b) палі-оболонки залізобетонні, що заглиблюються віброзанурювачами з виїмкою ґрунту та заповнюються частково або повністю бетонною сумішшю;

c) набивні бетонні та залізобетонні палі, що влаштовуються в ґрунті шляхом укладання бетонної суміші у свердловини, утворені внаслідок примусового відтискання (витіснення) ґрунту;

d) бурові залізобетонні палі, що влаштовуються в ґрунті шляхом заповнення пробурених свердловин бетонною сумішшю або встановлення в них залізобетонних елементів;

e) гвинтові палі.

За умовами роботи взаємодії з ґрунтом палі слід поділяти на палі-стійки та висячі.

До паль-стійок слід відносити палі всіх видів, що спираються на скельні ґрунти, а забивні палі, крім того, на малостисні ґрунти. (До малостисливих ґрунтів відносяться великоуламкові ґрунти з піщаним заповнювачем середньої щільності та щільним, а також глини твердої консистенції у водонасиченому стані з модулем деформації E > 50 000 кПа (500 кгс/см^2).

До висячих паль слід відносити палі всіх видів, що спираються на ґрунти, що стискаються і передають навантаження на ґрунти основи бічною поверхнею і нижнім кінцем.

1.2 Основні типи, параметри та розміри забивних залізобетонних паль

Палі поділяють такі типи:

С - квадратного суцільного перерізу, цілісні та складові, з поперечним армуванням ствола;

СП – квадратного перерізу з круглою порожниною, цілісні;

СК - порожнисті круглого перерізу діаметрами 400…800 мм, цілісні та складові;

СО - палі-оболонки діаметрами 1000…3000 мм, цілісні та складові;

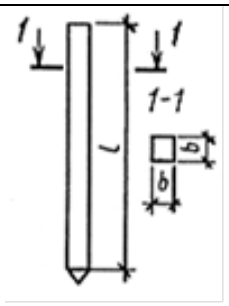
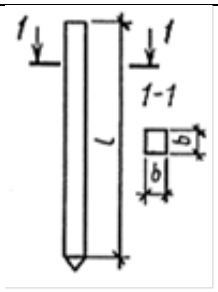
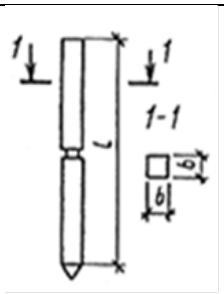
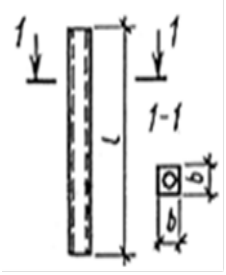
1СД – палі-колони квадратного суцільного перерізу, двоконсольні, розташовані по крайніх осях будівлі;

2СД - те саме, розташовані по середніх осях будівлі;

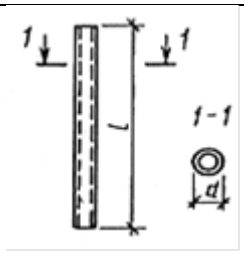
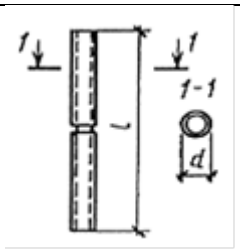
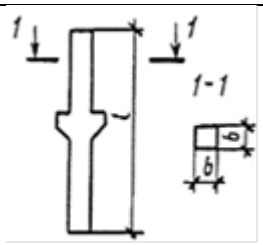
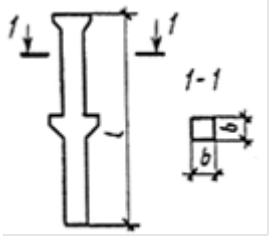
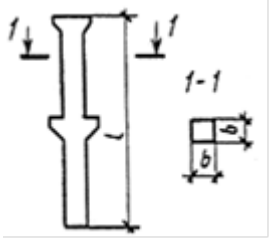
СЦ - квадратного суцільного перерізу, цілісні, без поперечного армування стовбура, з напруженою арматурою в центрі палі.

Форма та основні розміри паль повинні відповідати зазначеним в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Форма та основні розміри забивних паль

Тип та характеристика палі	Ескіз палі	Основні розміри палі, мм		Позначення стандарту або серії робочих креслень
		b або d	l	
Тип С. Цілісна з ненапружуваною арматурою		200	3000…6000	Серія 1.011.1-10, вип. 1; УД-40-88; 3.500.1-1
		250	4500…6000	
		300	3000…12000	
		350	4000…16000	
		400	4000…18000	
Тип С. Цілісна з напруженою арматурою		200	3000…6000	ДСТУ Б В. 2.6 - 65:2008 Серія 3.500.1-1
		250	4500…6000	
		300	3000…15000	
		350	8000…20000	
		400	13000…20000	
Тип С. Складова з ненапружуваною арматурою		300	14000...24000	Серія 1.011.1-10, вип. 8
		350	14000...28000	
		400		
Тип С. Складова з напруженою арматурою		300	14000…20000	Серія 1.011.1-9
		350	14000…24000	
		400	14000…28000	
Тип СП. Цілісна з ненапру-жуваною та напружуваною арматурою		300	3000…12000	ДСТУ Б В. 2.6 - 65:2008
		400		

Продовження таблиці 1.1

Тип СК. Цілісна з ненапружуваною арматурою		400	4000…18000	ДСТУ Б В.2.6-65:2008 Серія 3.501.1
		500		
		600		
		800	4000…12000	
Тип СО. Цілісна з ненапружуваною арматурою		1000	6000…12000	
		1200		
		1500		
		1600		
		3000		
Тип СК. Складова з ненапружуваною арматурою		400	14000…26000	ДСТУ Б В. 2.6 - 65:2008 Серія 3.501.1
		500	14000…30000	
		600	14000…40000	
		800	14000…48000	
Тип СО. Складова з ненапружуваною арматурою		1000	14000…48000	
		1200		
		1500		
		1600		
		3000		
Тип 1СД		200	5000…6000	ДСТУ Б В. 2.6 - 65:2008
		300	5000…7500	
Тип 2СД		300	5000…7500	
Тип СЦ		250	5000…6000	ДСТУ Б В. 2.6 - 65:2008
		300	3000…9000	

1.3 Характеристики паль

Палі повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.6-2:2009 Конструкції будівель та споруд. Вироби бетонні та залізобетонні. Загальні технічні умови:

a) за показниками фактичної міцності бетону: у проектному віці, передавальній та відпускній;

b) по морозостійкості та водонепроникності бетону;

c) до марок сталей для арматурних та заставних виробів, у тому числі для монтажних петель;

d) захисту від корозії.

Палі повинні задовольняти встановленим під час проектування вимогам щодо тріщиностійкості та витримувати контрольні випробування, зазначені у робочих кресленнях на ці палі.

Палі слід виготовляти з важкого бетону за ДСТУ Б В.2.7-43-96 класів за міцністю на стиск, зазначених у робочих кресленнях на ці палі. При спиранні паль на скельні та великоуламкові ґрунти клас бетону за міцністю на стиск слід приймати не нижче В25 незалежно від довжини палі. Як великий заповнювач для бетону паль повинен застосовуватися фракціонований щебінь з природного каменю або гравію, при цьому розмір фракції не повинен бути більше 40 мм.

Для армування паль слід застосовувати арматурну сталь наступних видів та класів:

a) в якості напруженої поздовжньої арматури - термомеханічно зміцнену стрижневу класів Ат-V, Ат-VСК, Ат-IV, Ат-IVС та АТ-IVК за ДСТУ 3760-98, гарячекатану стрижневу класів А-V та А-IV – те ж;

b) арматурні канати класу К-7 за ДСТУ 3760-98;

c) високоміцний дріт періодичного профілю класу Вр-II за ДСТУ 3760-98;

d) як ненапружувана поздовжня арматура - стрижневу гарячекатану періодичного профілю класів А-III, А-II та Ас-II за ДСТУ 3760-98,

термомеханічно зміцнену класів Ат-IIIС і Ат-IVС;

е) як конструктивну арматуру (спіралі, сітки, хомути) - дріт звичайний періодичного профілю класу Вр-I за ДСТУ 3760-98, стрижневу гарячекатану гладку класу А-I.

Допускається як ненапружувана поздовжня арматура застосовувати арматурну сталь класу А-I.

Значення дійсних відхилень напруг у напруженій арматурі не повинні перевищувати граничних, зазначених у робочих кресленнях на ці палі.

Форма та розміри арматурних та заставних виробів та їх положення у палях повинні відповідати зазначеним у робочих кресленнях на ці палі.

Значення дійсних відхилень від лінійних розмірів арматурних виробів та від розмірів, що визначають положення цих виробів у палях, не повинні перевищувати граничних, зазначених у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Граничні відхилення лінійних розмірів арматурних виробів

Найменування геометричного параметра	Граничні відхилення
Палі з ненапружуваною арматурою	
Відстань від крайнього поперечного стрижня (спіралі, сітки, хомута) остаточно каркаса	±10
Крок спіралі, сіток, хомутів при значенні кроку:	
до 50 включ.	±10
св. 50 до 100 включ.	±15
’’100	±25
Палі з арматурою, що напружується	
Відстань від крайньої сітки (хомута, витка спіралі) до торця палі	±10
Крок спіралі, сіток хомутів при значенні кроку:	
до 50 включ.	±10
св. 50 до 100 включ.	±25
’’100	±50

Допустимі відхилення

Значення дійсних відхилень геометричних параметрів паль не повинні перевищувати граничні, зазначені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Граничні відхилення геометричних параметрів паль

Найменування відхилення геометричного параметра палі	Найменування геометричного параметра палі	Межа відхилення
Відхилення від лінійного розміру	Довжина призматичної (циліндричної) частини палі з ненапружуваною арматурою при довжині палі:	
	До 8000 включно	±25
	8000…16000 включно	±30
	" 16000	±40
	Те ж саме, паль із напруженою арматурою	±50
	Розмір (зовнішній діаметр) поперечного перерізу палі:	
	До 250 включно	+15; -6
	250…500	+20; -8
	" 500 " 1000	+25; -10
	" 1000 " 1600	+30; -12
	" 1600 " 2500	+40; -15
	" 2500	+50; -16
	Товщина стінки палі типів СП, СК та СО:	
	До 120 включно	+10; -5
	120…250	+25; -6
	Довжина вістря чи наконечника	±30
	Відстань від центру вістря чи наконечника до бічний поверхні палі	15
	Відстань від центру підйомної (монтажної) петлі, штиря, втулки та позначки для стропування до кінців палі	50
Відхилення від прямолінійності профілю бічних граней призматичної частини стовбура (напрямних циліндричної поверхні) палі на всій довжині:		

Продовження таблиці 1.3

	До 8000 включно	±25
	8000…16000	±30
	" 16000	±40
Відхилення від перпендикулярності торцевої площини:		
	у голові палі та палі-оболонки	0,015 розміру поперечного перерізу палі
	у зоні стику складової палі суцільного квадратного перерізу	0,01 розміру поперечного перерізу палі
	у зоні стику складової палі-оболонки	0,005 розміру поперечного перерізу палі

Приймання паль - за ДСТУ Б В.2.6-2:2009 та ДСТУ Б В.2.6-65:2008. При цьому палі приймають:

- за результатами періодичних випробувань - за показниками тріщиностійкості паль, морозостійкості та водонепроникності бетону;

- за результатами приймальних випробувань - за показниками міцності бетону (класу бетону за міцністю на стиск, передавальної та відпускної міцності), відповідності арматурних та заставних виробів робочим кресленням, міцності зварних з'єднань, точності геометричних параметрів, товщини захисного шару бетону до арматури, ширини розкриття технологічних тріщин, категорії бетонної поверхні.

Періодичні випробування паль для контролю їх тріщиностійкості проводять перед початком масового виготовлення паль і надалі при внесенні до них конструктивних змін та змін технології виготовлення відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.6-2:2009.

У процесі серійного виробництва паль випробування на тріщиностійкість проводять не рідше одного разу на рік.

Палі за показниками точності геометричних параметрів, товщини захисного шару бетону до арматури, категорії бетонної поверхні та ширини розкриття технологічних тріщин слід приймати за результатами вибіркового контролю.

У документі про якість паль згідно з ДСТУ Б В.2.6-2:2009 додатково повинні бути наведені марки бетону за морозостійкістю та водонепроникністю (якщо ці показники обумовлені у замовленні на виготовлення паль).

Методи контролю

Випробування паль на тріщиностійкість слід проводити навантаженням за ДСТУ Б В.2.6-7-95 або без навантаження (при впливі лише власної ваги палі) за схемами, встановленими стандартами або робочими кресленнями на палі конкретних типів. Число паль одного типу, що відбираються для випробувань на тріщиностійкість, має бути не менше двох.

Міцність бетону палі визначають за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 на серії зразків, виготовлених з бетонної суміші робочого складу, що зберігалися в умовах, встановлених ДСТУ Б В.2.7-224:2009.

При випробуванні паль методами неруйнівного контролю фактичну, передавальну та відпускну міцність бетону на стиск слід визначати ультразвуковим методом згідно з ДСТУ Б В.2.7-226:2009 або приладами механічної дії згідно з ДСТУ Б В.2.7-220:2009, а також іншими методами, передбаченими на методи випробувань бетону.

Морозостійкість паль слід контролювати за ДСТУ Б В.2.7-47-96 або ультразвуковим методом за ДСТУ Б В.2.7-43-96 на серії зразків, виготовлених з бетонної суміші робочого складу.

Водонепроникність бетону паль визначають за ДСТУ ГОСТ 24155:2018 та ДСТУ Б В.2.7-170:2008.

Контроль зварних арматурних та заставних виробів - за ДСТУ Б В.2.6-168:2011. Силу натягу арматури, контрольовану після закінчення натягу, вимірюють за ДСТУ Б В.2.6-124:2010.

Розміри, відхилення від прямолінійності бічних граней та від перпендикулярності торцевих граней паль, ширину розкриття поверхневих технологічних тріщин, розміри раковин, напливів та сколів бетону паль слід перевіряти методами, встановленими ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009.

Положення вістря (або наконечника) палі щодо центру її поперечного

перерізу перевіряють виміром відстані між віссю вістря (наконечника) і двома сталевими пластинами або косинцями, закріпленими струбцинами в нижній прямокутній частині палі, або за допомогою спеціального кондуктора.

Розміри та положення арматурних та заставних виробів, а також товщину захисного шару бетону слід визначати за ДСТУ Б В.2.6-4-95.

Товщину захисного шару бетону слід перевіряти по верхній і двох бокових гранях палі на двох ділянках, розташованих між підйомними петлями на відстані не менше 100 мм від петлі вздовж осі палі, а для паль з ненапруженою арматурою і в торці палі - в місцях розташування поздовжніх.

