

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Транспортна інженерія»

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»


на тему: Моделювання динамічних процесів занурювання палів

за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання»

зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент

групи: ПМ2326


(підпис)


/ Денис ШЦУК /

Керівник:


(підпис)

/ Павло АНОФРІЄВ /

Нормоконтролер:


(підпис)

/ Олександр ПОСМІТЮХА /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2025

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Transport Engineering

Department of Applied Mechanics and Materials Science

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: **Modelling of dynamic pile sinking processes**

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road, reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: ПИМ2326

Scientific Supervisor:

Normative controller :

 / Denis ISHCHUK /

 / Pavlo ANOFRIIEV /

 / Oleksandr POSMITIUKHA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія

Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Сергій РАКША

(підпис)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

студенту Іщуку Денису Ярославовичу

1. Тема роботи: Моделювання динамічних процесів занурювання паль

Керівник роботи: Анофрієв Павло Григорович, к. т. н., доцент

затверджені наказом від

"27" 10 2023 р. № 1043ст

2. Строк подання студентом роботи: 12.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Експериментальна залежність швидкості занурення палі від глибини занурення у табличній формі

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати): опис конструкцій паль; методи і обладнання для занурення паль; опис процесів, що відбуваються під час занурення паль; математичні моделі, які відображають динамічні характеристики занурення паль; визначення часу занурення палі.

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

1. Тема та завдання роботи

2. Конструкції, методи і обладнання для занурення паль

3. Розрахункова схеми процесу занурювання паль у ґрунт

4. Математична моделі, які відображають динаміку занурення паль у ґрунт

5. Результати дослідження процесу занурення паль у ґрунт

6. Висновки

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд науково-технічної інформації щодо занурення паль у ґрунт	04-10.11.2024	30%
2	Математичні моделі, які відображають динамічні характеристики занурення паль у ґрунт	09-15.12.2024	60%
3	Дослідження адекватності математичних моделей, що описують динаміку занурення паль у ґрунт. Складання презентації	06-12.01.2025	100%

Студент



(підпис)

Денис ІЩУК

Керівник роботи



(підпис)

Павло АНОФРІЄВ

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 51 сторінок

Найменування роботи: «Динаміка автомобіля-самонавантажувача під час підйому вантажу».

Ілюстрації: схем _____ = _____; рисунків 41 _____;
графіків _____ = _____; фотографій _____ = _____;
таблиць 3 _____.

Ключові слова: ПАЛЬ, ЗАНУРЕННЯ, МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, НЕЛІНІЙНА РЕГРЕСІЯ, АНАЛІЗ.

Виконано огляд конструкцій паль, технологій і обладнання для будівництва пальових фундаментів.

На основі експериментальних характеристик швидкості занурення палі отримані аналітичні залежності зміни швидкості занурення палі в залежності від глибини занурення.

Визначено час занурення палі по кожному шару ґрунт і побудовано відповідну діаграму. Запропоновано алгоритм визначення параметрів нелінійних регресій загального виду швидкості занурення палі. За допомогою систем Mathcad і Matlab виконано аналіз отриманих нелінійних регресій за критерієм мінімуму залишкової дисперсії і побудовані графіки.

Дано опис точності отриманих апроксимацій швидкості занурення палі поліноміальною функцією, гіперболічною, експонентною, ступеневою, показовою, дрібно-раціональною регресіями.

ВСТУП	5
1 МЕТОДИ ТА ОБЛАДНЕННЯ ДЛЯ БУДОВИ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ	6
1.1 Конструкції паль	6
1.2 Конструкції пальових фундаментів	15
1.3 Обладнання для занурення паль	17
2 СХЕМИ ПРОЦЕСУ ЗАНУРЮВАННЯ ПАЛЬ У ҐРУНТ	30
3 ДИНАМІКА ПРОЦЕСУ ЗАНУРЮВАННЯ ПАЛЬ У ҐРУНТ	33
3.1 Напруження у палі під час занурення у ґрунт	33
3.2 Нелінійна регресія загального виду швидкості занурення палі	35
3.3 Розрахунок часу занурення палі у ґрунт	44
3.4 Аналіз отриманих результатів досліджень	45
ВИСНОВКИ	48
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	49

					ДІП. 630000. 306. МРПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Іщук			Моделювання динамічних процесів занурювання паль	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Анофрієв					4	51
<i>Реценз.</i>						УДУНТ, гр. ПМ2326		
<i>Н. Контр.</i>		Посмитюха						
<i>Затверд.</i>		Ракша						

ВСТУП

Сьогодні пальові фундаментів активно застосовують під час будівництва житлових будинків, будівель елітного класу, громадсько-торговельних та спортивно-оздоровчих комплексів, готелів, котеджів та інших багатофункціональних споруд.

Популярність пальових фундаментів базується на їх надійність, міцність, можливість спирання на глибоко розташовані несучі шари ґрунту. За способом заглиблення бувають такі типи паль: забивні, гвинтові, бурові, буро-набивні, палі-оболонки. Установка будь-яких палі вимагає спеціальної будівельної техніки, правильна робота якої забезпечує проектні характеристики фундаменту.

У роботі описані найбільш поширені конструкції паль і умови їх використання. Наведені конструкції пальових фундаментів для різних споруд і характеристик ґрунту основи.

Виконано огляд методів занурення паль і обладнання для виконання цієї роботи. Розглянуті конструкції копрового обладнання і характеристики дизель-молотів, гідро-молотів, віброзанурювачів та установок для вдавлювання паль.

На основі експериментальних характеристик швидкості занурення палі отримані аналітичні залежності зміни швидкості занурення палі в залежності від глибини занурення.

Запропоновано алгоритм визначення параметрів нелінійних регресій загального виду швидкості занурення палі. За допомогою систем Mathcad і Matlab виконано аналіз отриманих нелінійних регресій за критерієм мінімумам залишкової дисперсії і побудовані графіки.

Дано опис точності апроксимації швидкості занурення палі поліноміальною функцією, гіперболічною, експонентною, ступеневою, показовою, дрібно-раціональною регресіями.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 МЕТОДИ ТА ОБЛАДНЕННЯ ДЛЯ БУДОВИ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ

1.1 Конструкції паль

Відомо більше 150 видів паль, але у останні десятиріччя найбільше застосування у цивільному та промисловому будівництві знайшли забивні палі. Застосування їх значно скорочує трудовитрати будівництва фундаментів і знижує вартість будівельних об'єктів. Найбільше поширення отримали палі повного квадратного перетину. Інші види паль застосовуються менше, бо вони гірше з технологічних міркувань та потребують підвищених трудовитрат у виробництві.

За типом передачі тиску від будівлі на основу розрізняють палі-стійки та палі-тертя (висячі палі).

Палі-стійки (рис. 1.1, а) пронизують всю товщину слабких ґрунтів і опираються на майже нестискаємий шар ґрунту (скельні, великоуламкові ґрунти, галька, гравій). Такі палі практично все навантаження передають через торець, оскільки при їх малих вертикальних переміщеннях не виникають умови для виникнення сил тертя на її бічній поверхні.

Висячі палі (рис. 1.1, б) прорізають слабкі шари ґрунту і входять торцем в міцні ґрунти. Під дією вертикальної сили паля отримує переміщення, достатнє для виникнення сил тертя між бічною поверхнею палі і ґрунтом. В цьому випадку навантаження на ґрунт передається як бічною поверхнею, так і торцем палі. Несуча здатність їх визначається сумою опору сил тертя по її бічній поверхні і опором ґрунту під нижнім кінцем.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

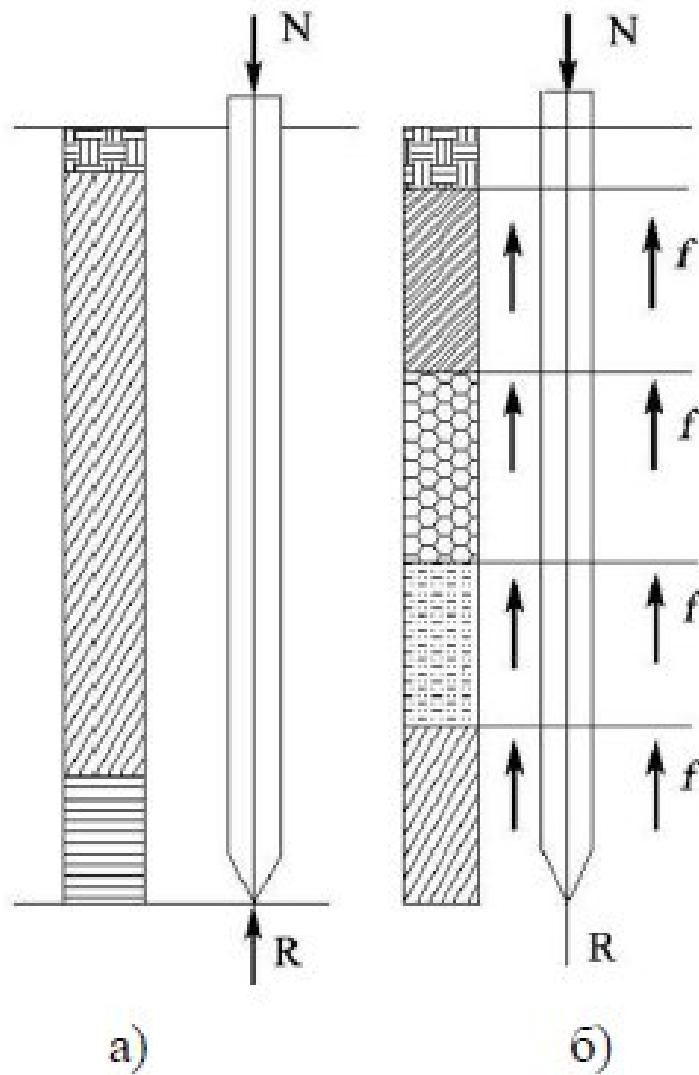


Рис. 1.1 Взаємодія палі в ґрунті:

а – паля-стояк, б – висяча паля

Для будування пальових фундаментів методами вдавлювання та забивання найчастіше використовують гладкі палі призматичної (рис. 1.2) і циліндричної форм.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рис. 1.2 Гладкі призматичні палі

З ціллю отримання міцної конструкції палі армують [(1)]. Для цього використовують стрижньову гарячекатану арматуру періодичного профілю класу А400С згідно з ДСТУ 3760; класів А300 та А400 згідно з ДСТУ 3760.

Поширені конструкція устрою залізобетонних палей (рис. 1.3):

- а – призматична з поперечним армуванням стовбура;
- б – призматична без поперечного армування стовбура;
- в – призматична з круглою порожниною;
- г – порожниста кругла.

					ДІП. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

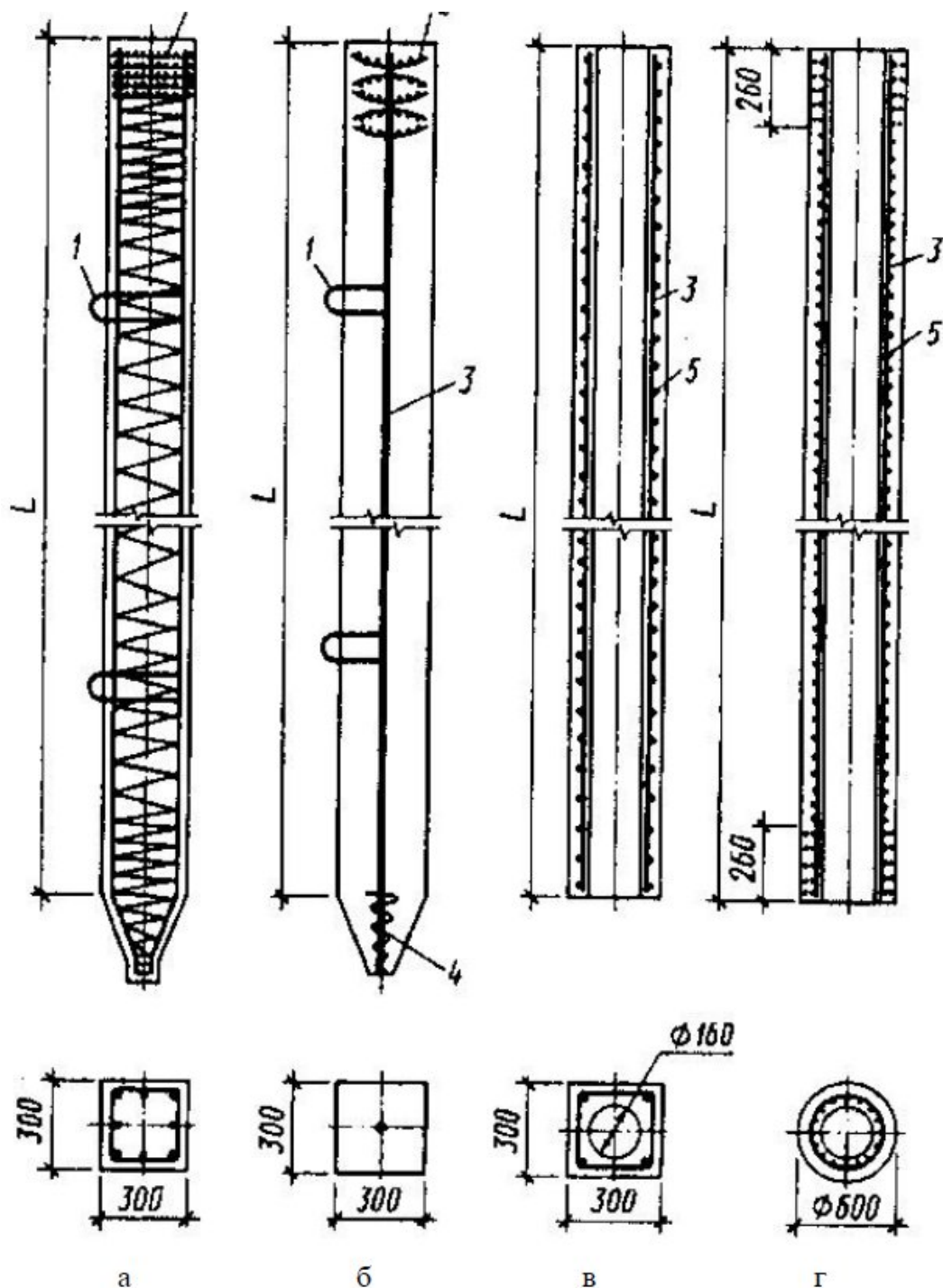


Рис. 1.3 Конструкція залізобетонних паль

У кінці минулого і на початку нового сторіччя компанією ВІФ (м. Київ) було розроблено та запатентовано нові ефективні палі [(2)]. Найбільшого поширення набули палі з вертикальних елементів, об'єднаних діафрагмами та палі трапецеїдального поперечного перерізу з розширеннями на бічній поверхні. Завдяки таким конструкціям пальові фундаменти мають більшу стійкість у плані навантаження за рахунок ущільнення ґрунту (рис. 1.4).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Схема 1
Палі без розширень



Зона ущільнення

Схема 2
Палі з двома ярусами розширень



Зона ущільнення

Схема 3
Палі з трьома ярусами розширень



Зона ущільнення

Рис. 1.4 Палі трапецеїдального поперечного перерізу з розширеннями на бічній поверхні

Сталеві палі (рис. 1.5) використовують під час проведення тимчасового й короткострокового будівництва, особливо в разі наявності щільних і вивітрюваних скельних ґрунтів.

До переваг сталевих палей відносять невелику масу, високу міцність, простота виготовлення, транспортабельність і можливість забивати їх у міцних ґрунтах. Сталеві палі просто стикуються по довжині за допомогою електрозварювання із застосуванням накладок із сталевого прокату.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Рис. 1.5 Металеві палі

До недоліком сталевих палей відносять підвищену корозію матеріалу в зоні змінюваної вологості. З огляду на економічні показники застосовувати такі палі не вигідно.

Гвинтові палі застосовуються в нескельних ґрунтах для влаштування несучих або комбінованих (несучих та огорожувальних) фундаментних конструкцій.

Гвинтові палі (рис. 1.6) складається з металевої труби, хрестоподібного наконечника і спіральної навивки, що забезпечують занурення палі шляхом її обертання в поєднанні з вдавлюванням. Металеві труби можуть мати зовнішній діаметр 100...600 мм та довжину до 12 м. Хрестоподібний наконечник виготовляється з двох металевих загострених пластин, зварених у вигляді хреста між собою. Залежно від технології пристрою гвинтові палі наконечник може бути знімним і залишаються в ґрунті після занурення палі до проектної позначки або глухим, що закриває нижній кінець палі. Спіральна

										Арк.
										11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ					

Для фундаментів використовують, як правило, бетонні та залізобетонні набивні палі, інші типи паль в основному застосовують для штучного покращення властивостей ґрунтів основ. За способом виготовлення розрізняють палі без оболонок, з оболонкою і з оболонкою, що вилучається з ґрунту.