Транспортування та зберігання забивних залізобетонних паль необхідно виконувати відповідно до ДСТУ Б В.2.6-2:2009 та ДСТУ Б В.2.6-65:2008.

Палі слід зберігати у штабелях горизонтальними рядами з однаковою орієнтацією торців паль. Між горизонтальними рядами паль (при складуванні та транспортуванні) повинні бути укладені прокладки, розташовані поряд з підйомними петлями, або у разі відсутності петель у місцях, передбачених для захоплення паль під час їх транспортування. При складуванні порожнистих круглих паль і паль-оболонок на кінцях прокладок повинні бути укріплені бруси, що перешкоджають скоченню паль. Висота штабеля паль не повинна перевищувати ширину штабеля більш ніж удвічі і не повинна бути більшою за:

- 2,5 м – для паль квадратного перерізу;
- 4 рядів - для порожнистих круглих паль діаметром 400 - 600 мм;
- 2 - для порожнистих круглих паль діаметром 800 мм і паль-оболонок.

Навантаження та розвантаження паль квадратного перерізу слід проводити за підйомні петлі. Підйом паль квадратного перерізу на копер слід проводити стропом, закріпленим за палю у фіксуючого штиря або у верхній підйомній петлі, якщо це допускається вимогами робочих креслень на палі конкретного типу, при цьому стропування безпосередньо за підйомну петлю або штир забороняється.

Навантаження, розвантаження та підйом порожнистих паль круглого перерізу і паль-оболонок на копер слід проводити захопленнями в місцях,

відмічених фарбою відповідно до схем, наведених у робочих кресленнях на палі конкретного типу.

При спланованій поверхні будівельного майданчика допускається переміщення палі до копру на відстань трохи більше 6 м.

1.4 Область застосування паль

Область застосування паль залежно від конструкції надфундаментної частини будівлі або споруди та ґрунтових умов майданчика будівництва наведена у таблиці 1.4, у районах вічномерзлих ґрунтів – у таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Область застосування паль залежно від конструкції надфундаментної частини будівлі ґрунтових умов майданчика будівництва

Характеристика та тип палі	Область застосування паль		
	за конструкцією надфундаментної частини	за ґрунтовими умовами	
		Ґрунти, що прорізають палями	Ґрунти під нижніми кінцями паль
Забивна цільна типу С Забивна цільна та складова типу СК або СО	Для будівель або споруд	Нескельні наступних підгруп: піщані, пилувато-глинисті, біогенні, насипні, намивні	Селі Нескельні наступних підгруп: крупноуламкові, піщані, пилувато-глинисті (крім мулів)
Забивна складова типу С Забивна типу СП	Для будівель або споруд (крім гідротехнічних)	Піски дрібні та пилуваті, пухкі та середньої щільності; супіски пластичні та текучі; суглинки та глини від тугопластичних до плинних; мули; біогенні ґрунти Допускається для цілісних і нижніх секцій складових паль прорізання	Нескельні наступних підгруп: піщані, пилувато-глинисті (крім мулів) Допускається спирання на скельні ґрунти: аргіліти або алевроліти.

Продовження таблиці 1.4

		прошарків щільних піщаних і твердих пилувато-глинистих ґрунтів товщиною не більше 0,5 м.	
Забивна типу СЦ	Для будівель або споруд у фундаментах яких: палі занурені на всю глибину в ґрунт; палі виступають над поверхнею ґрунту на висоту не більше 2 м та розташовані всередині приміщення з позитивною розрахунковою температурою повітря; на палі не передаються зусилля, що розтягують	Піски середньої крупності, дрібні і пилуваті, пухкі і середньої щільності; супіски пластичні та плинні; суглинки та глини від тугопластичних до плинних; мули; біогенні ґрунти	Нескельні наступних підгруп: піщані, пилувато-глинисті (крім мулів)
Забивна типу ЦД	В якості колон сільськогосподарських будівель висотою до 6 м, прольотом до 21 м	Піски середньої крупності, дрібні та пилуваті середньої щільності; супіски пластичні; суглинки та глини від напівтвердих до м'якопластичних	

Таблиця 1.5 - Область застосування паль у районах водонасичених ґрунтів

Характеристика і тип палі	Область застосування паль			
	за принципом використання вічномерзлих ґрунтів як основ	За способом занурення в ґрунт	за ґрунтовими умовами	
			Ґрунти, що прорізають палями	Ґрунти під нижніми кінцями паль
Забивна типу С з ненапружуваною арматурою	Принцип II З припущенням відтавання вічномерзлих ґрунтів у процесі експлуатації будівлі або споруди	Забивної в попередньо відтаяні зони ґрунту	Нескельні наступних підгруп: пилувато-глинисті, піщані, біогенні, насипні, намивальні	Нескельні наступних підгруп: крупноуламкові, піщані, пилувато-глинисті (крім мулів)
Опускна типу С з ненапружуваною арматурою	Принцип I З збереженням вічномерзлих ґрунтів	З відтаванням ґрунту: діаметр зони	Нескельні наступних підгруп: твердомерзлі	

Продовження таблиці 1.5

	протягом усього заданого періоду експлуатації будівлі або споруди	відтавання повинен бути не більше 2b, де b - розмір найбільшої сторони поперечного перерізу палі	дрібні та пилуваті піски, що містять великоуламкові включення не більше 15% (за масою) при середній температурі ґрунтів за довжиною палі нижче мінус 1,5°С; твердомерзлі пилувато-глинисті ґрунти при середній температурі ґрунтів за довжиною палі від мінус 1,5°С і нижче	
Буро-опускна типу С	Принцип І Зі збереженням вічномерзлих ґрунтів протягом всього заданого періоду експлуатації будівлі або споруди	Опусканням у заздалегідь пробурену свердловину, діаметр якої не менше ніж на 50 мм більше діагоналі перерізу палі, із заповненням свердловини ґрунтовим розчином	Нескельні групи наступних підгруп: крупноуламкові та піщані, твердомерзлі при середній температурі ґрунту за довжиною палі мінус 0,5°С і нижче та сумарної вологості: 40% 100% пилувато-глинисті, пластичномерзлі при середній температурі ґрунту за довжиною палі мінус 0,5°С і нижче	

Порожнисті круглі палі та палі-оболонки слід застосовувати переважно за наявності слабких ґрунтів великої потужності, при необхідності передачі на палі великих горизонтальних та вертикальних зусиль, а також як однопальні фундаменти під колони. Складові порожнисті круглі палі та палі-оболонки слід застосовувати у випадках, коли необхідна довжина порожнистих круглих паль та паль-оболонок більше 12 м. Для їх складання слід використовувати секції таких довжин, при яких виходить мінімальна кількість стиків. Складові палі суцільного квадратного перерізу повинні складатися із двох елементів.

Стики складових паль та паль-оболонок повинні забезпечувати передачу зусиль, що виникають при зануренні паль у період будівництва та експлуатації.

Область застосування паль по сейсмічності будівельного майданчика не обмежується, крім паль квадратного перерізу складових, без поперечного армування стовбура та з круглою порожниною, які допускається застосовувати для будівництва на майданчиках із сейсмічності до 6 балів включно.

2 ВЛАШТУВАННЯ ЗАБИВНИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ

В даний час на будовах масове застосування (більше 90 % від загального обсягу паль, що застосовуються) отримали головним чином забивні залізобетонні палі квадратного перерізу 0,2х0,2...0,4х0,4м довжиною до 20 м.

2.1 Загальні положення

Вибір обладнання для занурення пальових елементів довжиною до 25 м слід проводити відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013, виходячи з необхідності забезпечення передбачених проектом фундаменту несучої здатності та заглиблення в ґрунт паль та паль -оболонок на задані проектні позначки, а шпунта - заглиблення в ґрунт. Вибір обладнання для забивання паль завдовжки понад 25 м виконується з використанням програм, що ґрунтуються на хвильовій теорії удару.

Додаткові заходи, що полегшують занурення паль і шпунта (підмив, лідерні свердловини та ін.), слід застосовувати за погодженням з проектною організацією при відмові елементів, що забиваються менше 0,2 см. Застосування підмиву для полегшення занурення паль допускається на ділянках, віддалених не менш ніж на 20 м від існуючих будівель і споруд, і не менше подвоєної глибини занурення паль. Наприкінці занурення підмив слід припинити, після чого палю необхідно довантажити молотом до отримання розрахункової відмови без застосування підмиву.

Не допускається занурення паль перетином до 40х40 см на відстані менше 5 м, шпунта - 1 м і порожнистих круглих паль діаметром до 0,6 м…10 м до сталевих підземних трубопроводів з внутрішнім тиском не більше 2 МПа. Занурення паль і шпунта біля підземних трубопроводів із внутрішнім тиском

понад 2 МПа або на менших відстанях можна проводити тільки з урахуванням даних обстеження та за відповідного обґрунтування у проекті.

При застосуванні для занурення паль і шпунту молотів, поблизу існуючих будівель та споруд, необхідно оцінити небезпеку, для них динамічних впливів виходячи з впливу коливань на деформації ґрунтів основ, технологічні прилади та обладнання, а також допустимість рівня коливань за санітарними нормами.

Оцінку впливу динамічних впливів на деформації основ, складених горизонтальними, витриманими по товщині шарами (допускається ухил не більше 0,2) піску, крім водонасичених дрібних і пилуватих, можна не проводити при забиванні паль молотами масою до 7 т на відстані понад 15 м, і шпунта - 10 м до будівель та споруд.

У разі необхідності занурення паль і шпунта на менших відстанях до будівель і споруд повинні бути прийняті світи щодо зменшення рівня і безперервної тривалості динамічних впливів (занурення паль у лідерні свердловини, зниження висоти підйому молота, забивання найближчих і більш віддалених паль.) та проводитися геодезичні спостереження за опадами будівель та споруд.

Палі довжиною до 10 м, недонавантажені більш ніж на 15 % проектної глибини, та палі більшої довжини, недонавантажені більш ніж на 10 % проектної глибини, а для мостів і транспортних гідротехнічних споруд також палі, недонавантажені більш ніж на 25 см до проектного рівня, при їх довжині до 10 м і недонавантажені понад 50 см при довжині паль більше 10 м, але які дали відмову рівну або менш розрахункову, повинні бути піддані обстеженню для з’ясування причин, що ускладнюють занурення, і прийнято рішення про можливість використання наявних паль або занурень додаткових.

2.2 Забивання залізобетонних паль

Роботи з занурення пальових елементів у межах акваторії допускається проводити при хвилюванні не більше одного балу, якщо застосовують плавучі крани та копри водотоннажністю до 500 т, і не більше 2 балів - при більшій водотоннажності, а самопідйомні платформи - при хвилюванні не більше 4 балів.

Секції пальових елементів, що використовуються для нарощування занурюваних паль або паль-оболонок, підлягають контрольному стикуванню на будівельному майданчику для перевірки їх співвісності та відповідності проекту заставних деталей стиків (у межах встановлених допусків) і повинні бути замарковані та розмічені незмивною фарбою для правильного їх) на місці занурення.

На початку виконання робіт із забивання паль слід забивати 5…20 пробних паль (число встановлюється проектом), розташованих у різних точках будівельного майданчика з реєстрацією числа ударів на кожен метр занурення. Підрахунок загальної кількості ударів на занурення інших паль немає. Однак для паль довжиною понад 25 м додатково повинна проводитись реєстрація числа ударів на кожен метр на останніх трьох метрах занурення. Результати вимірювань мають фіксуватися у журналі робіт.

Наприкінці занурення, коли фактичне значення відмови близько до розрахункового, роблять його вимір. Відмову паль в кінці забивання або при добиванні слід вимірювати з точністю до 0,1 см. При забиванні паль пароповітряними одиночної дії або дизельними молотами останню заставу слід приймати рівним 30 ударам, а відмову визначати як середнє значення із 10 останніх ударів у заставі. При забиванні паль молотами подвійної дії тривалість останньої застави повинна прийматись рівною 3 хв, а відмову слід визначати як середнє значення глибини занурення палі від одного удару протягом останньої хвилини у заставі.

Палі з відмовою більше розрахункового повинні піддаватися контрольному добиванню після «відпочинку» їх у ґрунті відповідно до ДСТУ Б В.2.1-1-95 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод польових випробувань палями». У тому випадку, якщо відмова при контрольному добиванні перевищує розрахункову, проектна організація повинна встановити необхідність контрольних випробувань паль статичним навантаженням та коригування проекту пальового фундаменту або його частини.

Палі заводського виготовлення занурюють у ґрунт додатком зовнішнього вертикального або похилого навантаження (забивні палі) або у поєднанні її з парою сил, що діють у перпендикулярній площині (гвинтові палі). Цими силами долаються сили опору ґрунту зануренню в нього палі. Залежно від структури, гранулометричного складу, вологості, параметрів внутрішнього та зовнішнього тертя та інших властивостей, ґрунти надають різні опори зануренню паль. Найбільш податливі глинисті та супіщані ґрунти текучої та текучепластичної консистенції.

Для інтенсифікації процесу занурення забивних паль реалізуються два основних напрями: створення технічних засобів, за допомогою яких можна забезпечити необхідні для занурення паль навантаження при зменшеній масі обладнання, і засобів, що змінюють силову взаємодію палі з ґрунтом по поверхнях, що розділяють їх, і зменшує тим самим опір ґрунту зануренню палі, що, зрештою, призводить до зниження необхідних зовнішніх навантажень, а, отже, і меншої маси устаткування. В основному застосовують пальобійне обладнання - пальові молоти, які передають свої ударне навантаження. Додатково до навантаження, що вдавлює, яке передається у вигляді сил гравітації - власних і взаємодіючих з нею робочих органів, пали передається частина кінетичної енергії падаючого на неї ударного робочого органу. Ударний метод занурення паль широко застосовують у будівництві, практично в будь-яких ґрунтових умовах, крім скельних.

Перед улаштуванням ростверків — конструкцій, що об'єднують палі та службовців для передачі навантаження від надземної частини будівлі на палі

та ґрунтову основу,— голови занурених у ґрунт паль вирівнюють на проектній позначці, зрубуючи їх пневматичними молотками та газовою різкою або зрізаючи спеціальними пристроями.

2.3 Машини та обладнання для занурення забивних паль

Трубчасті дизель-молоти з ударним розпилюванням палива і з вільним падінням ударної частини широко застосовуються в Україні і за кордоном для завивки в ґрунт різних пальових елементів. Молоти цього забезпечують сукупний вплив на палю удару і зусилля від вибуху палива в камері згоряння, що суттєво збільшує ефективність палебійних робіт.