Послідовність виготовлення буронабивних паль (рис. 1.7) передбачає наступні технологічні операції:

- 1) влаштовують свердловину;
- 2) занурюють у свердловину оболонку палі – обсадну колону (сталеву трубу);
- 3) видаляють ґрунту з обсадної колони;
- 4) занурення в колону армокаркасу звареного зі сталеві арматури;
- 5) заповнення колони бетоном;
- 6) видалення обсадних труб.

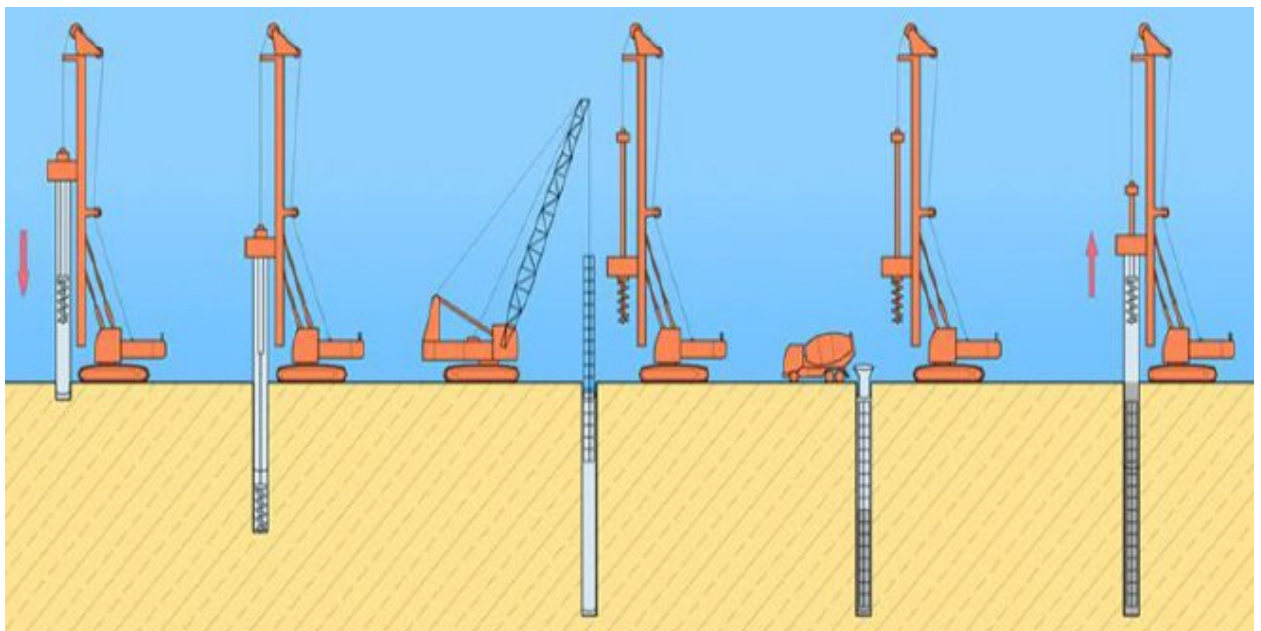


Рис. 1.7 Послідовність виготовлення буронабивних паль

Застосування буронабивних палевих фундаментів менш поширено ніж фундаментів створених забивними палями. Це пов'язано з багатоетапним та трудомістким створенням буронабивних паль.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Дерев'яні палі дуже давно використовуються у будівництві. Перевагами дерев'яних палей є їх невелика маса, досить висока міцність та простота виготовлення. Дерев'яні палі можна занурити у ґрунт шляхом забиття або віброзануренням.

Дерев'яні палі (рис. 1.8) важко забиваються в крупнозернисті та гравісті піски і майже не забиваються у гравій та гальку. Недоліком дерев'яних палей є те, що вони можуть загнитися в зоні змінної вологості при розміщенні палей вище за горизонт ґрунтових вод. Для уникнення цього в постійних спорудах голови палей повинні бути завжди розташовані нижче за горизонт ґрунтових вод не менше ніж на 0,5 м. До недоліків дерев'яних палей відноситься також обмеженість їх розмірів у разі виготовлення з одиночних колод і пов'язана з цим їх низька здатність, що несе. Число палей у фундаменті виходить зазвичай великим.

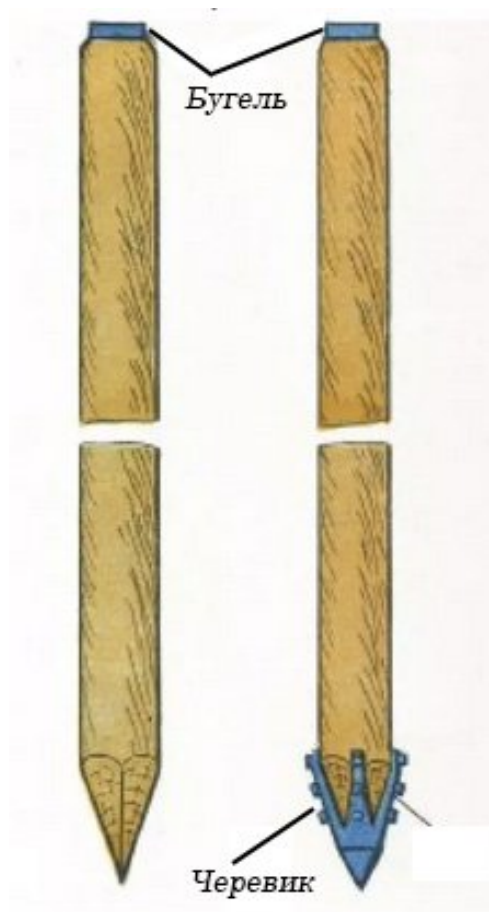


Рис. 1.8 Дерев'яні палі

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ				

1.2 Конструкції пальових фундаментів

Забивання паль за допомогою копрового обладнання найбільш стародавній та розповсюджений метод будування фундаментів для житлових і промислових будов. В залежності від призначення, основи і навантаження забивають дерев'яні, сталеві та бетонні палі.

Залежно від характеру розміщень паль у плані розрізняють наступні види пальових фундаментів: одиночні палі, стрічкові фундаменти з розміщенням паль рядами (рис. 1.9, а), пальові кущі (рис. 1.9, б), суцільне пальове поле (рис. 1.9, в).

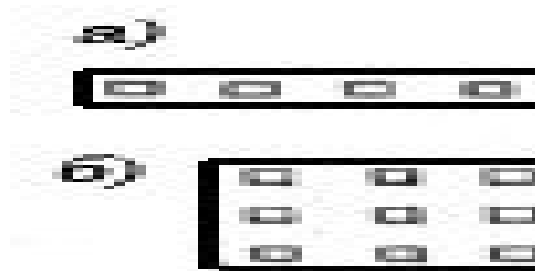


Рис. 1.9 Пальові фундаменти у плані

Послідовність забивання паль може бути рядова, спіральна і секційна (рис. 1.10).



Рис. 1.10 Послідовність забивання паль

Стрічкові пальові фундаменти влаштовують під стінами будівель та іншими протяжними конструкціями.

Пальові кущі - це групи паль, зазвичай розташовані під колонами. Кількість паль в одному кущі повинно бути не менше трьох, але в деяких випадках дозволяється двох паль.

Суцільне пальове поле влаштовують під важкі споруди, коли палі розташовуються по деякій сітці під всією спорудою або його частиною. На суцільне пальове поле спираються колони, стіни, обладнання споруди.

Пальовим полем прийнято називають також систему палей, які розміщені під будівлею, що складається з одиночних палей, стрічок і куштів.

Щоб усі палі фундаменту працювали одночасно, їх об'єднують залізобетонною плитою або так званим балкою-ростверком(), який забезпечує розподіл навантаження на палі та рівномірність просідання або при несиметричному завантаженні – осідання з деяким нахилом.