Яскраво виражена тенденція до підвищення продуктивності та ефективності всіх видів будівельних робіт відображається і на вимогах до самобійних молотів. Однак можливості подальшого підвищення ефективності молота шляхом збільшення енергії удару для молота з регламентованою масою ударної частини практично вичерпані. Подальше підвищення енергії удару можливе шляхом збільшення швидкості ударної частини в момент удару (що обмежується міцністю палі, що забивається) або шляхом збільшення висоти підскоку ударної частини (що призводить до зниження частоти ударів). Ці граничні умови й зумовлюють основний напрямок підвищення ефективності палебійних робіт - підвищення одиничної потужності палебійного молота. Поодинока потужність дизель-молота може бути підвищена двома способами - збільшенням маси ударної частини та підвищенням частоти ударів.

Збільшення маси ударної частини дизель-молота до 7500 і 15000 кг дозволяє забивати в ґрунт важкі та надважкі палі-оболонки, що замінюють собою десятки паль середніх типорозмірів, що дозволяє досягти суттєвої економії матеріалу, часу та зниження трудовитрат.

Разом з тим, у ряді випадків найбільш раціонально застосовувати легкі та середні палі; при цих видах палебійних робіт підвищення продуктивності забезпечується застосуванням швидкохідних дизель-молотів зі збільшеною частотою ударів. Для подальшого підвищення ефективності вдосконалюється процес згоряння в двигуні дизель-молота, підвищується довговічність молота, покращуються умови експлуатації (застосовуються спеціальні наголовники та пристрої для безкопрового забивання).

Палебійні дизель-молоти є енергетично автономними машинами і практично витіснили з будмайданчиків інші палебійні засоби, що вимагають підведення енергії. Останнім часом широко використовуються гідравлічні екскаватори як базова машина для навішування копрового обладнання. В цьому випадку найбільш раціонально застосування гідравлічного молота простої або подвійної дії з приводом від двигуна копрової установки. Така гідрофікована копрова установка також енергетично автономна.

Палі заводського виготовлення занурюють у ґрунт за допомогою копрів, що переміщаються по пальовому полю на власному, зазвичай рейковому, ходу. Копри служать для підіймання та встановлення паль перед зануренням у потрібній точці пальового поля та забезпечення їх направлення при зануренні разом із занурювачем (рис.2.1).

Залежно від прийнятої технології робіт, копер комплектують пальовими молотами, віброзанурювачами або вібромолотами. Базова частина копра - нижня рама, ходові пристрої, поворотна платформа з опорно-поворотним пристроєм, а також вантажопідйомні механізми за своїм пристроєм та принципом роботи схожі з аналогічними вузлами самохідних кранів.

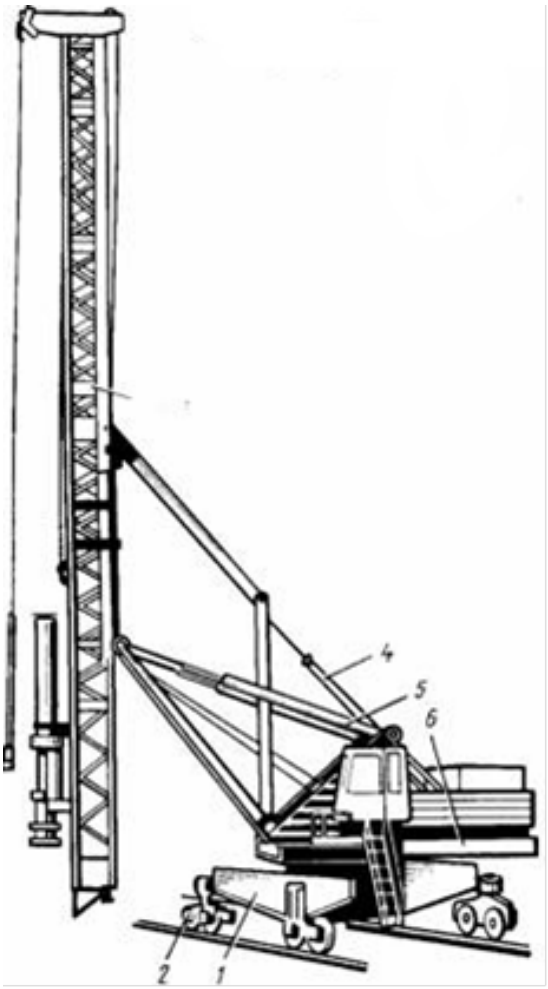


Рисунок 2.1 – Універсальний копер на рейковому ході:

1 та 2- нижня рама з ходовими візками; 3 - щогли; 4 та 5 - механізми для зміни орієнтації та щогли щодо платформи; 6 - поворотної платформи

Робочий процес копра складається з його пересування до місця встановлення палі, її стропування, підтягування, установки на точку занурення за попередньо виконаною розміткою, вивіркою правильності її положення, закріплення на паля наголовника, що оберігає її від руйнування при ударному зануренні, встановлення на палю занурювача, розстропування палі, її занурення з наступною вивіркою напряму, підйом навантажувача та зняття з зануреної палі наголовника. Для пересування копра використовують власне ходове обладнання. Якщо розміри і конфігурація пальового поля такі, що з однієї установки рейкового шляху не можна занурити в ґрунт усі палі, то для роботи використовують кілька копрів, що працюють кожен на своєму

рейковому шляху, або перекладають рейковий шлях після виконання робіт з попередньої його установки. Після, переміщення копра його надійно стопорять гальмами стоянками або іншими пристроями.

Для виконання всіх вантажопідйомних операцій використовують одну двобарабанну або дві однобарабанні лебідки окремо для підйому палі та занурювача. Для правильної установки палі та її фіксування у необхідному початковому положенні щоглу обладнають упорами, іноді за хватами у її нижній частині. Для наведення палі на потрібну точку пальового поля потрібно два ступені свободи щогли. Зазвичай це досягається поворотом платформи та зміною вильоту щогли. Ще один ступінь свободи потрібний для коригування напряму подальшого руху палі в процесі занурення.

У представленій на малюнку паралелограмною схемою підвіски щогли до поворотної платформи виліт щогли змінюється гідроциліндрами 5, а її нахил - гідроциліндром 4. Копри, у яких щогли мають описані вище три ступені свободи, називають універсальними. За відсутності одного з цих ступенів свободи копер називають напівуніверсальним, а за наявності лише поворотного в плані руху — простим. Робочий цикл простих копров порівняно з універсальними та напівуніверсальними більш тривалий за рахунок збільшення витрат часу на допоміжні операції, які в середньому складають більше половини тривалості всього робочого циклу. У будівництві застосовують також копри на гусеничному ходу, виготовлені на базі одноковшових екскаваторів (рис. 2.2).

Для роботи в особливих умовах окремі вузли копро можуть бути істотно змінені. Так, для роботи в котлованах великої протяжності застосовують спеціальні мостові копри у вигляді сталевої ферми, що пересувається на візках рейками, покладеними на протилежних брівках котловану. Поворотна платформа в цьому випадку замінюється візком, що переміщається вздовж мостової ферми візком.

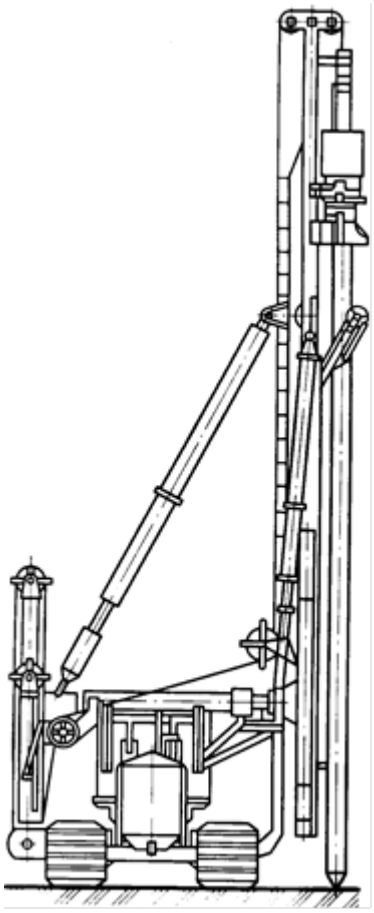


Рисунок 2.2 – Копер на гусеничному ходу на базі одноковшового екскаватора.

У промисловому та цивільному будівництві широко застосовують копрове обладнання, що навішується на різні базові машини (трактори, автомобільні крани, одноковшові екскаватори). Вітчизняна промисловість випускає копрове обладнання для роботи зі палями завдовжки 3...12 м. Копрове обладнання на базі тракторів класу 100 кН автономне з енергозабезпечення, маневрене на будівельному майданчику, надійне в експлуатації. Його недоліком є великі витрати часу на маневрові рухи трактора при встановленні палі в задану точку пальового поля. Щоглу розташовують збоку (бічна навішування), ззаду або спереду трактора (фронтальна навішування). Порівняно з фронтальною бічною навішуванням покращує оглядовість робочого майданчика, дозволяє підвищити продуктивність обладнання, виключивши в деяких випадках, особливо при лінійному однорядному розташуванні паль, непродуктивні маневрові рухи машини при

переходах до нового робочого місця.

Фірма Delmag (Німеччина), що випускала до останнього часу три моделі трубчастих дизель-молотів з ударним розпилюванням палива D-5, D-12, D-22 з ударною частиною масою відповідно 500, 1250, 2200 кг, доповнила номенклатуру дизель-молотами моделей D-30, D-36, D-44, D-55 з ударною частиною 3000, 3600, 4900 та 5400 кг. Ці молоти мають суттєві конструктивні відмінності від раніше випущених.

Робочий циліндр дизель-молотів виконаний литим і має горизонтальні кругові ребра охолодження, відлиті за одне ціле з корпусом робочого циліндра, що знижує трудовитрати при виготовленні та покращує охолодження. У нижній та верхній частинах циліндра є виступи для кріплення до металоконструкцій (для безкопрової бойки). Паливний і мастильний баки винесені на напрямну трубу, що ускладнює заправку в процесі експлуатації, але знижує нагрів палива. Ці конструктивні особливості роблять роботу молота більш стабільною, особливо при високій температурі навколишнього повітря та при тривалій безперервній роботі. Молот оснащений добре регульованим паливним насосом до мастильним насосом, що подає масло в зону шаботних компресійних кілець і в робочий циліндр. Наголовник має широкі захвати, що рухомо фіксують його щодо направляючих копрової установки.

Дизель-молоти D-44 і D-55 мають високу енергію удару і використовуються переважно для забиття важких паль-оболонок. Наприклад, молот D-44 використовувався для забиття сталевої труби діаметром 2800 мм, довжиною 36 м і масою 64 т. За десять ударів наприкінці процесу занурення сумарна величина опади палі-оболонки становила 4 мм, в той час як при використанні в тих же умовах пароповітряного молота з ударною частиною масою 6000 кг сумарна величина опади була лише 0,4 мм (Табл. 2.1).

Дизель-молот D-55 використовується для забивання сталевих паль-оболонок діаметром до 3300 мм, довжиною 42 м та масою 120 т при зведенні портових споруд.

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика трубчастих дизель-молотів фірми Delmag з ударним розпорошенням палива

Найменування показників	U-30	D-36	D-li	D-55
Маса ударної частини, кг	3000	3600	4300	5400
Найбільша потенційна енергія ударної частини, кгс-м	7500	10200	12000	16200
Частота ударів, удар/лшм.	39-60	37-53	37-56	36-47
Висота молота, мм	4320	4563	4830	5410
Ширина захватів, мм	-	720	720	720
Місткість паливного бака, л	38,5	83	88	88
Витрата палива, л/год	11	14	17	21
Місткість масляного бака, л	7	17	18	18
Витрата олії, л/год	1,5	1,3	3	3
Найбільше зусилля, що передається на палю від спалаху палива (при Р = 91 кгс/см^2), кгс	100 000	180 000	200 000	250 000
Найбільший нахил палі, що забивається, град	45	45	45	45
Маса молота (суха) з кішкою, без наголовника, кг	5600	7596	10200	11956

Крім того, важкі дизель-молоти використовуються для забивання сталевих труб меншого діаметру (508 і 724 мм, маса 5000 кг) в щільні ґрунти та під нахилом.

Фірма Delmag випускає дизель-молот із пристроєм для безкопрової бойки для забивання залізобетонних паль-оболонок та сталевих труб великого діаметру. Молот складається з наголовника, що закріплюється на паля-оболонці, і корпусу, що фіксує молот щодо наголовника і палі-оболонки. На корпусі передбачені напрямні для кішки, що використовується для встановлення молота та палі на точку забивки та для запуску молота. Корпус пристрою має проріз для обслуговування молота і доступу повітря до ребрів охолодження робочого циліндра.

Фірма British Steel Piling(Англія), що виробляла до останнього часу три моделі дизельних молотів DE-20, DE-30, DE-40 (з ударною частиною масою відповідно 907, 1814, 2270 кг) з вільним падінням ударної частини та ударним розпорошенням палива, розширила свою програму випуском двох нових моделей DE-30B та DE-50B. Нові моделі дизель-молотів відрізняються технологічністю виготовлення, мають пристрої для закріплення безпосередньо на шпунті, що дозволяє використовувати їх при безкопровій бойці. Нова конструкція шабота (з п'ятою, що відповідає профілю шпунта, що забивається) виключає необхідність застосування наголовника (Табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика трубчастих дизель-молотів моделей DE-30B та DE-50B з ударним розпилюванням палива фірми British Steel Piling (Англія)

Найменування характеристик	ДЕ-30В	ДЕ-50В
Маса ударної частини, кг	1960	2260
Потенційна енергія ударної частини, кгс-м	3731	6219
Частота ударів, удар/хв	47	47
Висота молота, мм	4300	4370
Місткість паливного бака, л	70,5	92
Витрата палива, л	7,7	12,2
Місткість масляного бака, л	25	29
Маса молота (суха) з кішкою, без наголовника, кг	3457	4685

Для підвищення продуктивності палебійних робіт фірма BSP створила швидкохідні дизель-молоти DA-35A, B-15, B-45 з підвищеною частотою ударів.

Дизель-молот моделі DA-35A працює за принципом ударного розпилювання палива, і конструктивно не відрізняється від дизель-молотів моделей ДЕ-20, ДЕ-30 з вільним падінням ударної частини. Робочий циліндр молота сильно проребрений в нижній частині. У верхній частині встановлений

пневматичний буфер, що акумулює роботу розширення, що дозволило знизити висоту підскоку ударної частини та скоротити цикл. Компенсація втрати енергії удару від зниження висоти підскоку ударної частини досягається впливом на ударну частину (при її ході вниз) повітря, стиснутого в буфері пневматичного молота (при ході поршня вгору). На робочому циліндрі укріплені паливні баки та напрямні для кішки, в зоні яких знаходиться поздовжній проріз циліндра, через яку відбувається зачеплення кішки з ударною частиною. Молот має пристрої для з'єднання зі шпунтом та може працювати без копрової установки. Цей молот може бути використаний і при забиванні залізобетонних паль.