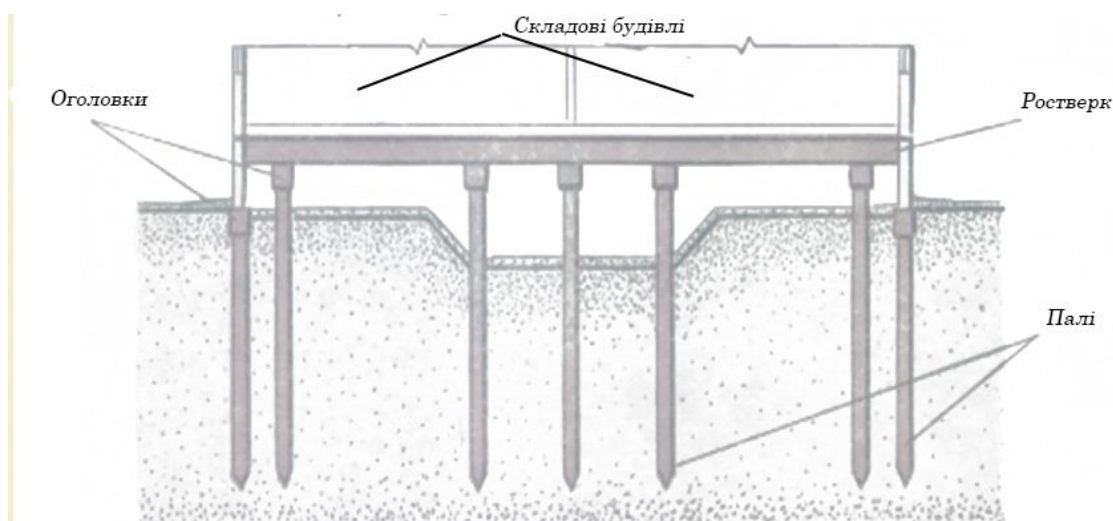


Рис. 1.11 Пальовий ростверк

Розрізняють три типи пальових ростверків: низький (Рис. 1.12, а), підвищений (Рис. 1.12, б) та високий (Рис. 1.12, в).

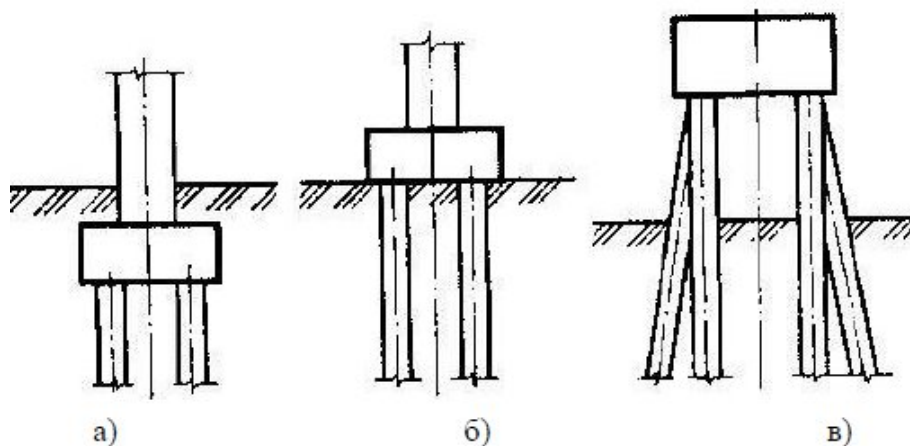


Рис. 1.12 Пальові ростверки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Низький пальовий ростверк будують нижче поверхні ґрунту. Цій ростверк може передавати частину вертикального тиску на ґрунт основи по своїй підошві і при практично щільному зворотному засипці сприймати тиск від горизонтальних сил. У випадку коли ростверк знаходиться в зоні сезонного промерзання, на нього при промерзанні ґрунту можуть впливати нормальні і дотичні сили пучення відповідно по підошві та бічним поверхням.

Підвищений пальовий ростверк не заглиблюють у ґрунт, а розташовують безпосередньо на його поверхні. У зв'язку з цим відпадає необхідність у пристрої опалубки знизу ростверку. Підвищені ростверки не можуть передавати тиск на ґрунт основи.

Високий пальовий ростверк знаходиться вище поверхні ґрунту. Так як верхня частина вертикальних паль має невеликий опір поперечному вигину при дії горизонтальних навантажень, крім вертикальних паль забивають похилі палі по двох-чотирьох напрямках. На голову палі насаджують наголовник і на це розширення встановлюють панелі будинків, що несуть.

1.3 Обладнання для занурення паль

В залежності від умов будівельного майданчика можливі декілька варіантів розташування копрового обладнання [(3)]. Так на початку будівництва копрового обладнання встановлюють на поверхні (рис. 1.13, а). Якщо котлован має досить великі розміри, тоді копер монтують на риштуванні в котловані (рис. 1.13, б). У випадку робіт у котловані з невеликими розмірами копрове устаткування розміщують на поверхні поряд з котлованом (рис. 1.13, в). Ще один варіант установки копра – на копровому містку у відкритому котловані (рис. 1.13, г).

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

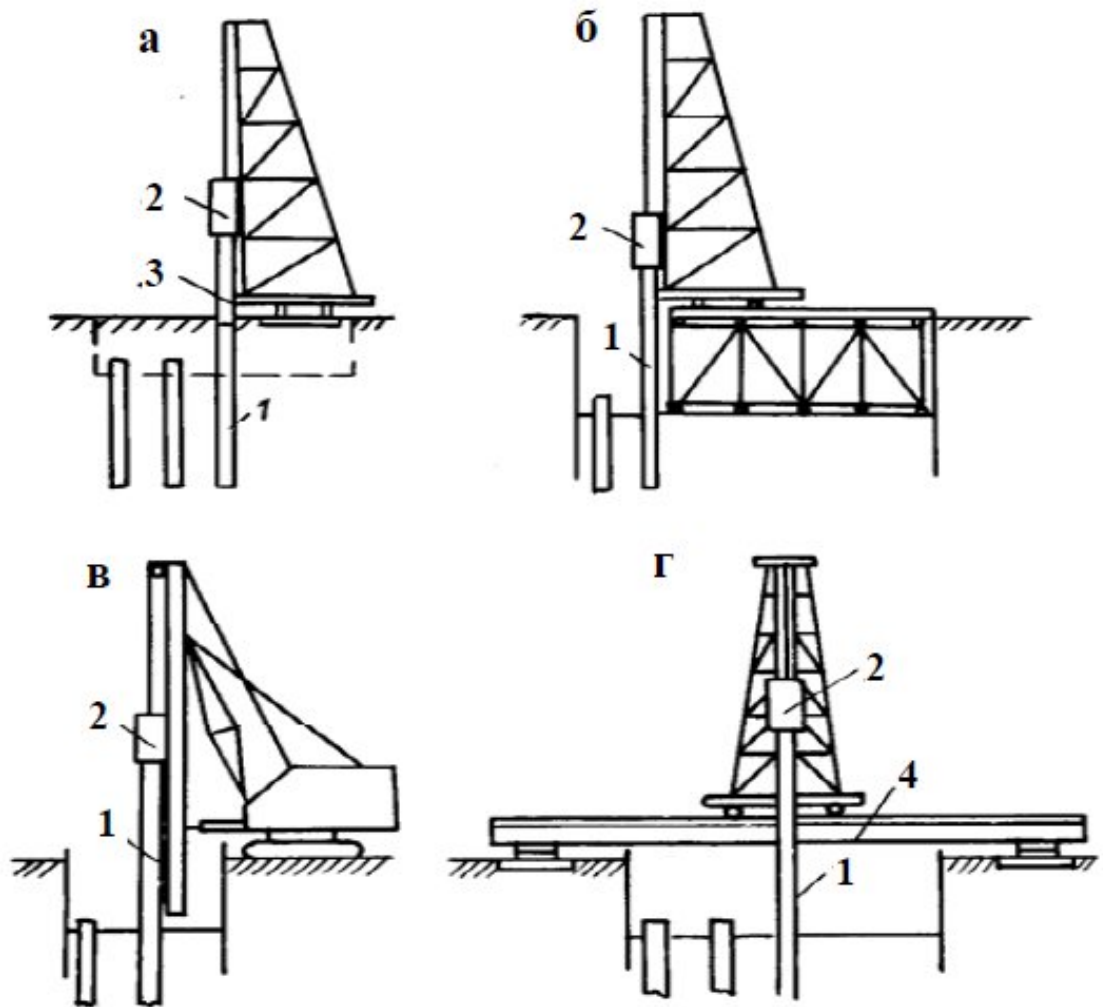


Рис. 1.13 Варіанти розташування копрів на будмайданчиках

1 – палець; 2 – молот; 3 – підбабок; 4 – підкопровий місток

Для забивання палей застосовують молоти різного принципу дії. У 30...50 роках минулого століття на будівельних майданчиках були поширені пароповітряні молоти, пізніше, їх змінили дизель-молоти. Сьогодні поступово збільшується використання гідромолотів, які більш екологічні.

Пароповітряні молоти бувають одиничної та подвійної дії. У склад пароповітряного молоту одиничної дії (рис. 1.14) входять: 1 – горловина; 2 – паророзподільний кран; 3 – кришка; 4 – корпус циліндра; 5 – поршень; 6 – компресійні кільця; 7 – шток; 8 – отвір; 9 – пальці; 10 – стріла; 11 – паля. Пароповітряні молоти одиничної дії використовують для занурення палей масою 12...15 т у нескельні ґрунти.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

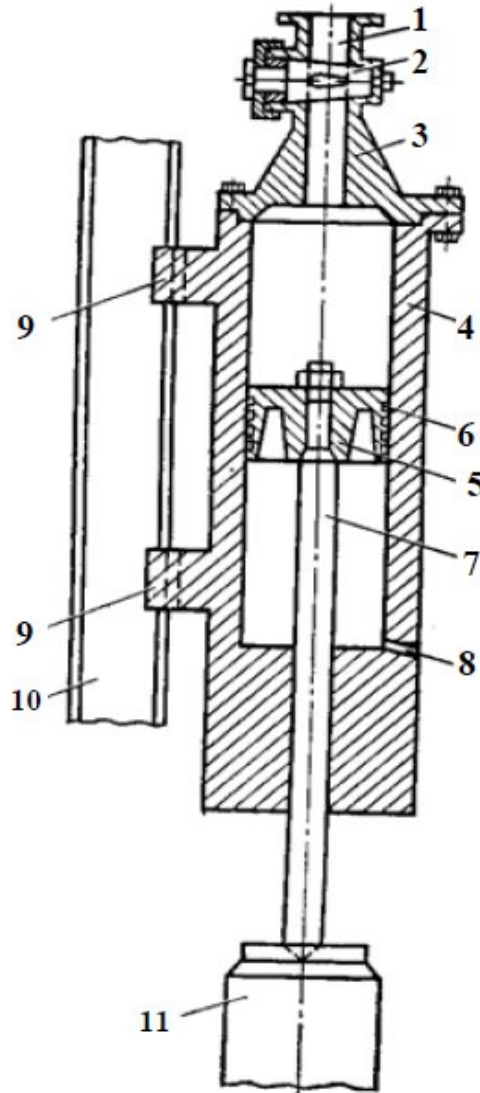


Рис. 1.14 Пароповітряний молот одиничної дії

У склад пароповітряного молоту подвійної дії (рис. 1.15) входять: 1 – корпус; 2 – бойок; 3 – шток; 4 – ковадло; 5 – коробка; 6 – захвати.

Пароповітряні молоти подвійної дії використовують для занурення палів і шпунта масою 6...7 т у нескельні ґрунти. До недоліків пароповітряних молотів обох видів відносять невелику продуктивність і необхідність використання котельного або компресорного обладнання. Не зважаючи на ці недоліки за кордоном пароповітряні молоти продовжують використовувати з екологічних міркувань і високій автоматизації їх керуванням.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ

Арк.

19

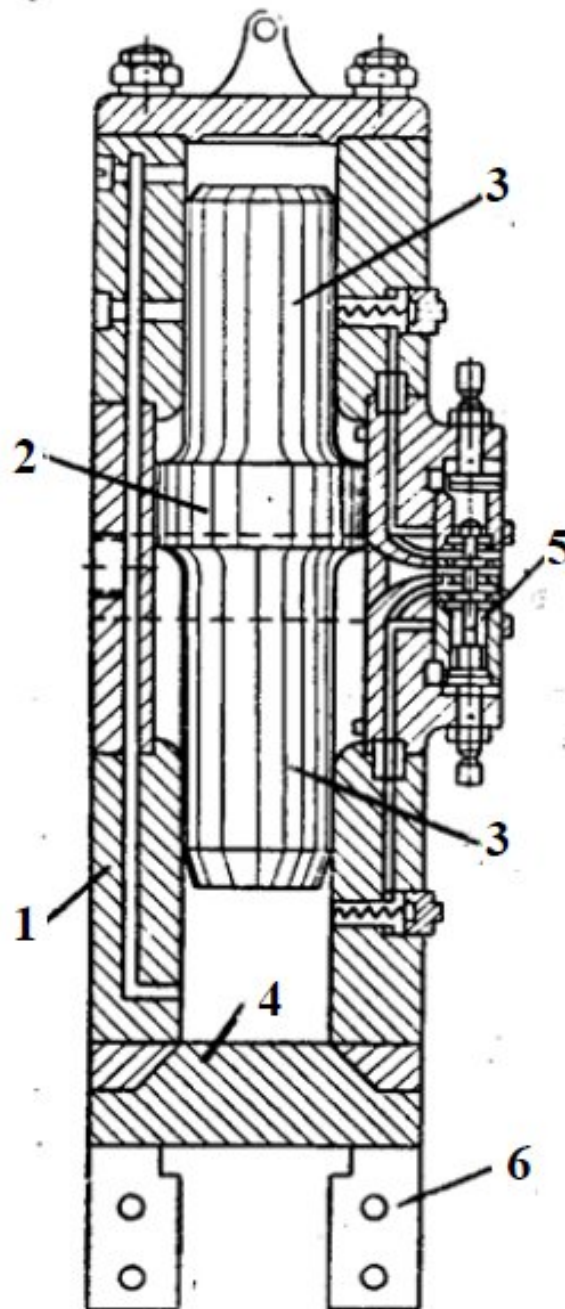


Рис. 1.15 Пароповітряний молот подвійної дії

У сучасному будівництві паливих фундаментів широко застосовують дизель-молоти. Це прямодіючий двотактний двигун внутрішнього згорання. За конструкцією напрямних для ударної частини дизель-молоти класифікують як штангові й трубчасті. Штанговий дизель-молот (рис. 1.16) має досить просту конструкцію яка складається з наступних частин: 1 – циліндр; 2 – напрямні штанги; 3 – поршень; 4 – наголовник; 5 – важіль паливного насоса; 6 – гак для захоплення й підняття циліндра.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ

Арк.