Крім того, фірма BSP випускає нові своєрідні швидкохідні дизель-молоти двох моделей В-15 і В-45 з пневмо-вакуумним буфером. Дизель-молот моделі В-15 (рис. 2.3) складається з робочого циліндра і з'єднаної з ним напрямної труби більшого діаметра, що утворюють ступінчастий корпус. Усередині корпусу встановлені шабот і поршень з циліндричними заглибленнями на торцях, що утворюють при зіткненні сфер поршня та камеру згоряння. На робочому циліндрі є вихлопні патрубки.

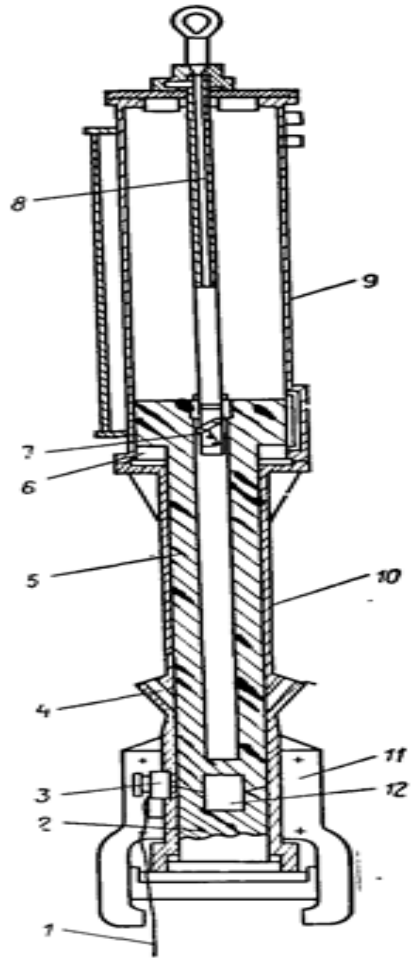


Рисунок 2.3 - Принципова схема швидкохідного дизель-молота з пневмовакуумним буфером фірми British Steel Piling (Англія):

1 - канат управління паливним насосом; 2 - шабот, 3 - паливний насос високого тиску; 4 - вихлопний патрубок; 5 - поршень; 6 пневмовакуумний буфер; 7 - важільний механізм підйомного пристрою; 8 - підйомний пристрій; 9 - напрямна труба; 10 - робочий циліндр; 11 - пристрій для кріплення до елемента, що занурюється; 12 - камера згоряння

Таблиця 2.3 - Технічна характеристика швидкохідних дизель-молотів моделей DA-35B, B-15 та B-45 фірми British Steel Piling (Англія)

Найменування показників	DA-35R	B-15	B-45
Маса ударної частини, кг	1270	1500	4500
Потенційна енергія ударної частини	3840	3630	10900
Частота ударів, удар/хв	72	80-100	80-100
Висота молота, мм	5639	4700	5100
Місткість паливного бака, л	-	86	220
Витрата палива, л/год	12,3	9	20
Місткість масляного бака, л	-	22	50
Маса молота (суха), з кішкою, без наголовника, кг	4767	3820	11 000

В зоні камери згоряння змонтований паливний насос високого тиску, що приводиться в дію газами, що стискаються в робочому циліндрі. Підйом молота та його запуск здійснюється за допомогою підйомного пристрою, на нижньому кінці якого розташований важільний механізм, що взаємодіє за мірою необхідності з ударною частиною або з корпусом молота.

Висота підйому ударної частини змінюється шляхом зміни величини подачі палива на один цикл за допомогою троса, з'єднаного з важелем насоса. Молот кріпиться до зануреного пального елементу спеціальним пристроєм, який забезпечує можливість безкопрової бойки і сприйняття реактивного зусилля від пневмовакуумного буфера, що впливає на корпус при підйомі ударної частини.

Дизель-молот працює в такий спосіб. Підйомний пристрій опускається вниз і потрапляє в циліндричний центральний канал поршня. При цьому його важільний механізм входить у взаємодію з ударною частиною. Для запуску підйомний пристрій витягується, а разом з ним піднімається поршень, утворюючи в порожнині пневмовакуумного буфера розрідження. У верхній

мертвій точці поршень скидається ударна частина падає і стискає повітря в робочому циліндрі; в буфері стиску немає, оскільки під час поршня вниз відкриваються клапани, що з'єднують порожнину буфера з атмосферою. Повітря, стиснене в робочому циліндрі, приводить в дію паливний насос молота, який через дві форсунки впорскує паливо в камеру згоряння. В результаті згоряння палива поршень підкидається вгору, а в пневмобуфері виникає розрідження. Після досягнення верхньої мертвої точки поршень починає рухатися вниз. При русі поршня вниз на нього діє сила тяжіння і зусилля, рівне твору площі поршня (в зоні пневмовакуумного буфера) на різницю між атмосферним тиском і тиском (розрідженням) в пневмовакуумному буфері.

Паливна система, що використовується в конструкції дизель-молотів моделей В-15 та В-45, запатентована фірмою Ishika-wajima Harima (Японія).

У п’ятдесятих роках японські фірми були найбільшими виробниками свабійних дизель-молотів. Спочатку дизель-молоти, що випускаються ними, повністю відповідали патентам фірми Delmag (ФРН). Однак особливості експлуатації в країнах зі спекотним кліматом призвели до необхідності використовувати дизель-молоти з водяним випарним охолодженням. З іншого боку, у Японії раніше, ніж у європейських країнах, виникла потреба у створенні надпотужних дизель-молотів для забиття паль-оболонок великого діаметра. Фірмами Японії були створені важкі трубчасті дизель-молоти з ударною частиною масою 6000, 7200 та 15000 кг. При створенні важких дизель-молотів виявилося, що традиційна камера згоряння, що застосовувалася для ударного розпилювання палива, неприйнятна, так як через зростаючу швидкість закінчення палива виникає кавітація, що приводить сфери поршня і шабота до швидкого зносу.

З метою підвищення довговічності сфер поршня та шаботу фірма Kobe Steel розробила дизель-молот з камерою згоряння нового типу (рис. 2.4).

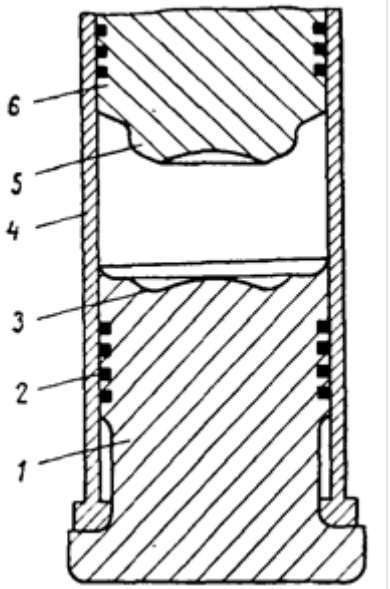


Рисунок 2.4 - Принципова схема трубчастого дизель-молота з ударним розпорошенням палива фірми Kobe Steel (Японія): 1 - шабот: 2 - компресійне кільце; 3 - кільцева западина; 4 - робочий циліндр; 5 - кільцевий виступ; 6 -поршень

Молот складається з шабота з кільцевою западиною, що стикається при ударі з кільцевим виступом поршня. Паливо подається не в центр сфери, як у всіх трубчастих дизель-молотів з ударним розпилюванням палива, а в кільцеву западину. З кільцевої западини паливо викидається в камеру згоряння, що утворюється при ударі стінками робочого циліндра, виступами поршня та шабота. У камері згоряння паливо самозаймається і згоряє, підкидаючи поршень на розрахункову висоту.

У зв’язку з тим, що закінчення палива починається немає від центру, та якщо з кільцевої западини, довжина сферичного каналу скорочується, відповідно скорочується і швидкість закінчення палива, оскільки час дії удару не змінюється. Імовірність виникнення кавітаційних раковин на сферичних поверхнях поршня і шабота знижується.

Недоліком даної конструкції є необхідність високої точності виготовлення кільцевого сферичного поглинання в шаботі і виступу на поршні для забезпечення контакту при зіткненні шабота і поршня по всій поверхні.

Іншим істотним недоліком є неможливість рівномірного розпорошення палива по всьому об’єму камери згоряння, оскільки паливо подається насосом в одну точку сферичного заглиблення на торці шабота і не встигає до удару рівномірно розтікатися по всьому кільцю. Тому в зоні камери згоряння, близької до місця подачі палива, суміш палива з повітрям буде перезбагачена, а в протилежній зоні збіднена. Ще більше збільшується нерівномірність розподілу палива за обсягом камери згоряння при забиванні похилих паль. Усе

це призводить до зниження середнього ефективного тиску і, отже, висоти підскоку ударної частини (при цьому обсязі робочого циліндра).

В даний час трубчасті дизель-молоти фірми Kobe Steel випускаються з камерою згоряння описаної конструкції. Фірма Ishika-wajima Harima створила нову паливну систему, що поєднує переваги ударного та форсункового розпилювання (рис. 2.5).

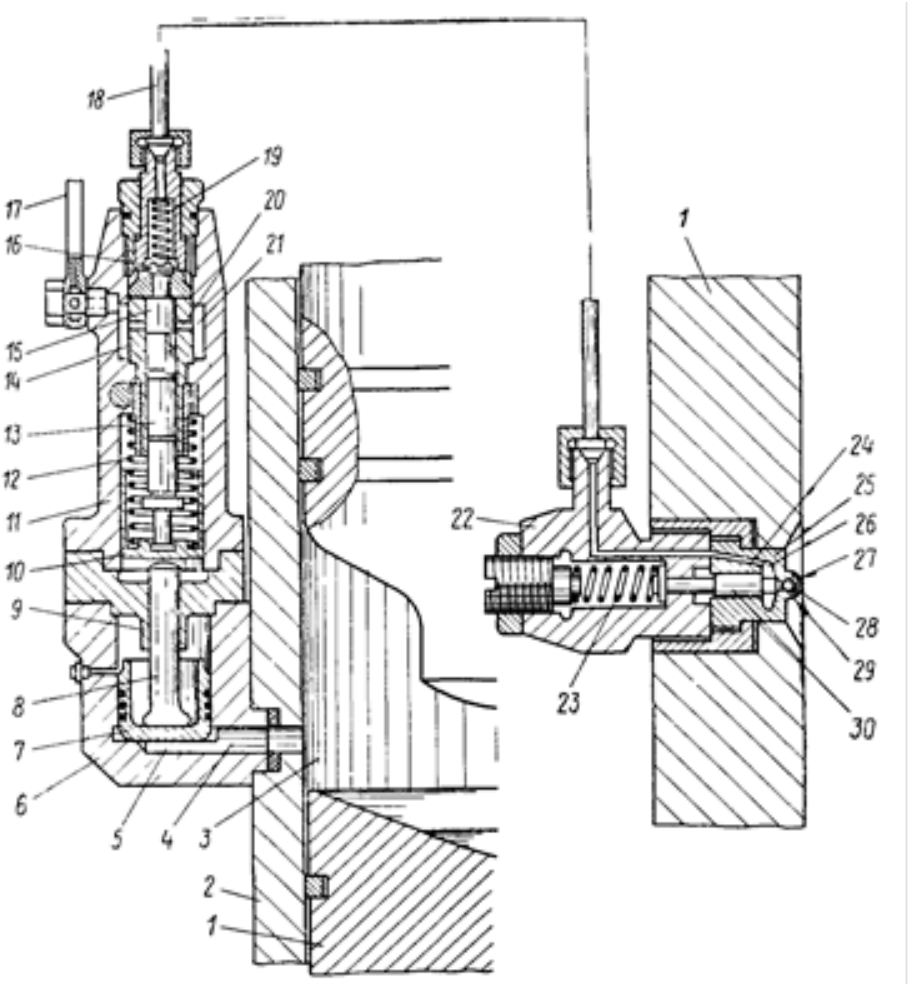


Рисунок 2.5 – Принципова схема дизель-молота фірми Ishikawjima Harima (Японія): 1 - шабот 2 - робочий циліндр; 3 - ударна частина; 4 - паливний насос; 5, 24 - канал; 6 - нижня частина корпусу насоса; 7 - поршень; 8 - штовхач, 9 - середня частина кориму корпусу паливного насоса; 10 - рухлива втулка; 11 - верхня частина корпусу паливного насоса, 12, 23 - пружина; 13 - плунжер; 14 - втулка; 15 - підплунжерна порожнина; 16 – клапан; 17 - паливопровід; 18 - напірний паливопровід; 19 - пружина, 20 - отвори, 21, 26, 27 - порожнина; 22 - корпус форсунки; 25 - наконечник; 26 - соплове отвір; 29 - конічна частина голки; 30 - голка

На стінці робочого циліндра 2 в зоні камери згоряння, утвореної поршнем 3 і шаботом 1, укріплений паливний насос 4, внутрішня порожнина якого з'єднана з камерою згоряння каналом 5. У корпусі насоса, що складається з трьох окремих частин 6, 9, 11, з'єднаних між собою в одне ціле, змонтований поршень 7 з компресійними кільцями, що впливає на штовхач 8, встановлений рухомо в середній частині корпусу. Рухлива втулка 10, розташована у верхній частині 11 корпусу з одного боку притискається пружиною 12 до торця штовхача 8, а з іншого - до торця плунжера 13 паливного насоса, сполученого з втулкою 14.

Паливо по паливо дроту 18 подається в порожнину 21, а потім через отвори 20 потрапляє в підплунжерну порожнину 15. Клапан 16, притискається пружиною 19 до сідла наконечника, відсікає напірний трубопровід від підплунжерної порожнини. Напірний трубопровід за допомогою гайки накидної кріпиться до корпусу голчастої форсунки. Форсунка складається з корпусу 22 і наконечника 25. У корпусі встановлена голка 30, притискається до сідла наконечника 25 пружиною 23. Порожнина 26 з'єднана каналом 24 з напірним трубопроводом. Конічна частина голки 29 30 відокремлює порожнину 26 від форсункової порожнини 27 і соплових отворів 28 форсунки.

Молот і його паливна система працюють наступним чином: при ході поршня вниз повітря в робочому циліндрі 2 стискається: стиснене повітря по каналу 5 надходить у внутрішню порожнину насоса і тисне на поршень 7, штовхач 8 і плунжер 13. В момент, коли зусилля від тиску газу стає більше зусилля пружини 2, плунжер починає рухатися, відкриває клапан 16 і по трубопроводу 18 подає паливо до двох форсунок 22, розташованим у зоні камери згоряння, один проти одного. При цьому паливо каналами 21 і 24 потрапляє в порожнину 26 і, впливаючи на торець голки 30, стискає пружину 23, відкриваючи доступ палива в порожнину 27, звідки воно через сопловий отвір 28 потрапляє в камеру згоряння, де самозаймання . Поршень 3 підкидається продуктами згоряння на розрахункову висоту. При ході поршня 3 вниз продувається робочий циліндр і стискається повітря в робочому

циліндрі. Далі цикл повторюється.

Слід зазначити, що паливо подається тільки в процесі стиснення, так як до початку самозаймання робочий хід плунжера вже вичерпаний і поршень 7 сідає своєю спідницею на середню частину 9 корпусу насоса. Пневмопривод і підбір жорсткості пружини 12 дозволяє забезпечити подачу палива незадовго до удару або навіть у момент удару, як і дизельних молотів з ударним розпилюванням палива. Тому зусилля вибуху впливає на палю, що занурюється, в момент або після ударного імпульсу, збільшуючи ефект занурення.

Дана паливна система забезпечує високі пускові якості дизельних молотів при їх запуску та великому осаді палі. Це пояснюється тим, що подача і самозаймистість палива відбувається і в тому випадку, якщо зіткнення поршня і шабота не відбувається.

До недоліків цієї паливної системи відноситься підвищена складність виготовлення, а також ненадійність роботи через розташування насоса в зоні високих температур.

Інший недолік у порівнянні з ударним розпилюванням палива полягає в тому, що тиск кінця згоряння в цьому випадку буде нижчим, відповідно знизиться і ефективність занурення палі. Це пояснюється тим, що в камеру згоряння при ударному розпилюванні палива подається вся доза палива за час, близький до часу дії удару, а в даному випадку паливо подається протягом значно більшого часу. При цьому раніше подана частина палива починає горіти раніше, що призводить до затягування процесу горіння і, отже, до зниження тиску в кінці згоряння. Проте застосування даної паливної системи покращує пускові якості дизель-молота на слабких ґрунтах, що представляє певний інтерес і для інших фірм. Так, фірма British Steel Piling (Англія) використовує цю систему у своїх швидкохідних дизель-молотах В-15 і В-45.

2.4 Технологія вибору молота для забивання паль

Відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів» вибір молота для забиття паль відбувається так:

Необхідну мінімальну енергію удару молота Eh, кДж слід визначати за формулою

$$E = 0{,}045\ N \qquad (2.1)$$

де N - розрахункове навантаження, що передається на палю, кН.

Прийнятий тип молота з розрахунковою енергією удару Ed ≥ Eh, кДж, має задовольняти умову

$$\frac{m1+\ m2+\ m3}{Ed} \leq К, \qquad (2.2)$$

де К - коефіцієнт застосування молота, значення якого наведені в таблиці 2.4;

m1 - маса молота, т;

m2 - маса палі з наголовником, т;

m3 - маса підбабка, т.

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнта застосування молота

Тип молота	Коефіцієнт К, т/кДж, при матеріалі паль		
	залізобетон	сталь	дерево
Трубчасті дизель-молоти та молоти подвійної дії	0,6	0,55	0,5
Молоти одиночної дії та штангові дизель-молоти	0,5	0,4	0,35
Підвісні молоти	0,3	0,25	0,2

При зануренні паль будь-якого типу з підмивом, а також паль зі сталевих труб з нижнім відкритим кінцем зазначені значення коефіцієнтів збільшуються в 1,5 рази.

При забиванні похилих паль розрахункову енергію удару молота E_h слід визначати з урахуванням підвищуючого коефіцієнта, значення якого приймається для паль з нахилом 5:1; 4:1; 3:1; 2:1 відповідно рівним 1,1; 1,15; 1,25 та 1,4.

Вибраний молот слід перевірити на мінімально допустиму відмову пальового елемента S_{min}, який приймається рівним мінімально допустимою відмовою для даного типу молота, вказаною в його технічному паспорті, але не менше 0,002 м - при забиванні паль. і не менше 0,01 м - при забиванні шпунта. Вибір молота при забиванні паль довжиною понад 25 м або з розрахунковим навантаженням на палю понад 2000 кН проводиться розрахунком, заснованим на хвильовій теорії удару.

Забивання паль до проектних позначок слід виконувати, як правило, без застосування лідерних свердловин та без підмивання шляхом використання відповідного палебійного обладнання. Застосування лідерних свердловин допускається тільки в тих випадках, коли для занурення паль до проектних відміток потрібні молоти з великою масою ударної частини, а також при прорізанні палями ґрунтів.

Значення необхідної енергії удару молота E_h, кДж, що забезпечує занурення паль до проектної позначки без додаткових заходів, слід визначати за формулою:

$$E_h \geq \frac{\sum F_i H_i}{B_t}\left(n + \frac{m_2}{m_4}\right), \tag{2.3}$$

де F_i - несуча здатність палі в межах і-го шару ґрунту, кН;

H_i - товщина і-го шару ґрунту, м;

B - число ударів молота в одиницю часу, ударів 1 хв;

t - час, витрачений на занурення палі (без урахування часу підйомно-транспортних операцій);

B_t - число ударів молота, необхідне занурення палі, прийняте зазвичай рівним трохи більше 500 ударів;

n - параметр, що приймається рівним n = 4,5 - при пароповітряних механічних та штангових дизель-молотах і n = 5,5 - при трубчастих дизель-молотах;

m_2 - маса палі, т;

m_4 - маса ударної частини молота, т.

Значення контрольного залишкового S_a, м, відмови при забиванні та добиванні залізобетонних та дерев'яних паль завдовжки до 25 м залежно від енергії удару E_d обраного молота та несучої здатності палі F_d, зазначеної у проєкті, має задовольняти умові:

$$S_a \le \frac{\eta A E_d}{F_d(F_d + \eta A)} \qquad \frac{m_1 + \varepsilon^2(m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}. \tag{2.4}$$

У формулах (4) та (5) прийняті позначення:

η - коефіцієнт, що приймається за таблицею 2.5 залежно від матеріалу палі, кН/м^2;

А - площа, обмежена зовнішнім контуром суцільного або порожнього поперечного перерізу стовбура палі (незалежно від наявності або відсутності у палі вістря), м^2;

E_d - розрахункова енергія удару молота, кДж, що приймається за таблицею 2.6;

m_1 - маса молота, т;

m_2 - маса палі та наголовника, т;

m_3 - маса підбабка, т;

ε - коефіцієнт відновлення удару, що приймається при забиванні залізобетонних паль і паль-оболонок молотами ударної дії із застосуванням наголовника з дерев'яним вкладишем $\varepsilon^2 = 0,2$;

S_a - фактична залишкова відмова, що дорівнює значенню занурення палі від одного удару молота;

S_{el} - пружна відмова палі (пружні переміщення ґрунту і палі), що

визначається за допомогою відмовоміра, м;

η_p і η_f - коефіцієнти переходу від динамічного (що включає в'язкий опір ґрунту) до статичного опору ґрунту прийняті відповідно рівними: для ґрунту під нижнім кінцем палі $\eta_p = 0{,}00025$ с·м/кН та для ґрунту на бічній поверхні палі $\eta_f = 0{,}025$ с·м/кН;

A_f - площа бічної поверхні палі, що стикається з ґрунтом, м^2;

m_4 - маса ударної частини молота, т;

g - прискорення вільного падіння, яке приймається рівним g = 9,81 м/с^2;

H - фактична висота падіння ударної частини молота, м;

h - висота першого відскоку ударної частини дизель-молота, а інших видів молотів h = 0 м.

При забиванні паль через ґрунт, що підлягає видаленню в результаті подальшої розробки котловану, або через ґрунт для водотоку значення розрахункової відмови слід визначати виходячи з несучої здатності паль, обчисленої з урахуванням невіддаленого або схильного до можливого розмиву ґрунту, а в місцях ймовірного прояву негативних сил тертя - з обліком останнього.

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнта η, кН/м^2 залежно від матеріалу палі

Види паль	Коефіцієнт η, кН/м^2
Залізобетонні з наголовником	1500
Дерев'яні без підбабка	1000
Дерев'яні з підбабком	800

Таблиця 2.6 – Розрахункова енергія удару молота E_d, кДж, залежно від типу молота

Тип молота	Розрахункова енергія удару молота E_d, кДж
Підвісний або одиночної дії	GH
Трубчастий дизель-молот	0,9 GH
Штанговий дизель-молот	0,4 GH

Позначення, прийняті в таблиці 2.6:

G - вага ударної частини молота, кН;

H - фактична висота падіння ударної частини дизель-молота, м.

Розрахункову відмову для залізобетонних паль завдовжки понад 25 м, а також для сталевих трубчатих паль слід визначати розрахунком, заснованим на хвильовій теорії удару.

При виборі молота для забивання шпунта та призначення режиму його роботи з висоти падіння ударної частини необхідно дотримуватись умови

$$\frac{C}{A} \leq K_f K_m, \qquad (5)$$

де G - вага ударної частини молота, МН;

A - площа поперечного перерізу шпунта, м^2;

K_f - безрозмірний коефіцієнт, що приймається за таблицею 2.7 залежно від типу шпунта та розрахункового опору шпунтової сталі за межею плинності;

K_m - коефіцієнт, що приймається залежно від типу молота та висоти падіння його ударної частини за таблицею 2.8.

Таблиця 2.7 - Коефіцієнт K_f при розрахунковому опорі шпунтової сталі, МПа, по межі плинності

Тип сталевого шпунта	Коефіцієнт Kf при розрахунковому опорі шпунтової сталі, МПа за межею плинності					
	210	250	290	330	370	410
Плаский	0,70	0,83	0,96	1,10	1,23	1,36
Зетовий	0,80	0,98	1,16	1,37	1,57	1,78
Коритний	0,90	1,15	1,40	1,70	2,0	2,30

Таблиця 2.8 – Коефіцієнт, який приймається залежно від типу молота та висоти падіння його ударної частини.

Тип молота	Висота падіння ударної частини, м	Коефіцієнт K_m, МПа
Пароповітряний одиночної дії або підвісний	0,4	7,5
	0,8	4,5
	1,2	3,0
Пароповітряний подвійної дії	-	2,0
Дизельний трубчастий	2,0	4,5
	2,5	3,0
	3,0	2,0
Дизельний штанговий	-	5,0

Розрахунковий опір шпунтової сталі за межею плинності приймається згідно зі ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».

Для проміжних значень опорів шпунтової сталі та висот падіння ударної частини значення коефіцієнтів K_f та K_m у таблиці 2.7 та 2.8 визначаються інтерполяцією.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ҐРУНТІВ ПАЛЯМИ З ДИНАМІЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

3.1 Загальні положення

ДСТУ Б В.2.1-1-95 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод польових випробувань палями» встановлює такі методи польових випробувань ґрунтів палями:

- динамічним навантаженням;

- статичними вдавлюючими, висмикують або горизонтальними навантаженнями.

Польові випробування грунтів палями, що проводяться при інженерних дослідженнях для будівництва, виконують за програмою, що відповідає вимогам додатка А ДСТУ Б В.2.1-1-95 з урахуванням положень відповідних федеральних, територіальних і галузевих нормативних документів, з метою отримання даних, необхідних для обґрунтування вибору типу фундаментів. та способів пристрою, у тому числі:

- визначення виду та розмірів паль та їх несучої здатності;

- перевірки можливості занурення паль на глибину, що намічається, а також відносної оцінки однорідності ґрунтів по їх опору зануренню паль;

- визначення залежності переміщення паль у ґрунті від навантажень та в часі.

Польові контрольні випробування паль при будівництві проводять також з урахуванням вимог докладання А ДСТУ Б В.2.1-1-95 з метою перевірки відповідності несучої здатності паль розрахунковим навантаженням, встановленим у проекті пальового фундаменту. Види випробувань і кількість випробувань при інженерних дослідженнях для будівництва та кількість контрольних випробувань паль встановлюють у

програмі випробувань. Випробування ґрунтів палями проводять на ділянці, відведеному під будівництво проектованих будівель або споруд, на відстані не більше 5 м і не менше 1 м від гірських виробів, з яких відібрані моноліти ґрунтів для лабораторних. Випробування повинні бути виконані на ділянках, де виявлені слабкі ґрунти, а також ґрунти, характерні для даного майданчика.

Точки випробування ґрунту необхідно закріпити на місцевості з використанням геодезичних методів. Планово-висотна прив'язка цих точок повинна контролюватись після проведення випробувань. При необхідності слід провести вертикальне планування майданчика для встановлення обладнання для випробувань.

У процесі проведення випробувань ґрунтів сваями всіх типів слід вести журнали випробувань, а результати випробувань оформляти у вигляді графіків залежностей переміщень палі від навантаження, прикладеної до палки для випробувань статичними навантаженнями або навантажень. нічними навантаженнями. Масштаби графіків допускається змінювати в порівнянні з встановленими цим стандартом при обов'язковому збереженні співвідношення між масштабами вертикальних і горизонтальних координат. Графіки всіх випробувань талих ґрунтів повинні супроводжуватися інженерно-геологічним розрізом по найближчому до місця випробування виробленню, а при випробуваннях у вічномерзлих ґрунтах - інженерно-геокріологічним розрізом.

3.2 Обладнання та прилади для проведення випробувань ґрунтів динамічними навантаженнями

Для польових випробувань ґрунтів динамічними навантаженнями за допомогою натурних паль застосовують те ж обладнання, що було використано для забивання палі. Всі конструкції установок, що

застосовуються для випробувань, повинні бути розраховані на навантаження, що перевищує на 20 % найбільше навантаження, передбачену програмою випробувань. Пристрій для навантаження паль повинен забезпечувати співвісну і центральну передачу навантажень на палю, можливість передачі навантажень ступенями, сталість тиску на кожному ступені навантаження. При застосуванні установок, в яких упором для домкрата служить вантажна платформа, маса кожного елемента вантажу, а також маса платформи повинні бути визначені заздалегідь і позначені незмивною фарбою. Для виключення можливості передачі навантаження на випробувану палю до установки вимірювальних приладів вантажна платформа повинна бути змонтована на спеціальних опорах. Глибина занурення анкерних паль не повинна перевищувати глибини занурення випробуваної палі. Відстань від осі випробовуваної натурної палі до анкерної палі або до найближчої опори вантажної платформи, а також до опор опорної установки повинно бути не менше 5 найбільших розмірів поперечного перерізу палі (діаметром до 800 мм), але не менше 800 мм). відстань повинна бути не менше, але не менше 1,5 м. Механізм для забивання еталонної палі або палі-зонда в ґрунт повинен мати молот масою 400 кг і забезпечувати постійну висоту його падіння 150 см.