20

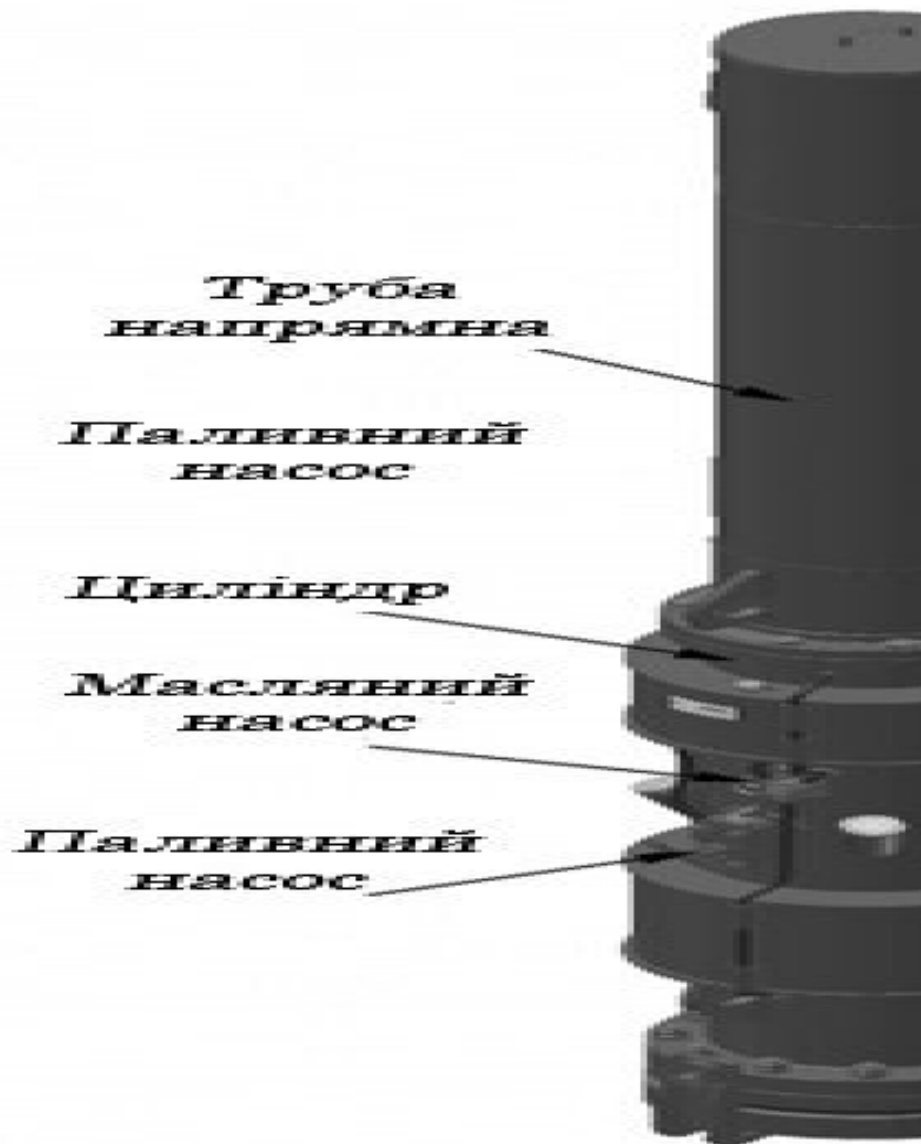


Рис. 1.17 Трубчастий дизель-молот

У трубчастих молотах одиначної дії поршень (рис. 1.18), під час руху в циліндра й по напрямній трубі і створює тиск в циліндрі. Дизель-молот запускають за допомогою механізму під назвою – «кішки», яка входить у зачеплення з кільцевої виточенням поршня. «Кішка», що переміщується лебідкою вгору по напрямній копра, піднімає поршень й автоматично скидає його на заданій висоті. Падаючий поршень відкриває паливний насос, який вприскує паливо в циліндр. У циліндрі від удару поршня об шабот горюча суміш розбризкується й запалюється. Далі поршень підкидається вгору, а гази від палива, що згоріло, викидається в зовнішню середу через отвори в циліндрі

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

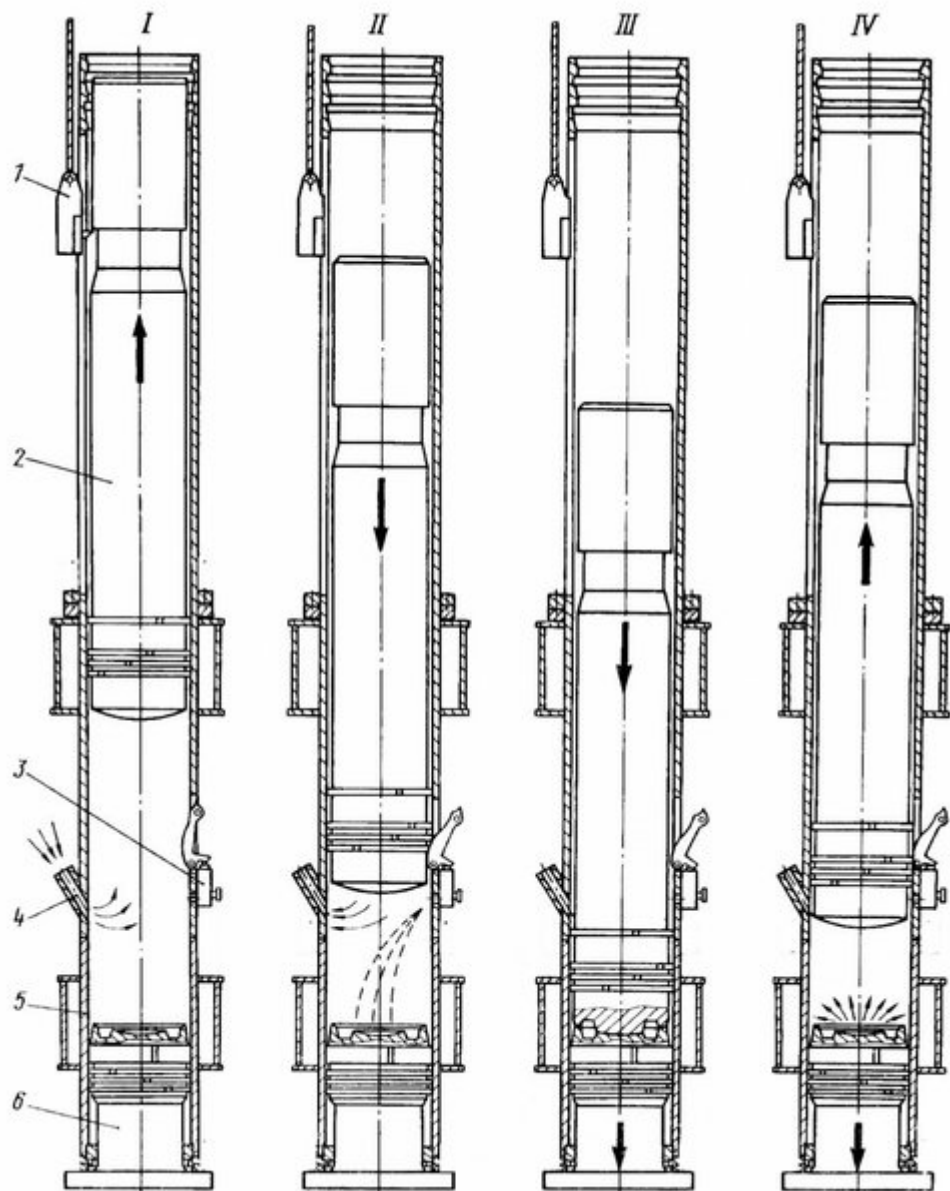


Рис. 1.18 Робочий цикл трубчастого дизель-молота

В останні десятиріччя все більше і більше для будови паливних фундаментів застосовують трубчасті гідромолоти, які не мають значних шкідливих викидів у навколишнє середовище і тому більш екологічні.

Трубчастий гідромолот (рис. 1.19) має у своєму складі: 1 – гідроаккумулятори; 2, 8 – кожух; 3 – гідравлічний шланг; 4 – гідравлічний

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

двигун; 5 – корпус; 6 – ударна маса; 7 – наголовник; 9 – паля; 10 – стріла копра; 11 – кліщі.

Ударну частини в гідравлічних молотах підіймають за гідронасосу, якій подає рідини під поршнем основного гідроциліндра, що з'єднаний штоком із ударною частиною.

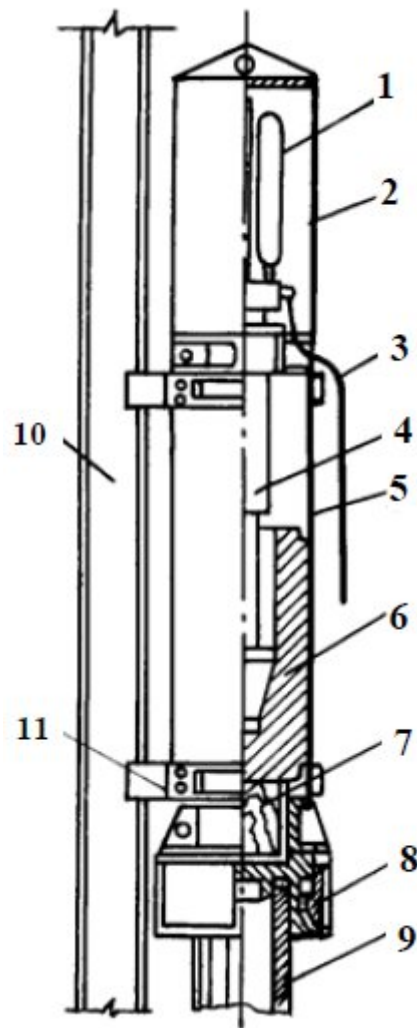


Рис. 1.19 Трубчастий гідромолот

В якості рідини використовують мінеральне масло або вода. Гідронасос забезпечує тиск 30...40 МПа і подачу рідини 0,4...0,7 м³/хв. Система керування забезпечує хід рідини через перепускний клапан з під поршня на його протилежно сторону, тобто гідромолот працює, як машина подвійної дії.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

До переваг гідромолотів відносять можливість у широкому діапазоні керувати їх роботою: змінювати енергію і частоти ударів; забезпечувати паралельну роботу декількох молотів. Гідромолоти використовують для забивання паль у воді.

До недоліків гідромолотів відносять меншу енергію удару порівняно з дизель-молотами зі східними габаритно-масовими параметрами.

Поширеним сьогодні є вібраційний метод занурення паль і паль-оболонки. Особливістю цього методу є можливість заглиблювати оболонки, маса яких в 5...10 разів більша за масу віброзанурювачів, тоді як під час забивання маса ударної частини дизель-молота повинна становити не менше 50% маси палі.

Для занурення паль використовують віброзанурювач, наголовник для його жорсткого кріплення до палі-оболонки, напрямний каркас і технічні засоби вилучення ґрунту з порожнини занурюваної оболонки.