Межі вимірювань і ціну поділу монометрів і динамометрів, що використовуються для визначення навантаження на палю в процесі випробувань, вибирають в залежності від найбільшої навантаження на палю, передбаченою програмою випробувань, з запасом не менше 20 %. Всі прилади, що використовуються для вимірювання переміщень паль і навантажень, повинні бути проторовані і періодично перевірятися згідно з паспортними даними. Перед їх відправкою на місце випробувань проводять позачерговий повірку. Термометричні трубки розташовують на бічній поверхні буропускних, опускних і буронабивних паль, а термометричні свердловини - за межами забивних, бурозабивних і бурообсадних паль, але не далі 1 м від їх бічної поверхні. Глибина занурення в ґрунт термометричних пристроїв повинна бути не менше глибини занурення паль, що випробовуються.

3.3 Випробування ґрунтів динамічним навантаженням

Палі, призначені для випробувань, повинні відповідати стандартам на палі або технічним умовам. Занурення або пристрій паль, що випробовуються, повинно бути виконано відповідно до програми випробувань.

Паля, призначена для випробування динамічним навантаженням, після її занурення не повинна мати поздовжніх і поперечних тріщин з розкриттям більше 0,2 мм, а також сколів в голові палі, що зменшують поперечний переріз палі більш ніж на 15 %.

При проведенні випробувань у зимових умовах (крім випадків, коли випробування динамічним навантаженням проводять для визначення можливості занурення палі в цих умовах) ґрунт у місці випробування відтають на всю глибину його промерзання в зоні 1,0 м від кордону напаї - зоні не менше ніж 2 м). Ґрунт підтримують у талом стані до закінчення випробувань.

Випробування ґрунтів динамічної (ударної або вібраційної) навантаженням проводять забивними палями для перевірки можливості занурення паль на намічувану глибину, для оцінки несучої здатності палі, що визначається за значенням відмови, а також для відносної оцінки однорідностей ґрунтів. За відмову палі приймають середню глибину занурення від одного удару молотом або глибину занурення від роботи віброзавантажувача за 1 хв, виражені в сантиметрах. Прилади для вимірювання відмов повинні забезпечувати похибку вимірювання не більше 1 мм. За наявності відповідних приладів окремо фіксують залишкову і пружну частини відмови.

Забивання і добивання палі виробляють таким же обладнанням, яке буде використано для занурення паль у складі фундаменту.

Випробування палі динамічним навантаженням повинно включати:

- при забиванні палі - підрахунки кількості ударів молота на кожен метр занурення і загальної кількості ударів, а на останньому метрі - на кожні 10 см занурення;

- при віброзануренні палі - підрахунки часу на кожен метр занурення, а на останньому метрі - часу на кожні 10 см занурення;

- визначення відмов палі при забиванні після «відпочинку», тобто. після переривання між закінченням забивання і початком добивання.

Тривалість «відпочинку» встановлюється програмою випробувань залежно від складу, властивостей і стану прорізуваних ґрунтів і ґрунтів під нижнім кінцем палі, але не менше:

- 3 діб - при піщаних ґрунтах, крім водонасичених дрібних і пилуватих;
- 6 діб - при глинистих і різнорідних ґрунтах.
- 10 діб - при прорізанні водонасичених дрібних і пилуватих пісків.

Добивання палі проводять послідовно заставами з 3 і 5 ударів. Висота падіння ударної частини молота при добиванні повинна бути однаковою для всіх ударів. За розрахунковий приймають найбільшу середню відмову.

Забивання еталонної палі або палі-зонда проводять до досягнення заданої глибини або до різкого збільшення числа ударів (понад 50 ударів на останніх 10 см занурення). У процесі забивання еталонної палі або палі-зонда слід постійно контролювати вертикальність ланок палі і стріли копрової установки. Відхилення від вертикалі занурених в ґрунт ланок не повинно перевищувати 0,5 см на 1 м занурення. Відхилення щогли установки для забивання палі від вертикалі не повинно перевищувати 5 °.

В процесі випробування ведуть журнал, форма якого наведена нижче:

Організація _____ Пункт _____

Об'єкт _____

Споруда _____

ЖУРНАЛ
польового випробування талих ґрунтів динамічним навантаженням

Дата випробування: початок "___" _____ 20 ___ р.
закінчення "___" _____ 20 ___ р.

Паля N _____ Дата занурення палі
Вид палі _____ "___" _____ 20 ___ р.

Матеріал палі _____ Копер _____

Дата виготовлення палі _____ Молот (тип) _____
_____ Загальна маса молота _____ тс

Перетин (діаметр) палі на верхнім і нижніх кінцях _____ см Маса ударної частини молота _____ т

Паспортна енергія удару молота _____ кг·м

Довжина палі (без гострія) _____ м Паспортна кількість ударів на хвилину _____

Довжина гострія _____ м Маса наголовника _____ т

Маса палі _____ т Прокладка в наголовнику _____

Паспорт підприємства-виробника _____ Спосіб вимірювання переміщень палі (відмовоміром, лінійкою та ін.) _____

Забивання палі

Глибина забивання, м	Кількість ударів на 1 м або 10 см занурення	Висота підйому ударної частини молота, см	Середня відмова, см	Число ударів з початку забивання	Примітка

Найближча геологічна виробка N _____ Абсолютні позначки:
пройдено "___" _____ 20 ___ р. - голови палі після забивання ___ м

Відстань виробітку - нижнього кінця _____ м
від палі _____ м - поверхні ґрунту біля палі ___ м

Коротка характеристика інженерно -геологічного розрізу в місці розташування палі _____
_____
_____
_____

Температура води (при випробуваннях на акваторії) _____ °С

Глибина забивання палі _____ м

Стан голови палі після забивки
_____
_____
_____
_____
_____

Температура повітря _____ °С

Добування палі

Дата	Час "відпочинку", діб	Кількість ударів	Відмова, см	Середня відмова від одного удару, см

Спосіб вимірювання переміщень палі (відмовоміром, лінійкою та ін.)
_____

Схема розташування точок випробувань, а також найближчих інженерно-геологічних виробів та точок зондування

В журналі пронумеровано _____ стр.; заповнено _____ стр.

Начальник польового підрозділу

_____ _____
(Підпис) (П.І.Б.)

Спостерігачі

_____ _____
(Підпис) (П.І.Б.)

_____ _____
(Підпис) (П.І.Б.)

Представник організації

_____ _____
(Підпис) (П.І.Б.)

Результати випробувань формують у вигляді графіків зміни відмов по глибині та залежності загальної кількості ударів від глибини забиття палі.

Масштаб графіків приймають:

- по вертикалі - 1см, рівний 1 м глибини забивання палі;

- по горизонталі - 1 см, рівний 1 см відмови палі, 50 ударам молота при забиванні; 1 хв при віброзавантаженні.

3.4 Вимоги до польових випробувань ґрунтів палями

Програма польових випробувань ґрунтів палями (натурними, еталонними, палями-зондами), що проводяться при інженерних дослідженнях для будівництва, повинна бути складена з урахуванням:

- наявних результатів інженерних досліджень і, особливо, результатів статичного зондування;

- прогноз можливості зміни інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов у процесі зведення та експлуатації будівель і споруд;

- характеристики проєктованих будівель і споруд та їх несучих конструкцій;

- передбачуваних значень розрахункових навантажень або зусиль, що діють на фундаменти будинків, що проєктуються, і споруд;

- намічених проєктних відміток планування забудовується території і положення підошви пальових розробок;

- експлуатаційних вимог до гранично-допустимих переміщень конструкцій і, зокрема, переміщень на рівні підошви пальового розробка;

- результатів польових випробувань ґрунтів палями, що раніше проводилися на прилеглих об'єктах з аналогічними ґрунтовими умовами, а також досвіду їх будівництва та експлуатації.

Програма польових контрольних випробувань паль при будівництві

повинна бути складена з урахуванням прийнятих у проєкті:

- виду і конструкцій паль, їх форми і розмірів;

- способів занурення паль або їх устрою;

- розрахункових навантажень на палі;

- ґрунтових умов об’єкта, прийнятих у проєкті за результатами інженерно-геологічних досліджень.

У програмі польових випробувань ґрунтів палями повинні бути передбачені:

- місця проведення випробувань;

- кількість паль, що випробовуються;

- конструктивна схема установки для випробування паль;

- напрямок і значення ступенів навантажень при випробуваннях;

- найбільші навантаження або найменші переміщення паль при випробуваннях (опади, виходи з ґрунту, горизонтальні переміщення);

- матеріали, вид, розміри та конструкції випробовуваних паль, глибина їх занурення, а також проєктна відмова для забивних паль (пружна і залишкова частини відмови при можливості їх вимірювання);

- способи занурення або пристрою випробовуваних паль;

- вид, матеріал, розміри, конструкція, глибина занурення при використанні анкерних паль.

Кількість паль, що випробовуються, при будівництві повинно становити:

- при випробуванні паль динамічним навантаженням - до 1 % від загальної кількості паль на даному об'єкті, але не менше 6 шт.;

- при випробуванні паль статичним вдавлюючим навантаженням - до 0,5% від загальної кількості паль на даному об'єкті, але не менше 2 шт.;

- при випробуванні паль статичної витримує або горизонтальної навантаженням - не менше 2 шт.

У програмі повинно міститися техніко-економічне обґрунтування необхідності польових випробувань ґрунтів палями, а також виду випробувань.

4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ҐРУНТІВ ПАЛЯМИ ДИНАМІЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

4.1 Інженерно-геологічні умови будівельного майданчика

Польові випробування забивних паль С12-30 динамічними навантаженнями на майданчику будівництва житлового комплексу «AGAM» з об’єктами інфраструктури, що розташована на вул. Бакинська у м.Київ» проводилися фахівцями ТОВ «KGS».



Рисунок 4.1 – План ЖК «AGAM»

Мета проведення випробувань – визначення можливості занурення та несучої здатності забивних паль, занурених у ґрунт на глибину 11,2...11,4 м, 10,0 м, 10,1 м та 10,8 м до абсолютної позначки низу паль 338,20...338,38 м, 339,59 м, 339,50 м та 338,81 м на майданчику будівництва ЖК «AGAM» м.Київ.

При забиванні використовувалася свабійна установка на базі трактора Т-130 з трубчастим дизель-молотом С996 масою ударної частини 1,8 т і гідравлічна свабійна установка «Юннтан» з гідравлічним молотом ННК4-1200 масою ударної частини 4,0 т.

Пристрій дослідного полігону проводився відповідно до вимог розділу 5 ДСТУ Б В.2.1-1-95 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод польових випробувань палями» та програми, складеної ТОВ "KGS".

Пошаровий опис геолого-літологічної будови ділянки (згори донизу) наведено в таблиці 4.1.

Ґрунтові води на майданчику дослідження розкриті повсюдно на глибинах 1,3-2,2 м. Абсолютні позначки рівня 349,20…350,60 м.

Коефіцієнт фільтрації ґрунтів: 0,18 м/добу для делювіально-пролювіальних суглинків; 0,24 м/добу для дрібних пісків; 15,8 м/добу для пісків великих; 20 м/діб для гравійних ґрунтів; <0,003 м/добу для елювіальних глин; 0,16 м/добу для елювіальних суглинків; 2,4 м/діб для щебенистих ґрунтів.

За хімічним складом ґрунтові води характеризуються як сульфатно-хлоридні (хлоридні), натрієво-магнієві, натрієві, з мінералізацією 2,3…3,6 г/л. Корозійна агресивність підземних вод по відношенню до свинцевої та алюмінієвої оболонки кабелю – висока. По відношенню до бетонів марки W4 підземні води ділянками мають сильну сульфатну агресивність на портландцемент і мають середню агресивність на арматуру до залізобетонних конструкцій.

Особливості ґрунтів: ґрунти пучинисті водонасичені.

Таблиця 4.1 - Пошаровий опис геолого-літологічної будови ділянки

№ шару	Вік, генезис	Підошва шару, м		Міцність шару, м	Опис шару	Фізико-механічні характеристики				
		глибина	абс. відм.			*E, МПа*	*C, МПа*	*φ,* град	*J_L Ro, МПа*	*ρ, г/см³*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	dpQ_{II-II}	0,4÷1,6	350,5÷351,9	0,4÷1,6	Насипний ґрунт представлений суглинком, піском та щебнем.	7	0,007	13	-	2,02
2		6,3÷11,5	340,6÷346,0	5,9÷9,9	Суглинки коричневі, карбонатизовані, від напівтвердих до текучих з прошарками глини, супіску (m ≈ 10…20 см), піску середньої крупності (m ≈ 20 см).	25	0	33	-	1,94
3		8,8÷10,6	340,1÷345,4	0,5÷0,6	Піски дрібні поліміктові, водонасичені.	30	0	35	-	1,98
4		8,1÷8,3	342,2÷344,1	0,9÷1,2	Піски крупні поліміктові, водонасичені, з прошарками суглинку (m ≈ 5 см), піску гравелистого (m ≈ 10…15 см), піску середньої крупності (m ≈ 20 см).	30	0	36	-	2,0
5		6,8÷7,9	339,6÷344,9	1,5÷2,0	Гравійні ґрунти, поліміктові, водонасичені, з прошарками піску крупного (m ≈ 20 см), суглинку (m ≈ 10…12 см), супеси (m ≈ 20 см).	-	-	-	0,35	-
6		11,2÷12,5	343,6÷ 345,3	1,2÷11,7	Глини елювіальні, жовті, яскраво-жовті, тверді, напівтверді, тріщинуваті, по тріщинам з нальотами гідроксилів марганця і заліза, з прошарками суглинку (m ≈ 20 см), з включенням інших і рухлякових обломків алевролітів до 25 % і прошарками щебня алевролітів, потужністю до 20 см.	-	-	-	0,4	-

Продовження таблиці 4.1

7	*Emz*	17,0	339,6÷339,8	4,0÷10,5	Суглинки елювіальні жовті, тверді, напівтверді, тріщинуваті, по тріщинам з нальотами гідроксилів заліза і марганцю, з включенням рухлякових обломків осадових порід, з прошарками щебенистого ґрунту (m ≈ 20 см). Викриті вони повсюдно, під четвертинними ґрунтами та елювіальними глинами, з глибиною 10,0…19,0 м.	11	0,027	21	-	1,86
8				1,5÷13,0	Щебенисті ґрунти сірувато-жовті, представлені міцними і рухляковими відламками осадових порід із суглинистим заповнювачем до 30 %.					

4.2 Визначення несучої здатності за результатами випробувань своєї динамічної навантаження

За результатами випробувань паль динамічним навантаженням побудовані графіки в залежності від кількості ударів і середніх відмов від глибини завантаження.

Несуча здатність F_d за результатами польових випробувань динамічне навантаження визначається за формулою:

$$F_d = \gamma_c \frac{Fu,n}{\gamma g} \tag{4.1}$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи, що приймається при дії вдавлюючої навантаження $\gamma_c = 1$;

$F_{u,n}$ – нормативне значення граничного протидії палі;

γ_g = 1,04 – коефіцієнт надійності по ґрунту (на основі статистичної обробки).