Робота віброзанурювача полягає у створенні спрямованих повздовжніх зусиль щодо синхронних і протилежно спрямованого обертання дебалансів. Вібрація стовбура палі знижує її тертя по ґрунту й забезпечує швидке занурення в незв'язані ґрунти.

Поширення отримали віброзанурювачі KD Hammer KVH300 (рис. 1.20), KD Hammer KVHS350 бічного типу (рис. 1.21) та KD Hammer KVH300. Експлуатаційні характеристики цих віброзанурювачів (таблиця 1.1) дозволяють занурювати у ґрунт широку номенклатуру паль [(4)] .

До недоліку вібраційного методу те що при зануренні занурення (вилучення) шпунта в ґрунтовому масиві навколо нього виникають коливання, що передаються розташованим поруч будівлям і спорудам і здатні спричинити небезпечні явища в їхніх конструкціях підземної і надземної частин. Можливе нерівномірне просідання фундаменту. Шкідливо діє коливання ґрунту і на підземні електричні і водопостачальні комунікації.

Перевагою віброзанурювачів є можливість здійснити за їхньою допомогою не тільки ефективне занурення, а й вилучення з ґрунту шпунта під

						ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
							25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

час статичних зусиль, що трохи перевищують за величиною масу системи, яку вилучають.

Досвід занурення шпунта віброзанурювачами поблизу наявних споруд доводить, що у разі раціонально обраних параметрах їхньої роботи немає необхідності розраховувати рівень небезпеки вимушених коливань у ґрунті, якщо відстань від споруди до найближчого занурюваного шпунта не менше 20 м, а для підземних комунікацій $\geq 2 \dots 3$ м. Шпунт необхідно перевірити на прямолінійність і чистоту порожнин замків; під час витягання шпунта з глинястих ґрунтів необхідно попередньо виконати вібрування шпунтини без підймання протягом 1...1,5 хвилин.



Рис. 1.20 Віброзанурювач KD Hammer KVH300

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26



Рис. 1.21 Віброданурювач KD Hammer KVHS350 бічного типу

Таблиця 1.1

Модельний ряд віброданурювачів

Найменування	Одиниця виміру	Модель		
		KVHT300	KVHT350	KVHT400
Ексцентр. момент	кг/м	5.4	5.4	10.1
Центробіжна сила	бар	660	900	1130
Макс амплітуда	мм	8	12	15
Макс частота	од/хв	2700	2700	2700
Затискна сила	т	40	44	48
Гідравл тиск	бар	200-250	220-250	220-250
Витрата Масла	л/хв	170-210	180-220	200-250
Підхід екскаватору	т	20-30	30-39	38-55
Кут повороту	гр	360		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ

Арк.

27

В умовах слабких ґрунтів застосовують метод вдавлювання паль і сталевого шпунта. Цей метод досить статичний, тому під час вдавлювання не значне динамічне збурення, що поширюються в ґрунті. Метод потребує застосування масивного обладнання (рис. 1.22), щоб створити зусилля надавлювання не менше ніж 900 кН, що за умов роботи в прилеглий до наявних будівель зоні може перешкоджати розміщенню обладнання.

В умовах будівельних майданчиків шпунт можна занурювати за допомогою установок (), призначених для вдавлювання паль, робочий контактний вузол яких оснащується як вставками, що повторюють профіль шпунта так і спеціалізованими установками



Рис. 1.22 Обладнання для вдавлювання паль

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



Рис. 1.23 Обладнання для вдавлювання шпунту

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2 СХЕМИ ПРОЦЕСУ ЗАНУРЮВАННЯ ПАЛІ У ҐРУНТ

Перетворення енергії вдару дизель-молота в енергію рухів палі виробляється наголовником. Сучасні конструкції наголовників різноманітні та недовговічні, проте, забезпечують захист вірнішої частини палі від руйнування ударом.

Під час занурення палі відбувається витіснення в боки і вглиб об'єму ґрунту що веде до зміни його структури та фізико-механічних характеристик. Відбувається ущільнення навколишнього палю ґрунту, що більше спостерігається для пухких та середньої щільності пісків, а також ненасичених водою пілувато-глинистих ґрунтів. Глини і суглинки, у яких усі пори заповнені водою, ущільнюються лише в результаті віджимання порової води. Деформація ґрунту розвивається у вигляді зміщення твердих частинок у боки і вгору, утворюючи на поверхні навколо палі випор ґрунту [(4)].

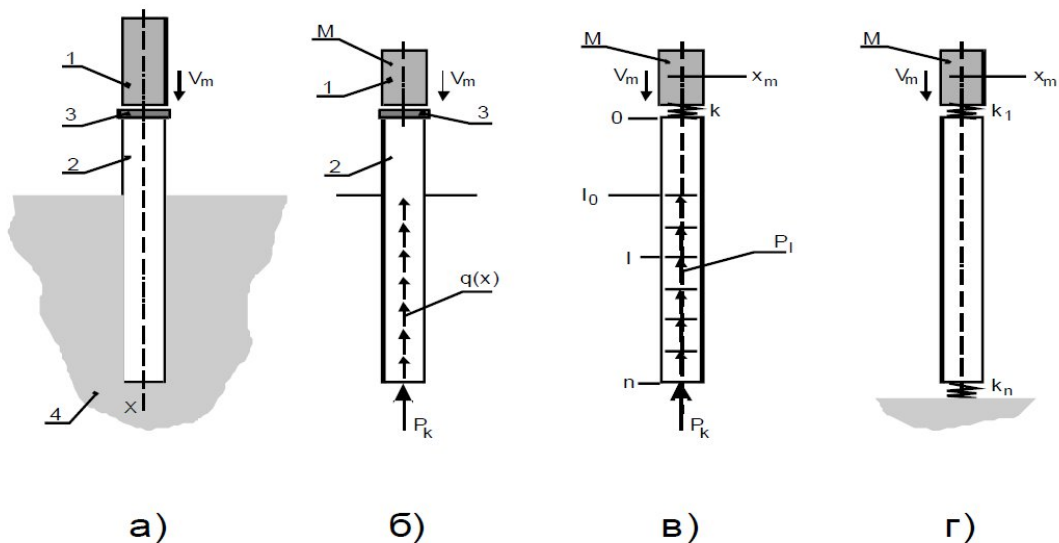


Рис. 2.1 Розрахункові схеми при ударному зануренні палі

Для математичного моделювання занурення палі-оболонки застосовують декілька розрахункових схем, які базуються на експериментальних даних і ідеалізаціях процесу [(5)]. Найбільш проста – пластична модель (рис. 2.2, а), яка не потребує параметри визначення параметрів жорсткості і в'язкості системи. Більш складна пружно-пластична модель (рис. 2.2, б) яка має пружні зв'язки, що моделюють пружність ґрунту та проміжних елементів. Наступну

модель називають пружно-пластичною з приєднаною масою ґрунту (рис. 2.2, в). За цією моделлю під час руху оболонки після удару приєднана маса переміщається разом з оболонкою, поки сили пружності пружин не досягнуть значень опору по бічній поверхні. Після цього оболонка починає ковзати у ґрунті, а подальша взаємодія подібна взаємодії попередньої моделі. Найбільш складною схемою взаємодії оболонки з ґрунтом рахують модель пружнов'язкопластичну з приєднаною масою ґрунту (рис. 2.2, г).