При динамічних випробуваннях своє часткове значення граничного протидії F_u, за даними їх пошкоджень при фактичних відмовах, визначено за формулою:

$$F_u = \frac{\eta AM}{2}\left[\sqrt{1+\frac{4E_d}{\eta AS_a}\cdot\frac{m_1+\varepsilon^2 m_2}{m_1+m_2}}-1\right] \tag{4.2}$$

де η = 150 – коефіцієнт, що приймається в залежності від матеріалу, кН/м^2 (тс/м^2);

А = 0,09 м^2 – площа, обмежена зовнішнім контуром перерізу ствола палі;

М – коефіцієнт, що приймається при забивці своїм молотом ударної дії, М=1;

E_d – розрахункова енергія удару молота кДж (ц·м), при контрольній добиванні одиночними ударами, що приймається згідно з формулою:

$$E_d = 0{,}9G \cdot H, \tag{4.3}$$

де G = 4,0 т – маса ударної частини молота;

H – фактична висота падіння ударної частини молота, H = 1,0 м;

S_a – фактичний остаточний відмова, рівна величина занурення паль від одного удару молота, м;

m_1 – маса молота, m_1 = 6,5 т;

ε^2 – коефіцієнт відновлення удару, при забивці залізобетонних паль молотами ударної дії при застосуванні наголовника з дерев'яним вкладишем, ε^2= 0,2;

m_2 – маса палі і наголовника, m_2 = (2,73+0,1)=2,83 т для паль С12-30

Результати несучої здатності паль при випробуванні їх динамічним навантаженням представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати випробувань паль динамічним навантаженням

№ з/п	Номер палі пза планом	Марка та переріз палі, см	Глибина заглиблення палі, м	Висота падіння ударної частини при добиванні, м	Відказ при дозабиванні,м	Висота падіння ударної частини при забиванні, м	Фактичний залишковий відказ при забиванні, м	Приватне значення граничного опору палі, кН	Несуча здатність палі, кН	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Блок №1										
1	РС-№31	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,004	2,5	0,01	920	836	
2	РС-№61	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,0026	2,5	0,0066	1156		
3	РС-№79	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,003	2,5	0,0143	1072		
4	РС-№280	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,006	2,5	0,025	740		
5	РС-№290	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,003	2,5	0,0063	1072		
6	РС-329	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,0043	2,5	0,0142	885		
Блок №2										
7	РС-№1	С12-30, 30х30	10,0	1,0	0,0026	2,5	0,0063	1156	1156	
8	РС-№2	С12-30, 30х30	10,1	1,0	0,0026	2,5	0,0076	1156		
9	РС-№3	С12-30, 30х30	11,2	1,0	0,0023	2,5	0,0111	1234		
10	РС-№4	С12-30, 30х30	10,8	1,0	0,004	2,5	0,009	920	772	
11	РС-№5	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,004	2,5	0,01	920		
12	РС-№6	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,007	2,5	0,0166	680		
13	РС-№7	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,006	2,5	0,0143	740		
Блок №7										
14	РС-№31	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,004	2,5	0,0055	920	757	
15	РС-№61	С12-30, 30х30	11,3	1,0	0,0043	2,5	0,0056	885		
16	РС-№79	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,0043	2,5	0,0166	885		
17	РС-№280	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,006	1,0	0,025	718		
18	РС-№290	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,005	1,0	0,0166	793		
19	РС-№329	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,0054	1,0	0,025	760		
20	РС-№21	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,004	1,0	0,033	918,4	648	
21	РС-№59	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,0094	1,0	0,030	577,7		
22	РС-№101	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,0066	1,0	0,033	701,2		
23	РС-№333	С12-30, 30х30	11,4	1,0	0,0066	1,0	0,033	701,2		

4.3 Техніка безпеки при польових випробуваннях

Виробництво робіт, пов'язаних із застосуванням спеціальних машин і обладнання, вимагає від обслуговуючого персоналу особливо уважного ставлення до виконання всіх робіт і, як при всіх будівельних роботах, суворого дотримання правил техніки безпеки, викладених в ДСТУ 2293:2014 Охорона праці.

При підйомі копра, зібраного в горизонтальному положенні, повинні бути перекриті всі роботи в радіусі, рівній довжині піднімальної конструкції плюс 5 м.

Усі операції по підтягуванню та підйому паль та опусканню молота, переїздам і розворотам копра повинні проводитися тільки за сигналом бригадира.

Кожен копер оборудується звуковою сигналізацією. Перед початком дії пальового молота подається звуковий сигнал.

Забезпечення пожежної безпеки на будівельній площі здійснюється згідно з ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.

4.4 Нові методи при випробуваннях залізобетонних забивних паль

4.4.1 Стан питання

Методи силових випробувань паль (статичні та динамічні) використовуються у фундаментобудуванні більше ста років та постійно вдосконалюються.

В будівельній практиці випробування паль у польових умовах

виконуються:

- у процесі інженерно-геологічних досліджень з метою отримання найбільш достовірних даних для розробки проєкту пальового фундаменту;

- перед початком робіт з влаштування паль, якщо це передбачено спеціальними вимогами проєкту, а також для уточнення несучої здатності паль, прийнятих в проєкті та відповідного коригування його у необхідних випадках;

- в процесі влаштування паль за наявності обґрунтованих сумнівів у їхній несучій здатності, що виникли при виробництві пальових робіт або при їх прийманні.

Пробні палі випробовуються динамічним (забивання та добивання паль) та статичним навантаженням на вдавлювання в ґрунт, горизонтальне переміщення (вигин палі) та висмикування.

Кількість паль, що піддаються контрольним випробуванням, визначається програмою, погодженою з проєктною організацією, або встановлюється приймальною комісією, і, як правило, становить:

- не менше 5 шт у спорудах із забивними палями при їх випробуванні динамічним навантаженням;

- не менше 2 шт. при випробуванні статичним навантаженням.

Динамічні методи для знаходження несучої здатності паль традиційно розвивалися стосовно забивних паль.

В 1850 р. Сандер запропонував наступну динамічну формулу несучої здатності палі Q:

$$Q = MH/e, \qquad (4.4)$$

де M – маса молота;

H – висота падіння молота;

e – відмова (осаду) палі.

Формула (9) дає завищені результати, у зв’язку з чим рекомендовано низку інших динамічних формул.

Так, Челліс запропонував формулу для вільно падає молота.

$$Q = \frac{1}{F}\frac{MH}{e + \frac{1}{2}(e_1 + e_2 + e_3)} f \frac{M + r^2 P}{M + P}, \tag{4.5}$$

де F – коефіцієнт запасу;

P – маса палі;

f – коефіцієнт ефективності (0,75 < f < 1 залежно від типу ударної частини);

r – коефіцієнт відновлення при ударі (0 < r < 0,55, причому r = 0,25, якщо на голову залізобетонної палі укладається дерев'яний оголовник);

e_1, e_2, e_3 – відносні пружні деформації відповідно палі, дерев'яного оголовника та ґрунту.

У Франції широко використовується формула Крендела, що виходить з формули Челліса (10), якщо знехтувати пружними деформаціями палі і оголовника, припустити, що коефіцієнт відновлення дорівнює нулю, і включити коефіцієнт ефективності коефіцієнт запасу

$$Q = \frac{1}{F} \cdot \frac{MH}{e + e_1/2} \cdot \frac{1}{1 + P/M} \tag{4.6}$$

Статистичні дослідження формули (11) показали, що вона дає непогані результати широкого діапазону умов. Рекомендується при її використанні приймати F = 3.

У Нідерландах набула поширення формула

$$Q = \frac{1}{F} \cdot \frac{MH}{e} \cdot \frac{1}{1 + P/M} \tag{4.7}$$

де F = 6.

Якщо знехтувати вагою палі, можна помітити, що формули (4.1…4.7) по-різному враховують відмову. У формулі Крендела (4.6) до власної відмови e додається половина пружного укорочення палі e_1, у формулі голландців (4.7) цей член взагалі відсутній. Якщо e_1 мало в порівнянні з e, то формули голландців (4.7) і Крендела (4.6) дають однакові результати.

У вітчизняній практиці динамічні випробування для паль, забитих у піщані ґрунти, проводять після закінчення не менше 3 діб, а для паль, забитих у глинисті ґрунти, - після закінчення не менше 6 діб, після закінчення їх забивання.

Несуча здатність забивних паль за даними їх забивання найчастіше визначається за формулою Н.М. Герсєванова

$$P = k\frac{nA}{2}\left[\sqrt{1+\frac{4}{nA}\frac{QH}{e}\frac{Q+0{,}2q}{Q+q}}-1\right], \tag{4.8}$$

де k – коефіцієнт однорідності ґрунту, до = 0,7;

A – площа поперечного перерізу палі нетто;

n – коефіцієнт, що залежить від матеріалу палі та способу забиття; для залізобетонних паль квадратного перерізу суцільних та з круглою порожниною, а також порожнистих круглого перерізу з наконечником, при забиванні їх з наголовником, n = 150 тс/м^2; для дерев'яних паль, що забиваються без наголовника, n = 100 тс/м^2;

Q – маса ударної частини молота;

q – номінальна маса палі та наголовника (для молотів дизельних та подвійної дії додається маса стаціонарної частини молота);

e – відмова (занурення палі від одного удару);

H – розрахункова висота падіння ударної частини молота.

Використання динамічних формул забивання для оцінки несучої здатності паль у ряді випадків має супроводжуватися контрольними випробуваннями статичним навантаженням, наприклад, при зв'язкових обводнених ґрунтах. Це викликано тим, що поведінка ґрушу при статичних навантаженнях і ударі не однаково.

З 70-х років минулого століття голландською фірмою TNO розробляється спеціальний метод випробування паль, що в сучасній інтерпретації використовує новітню електронну реєструючу апаратуру та програмні засоби для комп'ютера. Випробування проводять ударними

навантаженнями, що створюють одновісний динамічний деформований стан у натурній палі.

Метод стандартизований у таких країнах як США (стандарт ASTMD 4945-89), у Європейських країнах (Єврокод 7).

4.4.2 Технічні та теоретичні передумови створення нового методу

В основу нового методу покладено адаптований метод TNO, розроблений фірмою TNO.

Динамічні параметри реєструються аналого-цифровою системою FPDS-6, яка обробляє сигнали для подальшого комп'ютерного аналізу. Приклад сигналів сили та прискорення, одержуваних з комплексу FPDS-6, наведено на малюнку 6.

У теоретичному аспекті метод базується на одновимірній хвильовій теорії циліндричного стрижня, що знаходиться в пружному інерційному середовищі, яка має як властивість пружності, так і демпфуючу здатність.

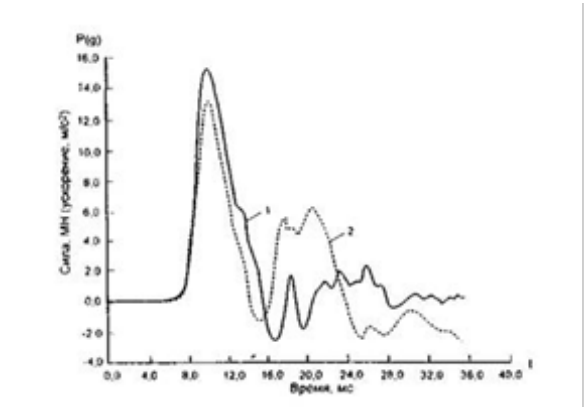


Рисунок 4.1 – Графіки залежності сили та прискорення при ударі від часу: 1 – сила; 2 – прискорення

Найбільш загальний вигляд динамічної розрахункової схеми системи «паля – ґрунт» зазвичай представлений дискретною моделлю.

Стрижень (паля) характеризується площею поперечного перерізу (А), об'ємною вагою матеріалу (g); модулем пружності матеріалу (Е).

Ґрунт у розрахунковій схемі представлений такими параметрами: m1 - приєднана до стрижня маса ґрунту, що враховує його властивості інерції; $к_{τi}$ - коефіцієнт жорсткості пружини, що моделює деформації зсуву ґрунту; $С_{τi}$ – коефіцієнт загасання (демпфування) деформацій зсуву по ґрунту; $к_σ$ - коефіцієнт жорсткості пружини, що моделює деформацію стиснення ґрунту; С - коефіцієнт загасання (демпфування) деформацій стиснення ґрунту.

У свою чергу коефіцієнти жорсткості виражаються через питомі коефіцієнти ґрунту до = к° S; С = С° S, де к° - коефіцієнт постілі ґрунту; З° - коефіцієнт загасання для ґрунту; S - площа контакту палі з ґрунтом на ділянці, що розглядається.

У практичних розрахунках використовують повністю дискретну динамічну розрахункову схему в якій паля також моделюється зосередженими масами $М_i$ та пружинами між ними з жорсткістю К = ЕА/h, де h - довжина ділянки при розділенні повної довжини палі на відрізки.

З використанням спеціальної комп’ютерної програми може бути розрахований рух системи від дії ударного навантаження, при цьому параметри удару (сила, енергія) визначають за допомогою тензодатчиків і є вихідними для динамічного розрахунку.

Особливістю програмного забезпечення є використання зворотного зв’язку розрахунку з реальною поведінкою системи за допомогою прискорення хвиль деформацій, що вимірюється у верхній частині палі (програма ELDI WAVE SIGNAL MATCH).

Шляхом порівняння розрахункових та виміряних прискорень ітераційним процесом встановлюють фактичні динамічні параметри опору ґрунту по бічній поверхні ($к_{τi}$ та $С_{τi}$) та торцю палі ($к_σ$ та $С_σ$).

В результаті динамічна розрахункова схема стає цілком певною і може бути використана (з відомими припущеннями) для статичного розрахунку з метою обчислення статичної несучої здатності (моделювання статичного

навантаження палі - побудова графіка «осаду – навантаження»).

Несуча здатність паль при динамічному методі випробувань обчислюється програмою ELDI WAVE SIGNAL MATCH шляхом обробки графіків «осаду - навантаження» з використанням методів «шісти мм», дотичних і Девіссона (рис. 4.2).

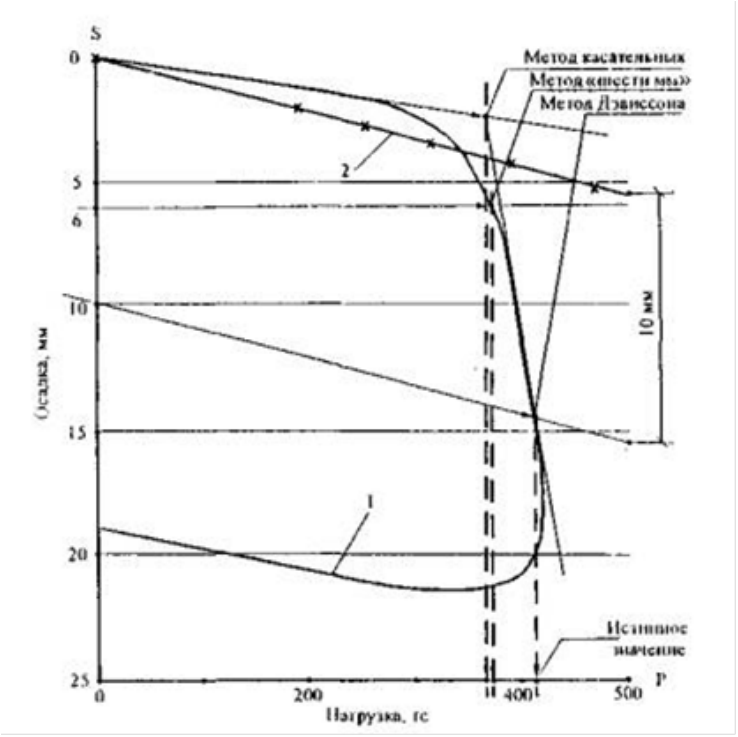


Рисунок 4.2 - Визначення несучої здатності палі за результатами динамічних випробувань (за істинне приймається найбільше значення, знайдене за трьома методами): 1 - осадка (динамічний випробування); 2 - пружна деформація палі

За методом «шісти мм» несуча здатність палі визначається абсцисою точки перетину горизонтальної прямої, що знаходиться на рівні 6 мм від початку графіка «осаду - навантаження», із самим графіком.

За методом дотичних несуча здатність палі обчислюється абсцисою точки перетину дотичних, проведених до початку та найбільшого наповнення графіка «осаду - навантаження».

За методом Девіссона несуча здатність палі визначається абсцисою точки перетину прямої, паралельної лінії пружного осаду палі і розташованої

в 10 мм від початку графіка «осаду - навантаження», з цим графіком.

За справжню (реальну) здатність несучої палі по ґрунту приймається найбільше значення, розраховане за програмою ELDI WAVE SIGNAL MATCH.

Крім того, розрахунком обчислюються складові несучої здатності палі по ґрунту (по бічній поверхні та її торцю).

5.3 Рекомендації щодо технології динамічних випробувань паль

Рекомендації поширюються на польові випробування забивних паль динамічним (ударним) навантаженням. Несуча здатність (потужність) паль може перевищувати 1000 тс.

Даний метод призначений для динамічних випробувань пальових фундаментів будь-якого типу та дозволяє вирішувати наступні питання на стадіях проектування та зведення пальових фундаментів:

- знаходження приватного значення граничного опору палі;
- визначення граничного опору ґрунту з основи та бічної поверхні палі;
- оптимізація навантаження паль та коректний вибір забивного пристрою для забивних паль;
- здійснення контролю цілісності палі після забиття.

Динамічним випробуванням піддаються залізобетонні палі будь-якої конфігурації, у тому числі зведені під захистом глинистого розчину в різних ґрунтах I-IV груп (за винятком скельних, вічномерзлих, тріщинуватих і тих, які мають карстові утворення).

Для виконання польових динамічних випробувань повинні бути задоволені такі вимоги: наявність необхідних обладнання, приладів та програмного забезпечення, комплекту документації за необхідними компонентами пальової основи; виконання робіт кваліфікованими

спеціалістами; наявність програми випробувань; дотримання правил техніки безпеки; виконання норм будівельної екології.

Результати випробувань відповідно до програми випробувань реєструються, виводяться на монітор персонального комп'ютера, фіксуються у пам'яті комп'ютера і після закінчення випробування оформлюються як роздруківки журналу з виконаним роботам. Під час випробувань здійснюється контроль працездатності механічних вузлів, вимірювальної та реєструючої апаратури. Обробка результатів здійснюється за спеціальною програмою. Звіт складається відповідно до сформованих правил і включає пояснювальну записку, таблиці та графіки за випробуваними параметрами, фотоілюстрацію проведення випробувань.

Навантажуючий пристрій (ударний стенд з пусковим пристроєм), що використовується для передачі динамічного навантаження на палю, повинен бути виконаний у вигляді вільно падаючого молота з можливістю зміни енергії, що передається за рахунок зміни висоти падіння і маси молота. При цьому його максимальна висота падіння приймається не більше 6 м, а максимальна маса молота - 5,6 т. Висота падіння молота визначається ризиками лінійки, виконаної на направляючій молота. Як підйомний пристрій можуть бути використані будь-які крани.

При влаштуванні паль, призначених для динамічних випробувань, повинні бути встановлені оголовки паль, виконані у вигляді сталевих кілець, з додатковим армуванням; бетон на торцевій поверхні повинен бути захищений, наприклад, плитою, що приймає удар.

Для зменшення шумів у вимірювальній апаратурі та отримання якісних сигналів на плиті, що приймає удар, повинна бути розміщена подушка, що демпфує, з удароміцного пінопласту або багатошарової фанери товщиною не менше 20 мм.

На тіло палі, на відстані не менше двох діаметрів (по висоті) від динамічного навантаження, що додається, повинні бути встановлені дві пари комбінованих датчиків. У кожній комбінованій парі повинні бути датчики з

електричними перетворювачами з наступними функціями:

• акселерометр, призначений для вимірювання прискорення-швидкості ударних хвиль;

• датчик вимірювання напружень, що служить для визначення (значення енергії удару на даній ділянці палі) дійсної енергії удару, що отримується палею.

Всі сигнали, одержувані вимірювальною апаратурою в момент динамічного навантаження (удару), надходять на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) зі стандартним інтерфейсом (наприклад, система FPDS- 6, R7326B Data Loggers та ін), який обробляє сигнали для подальшого комп'ютерного аналізу .

На монітор комп'ютера в реальному масштабі часу виводяться такі результати (виконані спеціальною багатостадійною інверсійною програмою TNO WAVE SIGNAL MATCH):

• енергія, що передається;

• співвісність удару;

• максимальне стиснення – розтягнення палі;

• максимальний динамічний опір палі по бічній поверхні та по основі;

• графік статичної кривої, побудований одним із методів, - CASE, TNO IMPEDANCE.

Електричні комунікації, вимірювальна та реєструюча апаратура повинні відповідати вимогам, що пред'являються до них у частині першкодозахисності та впливу кліматичних факторів, а також вимогам з техніки безпеки. При роботі в умовах знижених температур необхідно дотримуватись додаткових вимог технічних умов на апаратуру.

Обсяг та строки виконання робіт за програмою визначаються технічним завданням та узгоджуються з проєктом пальової основи та виконанням робіт на предмет:

• виготовлення оголовків на випробуваних палях;

• відкопування на необхідну глибину та влаштування котлованів біля

випробуваних паль;

• влаштування під'їздів та проходів до випробуваних паль та обладнання приміщень для розміщення апаратури та приладдя для випробувань.

Програма повинна передбачати можливість її коригування та уточнення щодо термінів проведення випробувань, проведення додаткових інженерно-геологічних та інженерно-екологічних досліджень, проведення додаткових випробувань паль.

Програма повинна містити такі відомості:

• місце розташування майданчика випробувань;

• ситуаційний план майданчика з абсолютними відмітками;

• інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови майданчика;

• конструкція випробуваних паль (діаметр та довжина або габаритні розміри, маса, матеріал палі);

• розташування, абсолютні позначки та номери випробуваних палі;

• абсолютні позначки глибини вибою випробуваних паль.

У програмі встановлюються:

• черговість випробувань;

• час на підготовку (монтаж навантажувального пристрою, датчиків, апаратури та електричних комунікацій, перевірка апаратури та навантажувального пристрою) та проведення випробувань для кожної палі;

• параметри випробувального навантаження (кількість ударів, маса молота, висота падіння молота) для кожної випробуваної палі залежно від інженерно-геологічних умов, фізико-механічних характеристик ґрунту по бічній поверхні та в основі палі;

• терміни для виконання обробки (аналізу) результатів випробувань та оформлення звіту.

Під час проведення випробування палі за результатами першого навантаження можливе коригування призначених параметрів випробувального навантаження. Виконання випробувань кожної палі за параметрами випробувального навантаження має бути зафіксовано у журналі випробувань.

Після проведення динамічних випробувань та отримання проміжних результатів повинен виконуватись аналіз отриманих сигналів, заснований на рекомендаціях TNO. За результатами цього аналізу мають бути відібрані сигнали (файли сигналів) для подальшої обробки за допомогою програми TNO WAVE SIGNAL MATCH.

Після закінчення динамічних випробувань, обробки даних, виконання аналізу оформляється звіт.

Метрологічне обслуговування вимірювального обладнання та апаратури для забезпечення необхідної точності вимірювань повинно здійснюватися за допомогою систематичних та позапланових перевірок. Відмітки про перевірки необхідно заносити до паспорта на апаратуру або спеціальний журнал. Результати перевірки суцільності та довжини паль після динамічних випробувань виконані за допомогою приладу «РЕТ».

У процесі проведення випробувань необхідно виконувати положення міжнародного стандарту ISO-14000 «Міжнародні стандарти. Основи екологічного управління.

Об’єкти динамічних випробувань мінімально повинні змінювати інженерно-геологічні умови та гідрогеологічний режим території.

ВИСНОВКИ

Чинники, що впливають на несучу здатність паль, мають складний характер взаємодії та визначають комплексний механізм роботи палі в ґрунті, що не піддається строгому математичному опису. Існуючі розрахункові схеми та моделі, у тому числі чисельні методики що базуються на них, мають суттєві розбіжності у результатах.

З-за великого різноманіття ґрунтових умов, діючі норми не здатні запропонувати єдину методику визначення несучої здатності ґрунтів з досить високим ступенем точності наближення до фактичних даних, одержуваним при натурних випробуваннях.

Використання методики визначення несучої здатності, в простих інженерно-геологічних умовах і переважно для ґрунтів осадового походження.

Теорія про можливість розрахунку паль за допомогою чисельних методик також потребує верифікації отриманих результатів на основі порівняння з натурними випробуваннями.

Застосування у вітчизняній практиці західних методик є складним в силу різних стандартів визначення вихідних характеристик ґрунтів на етапі інженерно-геологічних вишукувань.

Відсутність достовірних, відпрацьованих на практиці, методів розрахунку несучої здатності паль економічно визначає необхідність використання не науково обґрунтованих методів, а будівельних (польових) способів, не ефективних за витратами математичних чи чисельних розрахунків, а дорогих польових визначень (натурних вимірів) несучої здатності паль, на передпроєктних етапах інженерних пошуків. А за відсутності матеріалів польових випробувань може суттєво збільшитися кошторисна вартість фундаментів.

Така ситуація обумовлює гостру необхідність подальших науково експериментальних досліджень у цій галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. [Чинний від 2019–01–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 128 с.

2. ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019–01–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 36 с.

3. ДСТУ Б В.2.6-65:2008 Конструкції будинків і споруд. Палі залізобетонні. Технічні умови. [Чинний від 2010–01–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 65 с.

4. ДБН А.3.2-2:2009 Система стандартів безпеки праці. Промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2012–04–01]. Вид. офіц. Київ : НДІБВ, 2012. 115 с.

5. ДСТУ EN ISO 9001:2018 Система управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT). [Чинний від 2018–12–05]. Вид. офіц. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2018. 22 с.

6. ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007–10–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 28 с.

7. ДСТУ Б А.3.1-6:2009 Управління, організація і технологія. Настанова з розроблення та поставлення на виробництво продукції будівельного призначення. [Чинний від 2010–10–01]. Вид. офіц. Київ : НДІБВ України, 2010. 22 с.

8. ДСТУ Б В.2.6-2:2009 Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2010–10–01]. Вид. офіц. Київ : ДП НДІБК України, 2010. 29 с.

9. ДСТУ Б В.2.6-4-95 (ГОСТ 22904-93) Конструкції будинків і споруд. Конструкції залізобетонні. Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури. [Чинний від 1993–11–10]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 1996. 21 с.

10. ДСТУ Б В.2.7-43-96 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови. [Чинний від 1996–09–02]. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобудування України, 1997. 20 с.

11. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. [Чинний від 2008–12–25]. Вид. офіц. Київ : НДІБК України, 2008. 38 с.

12. ДСТУ Б В.2.6-2:2009 Конструкції будівель та споруд. Вироби бетонні та залізобетонні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009–12–29]. Вид. офіц. Київ : ДП НДІБК України, 2010. 34 с.

13. Гуденко В.М. Технологія будівельного виробництва: навчальний посібник. Київ : Аграрна освіта, 2010. 481 с.

14. Офіційний сайт Menard Group https://www.menard-group.com/ (дата звернення: 15.11.2024).

15. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. Дніпропетровськ: ”Пороги“, 2012. 197 с.

16. ТерновийВ.І., Уманець І.М. BIM у технології будівельних процесів. *Будівельне виробництво*. 2019. No 67. С. 37–40.

17. Осипов, О., Литнарович, Є., Осипов, С. та ін. Методи зведення фундаментів на складному рельєфі. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. No 78. С. 414–425.

18. Наказ Мінрегіону від 01.11.2021 № 281 «Про затвердження кошторисних норм України у будівництві». URL: https://www.minregion. gov.ua/ napryamkidiyalnosti/building/pricing /koshtorysni-normy-ukrayiny/koshtorysni-normyukrayiny-z-vyznachennya-vartosti-budivnycztva/ (дата звернення: 25.059. 2024).

19. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти : підручник / В. Б. Швець, І. П. Бойко, Ю. Л. Винников, М. Л. Зоценко, О. О. Петраков, О. В. Солодянкін, В. Г. Шаповал, О. М. Шашенко, С. В. Біда. Дніпропетровськ: «Пороги», 2014. 231 с., видання друге, перероблене і доповнене.

20. Винников Ю.Л., Манжалій С.М. Досвід посилення фундаментів із призматичних паль у складі стрічкового ростверку підведенням плити. *Науковий вісник будівництва*. Вип. 1(99). Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2020. С. 48 – 55.

21. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва [Чинний від 2014-08-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України 2014. 128 с.

22. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Романов С. В. Вдосконалення методики визначення несучої здатності бурових паль. *Будівельні конструкції.* Міжвідомчий н/т збірник. Київ : НДІБК. 2016. Вип. 83. С. 616 – 625.

23. Спосіб влаштування буронабивних паль : Пат. 155875 UA, № u 2023 03284; заявл. 05.07.2023; опубл. 17.04.2024, Бюл.№ 16. 5 с.

24. An, J., Tuan, C.Y., Cheeseman, B.A., and Gazonas, G.A., 2011. Simulation of Soil Behavior under Blast Loading. *International Journal of Geomechanics ASCE* 11(4):323-334.

25. Aptikaev, S.F., 2001. Characteristic Features of Ground-Surface Oscillations near Technogenic Seismic Sources. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 38 (1), 8–13.