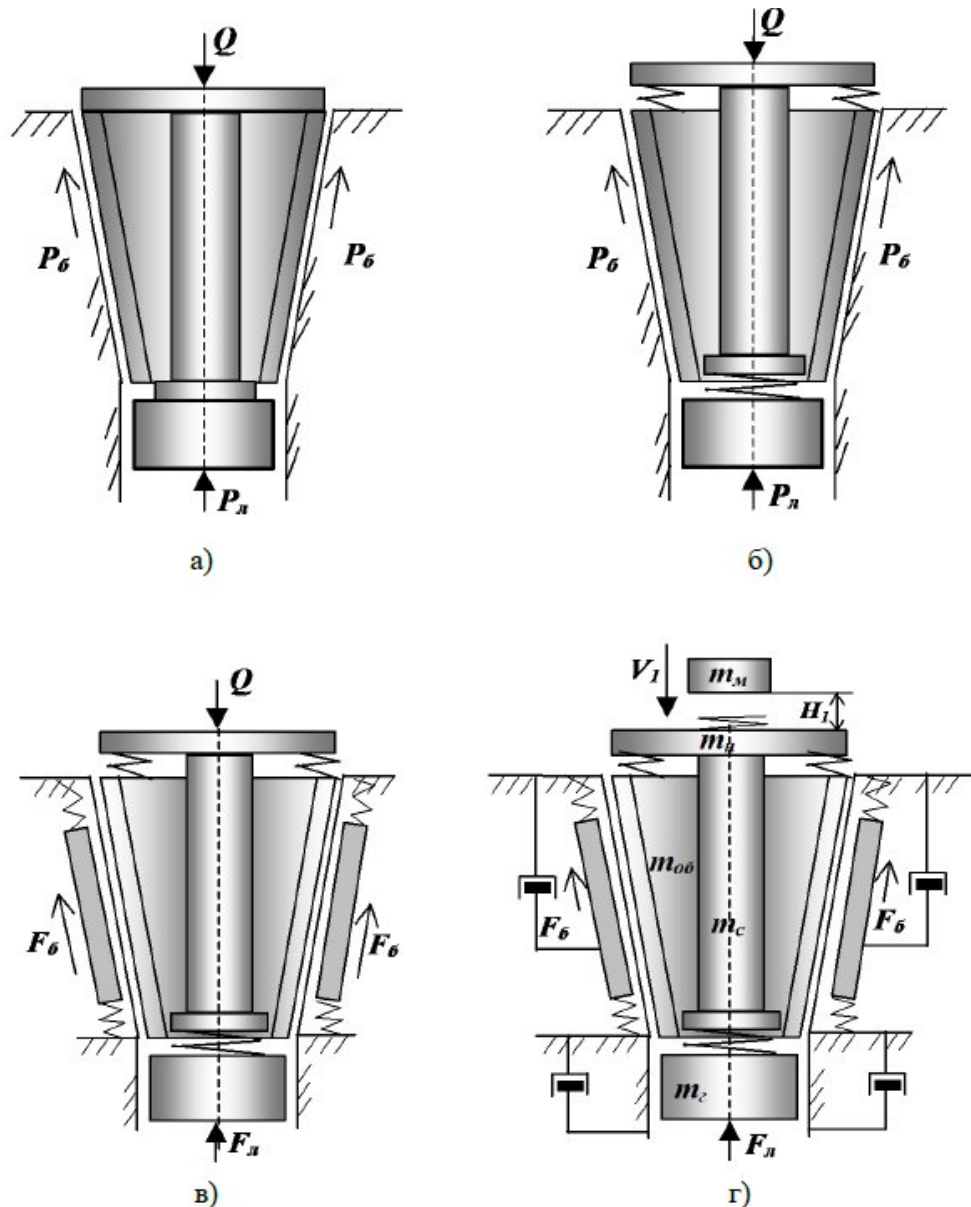


Рис. 2.2 Динамічні моделі системи «молот-наголовник-оболонка-ґрунт»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3 ДИНАМІКА ПРОЦЕСУ ЗАНУРЮВАННЯ ПАЛЬ У ҐРУНТ

Занурення палів у ґрунт є складним динамічним, що залежить від багатьох параметрів. Насамперед важливі характеристики палів, технологічного обладнання та ґрунту. При застосуванні ударного методу все зводиться до підбору обладнання та розрахунку необхідної енергії молота для забезпечення занурення палів.

3.1 Напруження у палі під час занурення у ґрунт

Під час забивання та призначенням раціональних режимів занурення палів виникає необхідність визначення напружень в її конструкції. Для визначення цих напружень застосовують хвильову теорію удару, яка розглядає удар по довгому ізотропному стрижню, нехтуючи при цьому дією всіх напружень, крім спрямованих вздовж стрижня. При цьому рішення зводиться до рівняння Лапласа або хвильового рівняння (6)

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = \frac{E}{\rho} \times \frac{d^2 u}{dx^2} \text{ або } \frac{d^2 u}{dt^2} = a^2 \times \frac{d^2 u}{dx^2}$$

де u – осьове переміщення поперечного перерізу стрижня;

x – початкова координата розрізу, що розглядається;

t – час;

E – модуль пружності матеріалу стрижня;

ρ – густина матеріалу стрижня;

a – швидкість поздовжньої хвилі або швидкість звуку у стрижні.

Рішення рівняння вперше було одержано Нав'є у вигляді нескінченних тригонометричних рядів. Пізніше завдання про поздовжній удар по стрижню жорсткого тіла було вирішено Сен-Венаном, який застосував метод Буссінеска. Рішення записується у вигляді розривних функцій

$$u = f(at - x) \pm (at - x)$$

Рішення дозволяє отримати переміщення швидкості та зусилля у довільному перерізі стрижня у будь-який момент часу. Напруги на фронті прямої хвилі за теорією Сен-Венана зростають стрибкоподібно від 0 до $V_0/a \cdot E$

									Арк.
									33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ				

(V_0 – швидкість вантажу перед ударом), а за фронтом хвилі зменшуються за експонентною залежністю.

Теорія Сен-Венана має такі припущення:

- ~ ударний молот є тілом із нескінченною жорсткістю;
- ~ тіло, що ударяється, являє собою довгий ізотропний стрижень з пружно-лінійними характеристиками;
- ~ поверхні, що стікаються, є ідеально рівними паралельними площинами, розташованими перпендикулярно до поздовжньої осі стрижня;
- ~ бічні поверхні стрижня абсолютно вільні, а сам стрижень розглядається або вільним або жорстко закріпленим;
- ~ в результаті удару у стрижні формується поздовжня хвиля і всі точки довільного поперечного перерізу стрижня, захоплені цією хвилею, мають постійні швидкості.

Не зважаючи на таку значну ідеалізацію процесу удару, теоретичні розрахунки добре збігаються з експериментальними дослідженнями занурення палі у ґрунт.

Під впливом енергії удару дизель-молоту палі поступово занурюється у ґрунт, при цьому забивання палі здійснюють серією ударів, що йдуть безперервно один услід за одним, так званими залозами. Величину залоза приймають 5...10, 10...20 і 20...30 ударів відповідно для дизельного, паровоздушного та механічного молотів. Після кожного залоза заміряють величину занурення палі у ґрунт. Забивання припиняють тоді, коли палі досягає проектної позначки або коли фактичне (заміряне спеціальними вимірювачами) занурення палі від кожного удару молоту (як середньої величина від кількості ударів в одному залозі), поступово зменшуючись у міру заглиблення палі, досягає розрахункової (заданої проектної або контрольної) відмови s_a - постійної величини, визначеної за формулою (7)

						ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			34

$$s_a = \frac{h A E_p}{\frac{\gamma_k F_d}{\epsilon} / M + h A \frac{\ddot{\sigma}}{\sigma}} \times \frac{G_h + e^2 G_b}{G_h + G_b},$$

де η - коефіцієнт, який залежить від пружних властивостей матеріалу палі та приймається за таблицями будівельних норм; A - площа, що обмежена зовнішнім контуром суцільного або порожнистого поперечного перерізу ствола палі (незалежно від наявності або відсутності вістря); M - коефіцієнт, який приймають при забиванні палі молотами ударної дії $M = 1$, а при віброзанурюванні палі - залежно від виду ґрунту під їхніми нижніми кінцями; γ_k - коефіцієнт надійності за ґрунтом; ϵ - коефіцієнт відновлення удару; $F_d = \gamma_k p$ - розрахункова несуча здатність ґрунту основи поодинокій палі; E_p - енергія удару, G_h - загальна вага дизель-молоту; G_b - вага палі з наголовником і підбабка.

Заміри параметрів занурення палі дозволяють отримати характеристики процесу у табличній формі. Виконувати аналітичний аналіз даних у табличній формі не дуже зручно, тому виникає потреба в отриманні аналітичних формул, що описують динаміку процесу: швидкість занурення в залежності від глибини; зміна прискорення занурення зі зростанням глибини; час занурення до проектної глибини; час проходження шарів ґрунту.

3.2 Нелінійна регресія загального виду швидкості занурення палі

Для отримання параметрів регресії була використана експериментальна залежність швидкості занурення палі в глинистий ґрунт

Таблиця 3.1

Експериментальна залежність швидкості занурення палі в глинистий ґрунт

Глибина занурення палі, м	2	4	6	8	10	12	13
Швидкість занурення палі, м/хв	3,4	1,3	0,8	0,6	0,4	0,32	0,3

Аналіз успішності обрання закону швидкості занурення палі визначається мінімальним значенням залишкової дисперсії

$$N := 7 \quad i := 0..6$$

$$a := \text{intercept}\left(\frac{1}{z}, v\right) \quad b := \text{slope}\left(\frac{1}{z}, v\right)$$

$$a = -0.343$$

$$b = 7.311$$

$$v1(z) := a + \frac{b}{z}$$

$$S_{\text{зал}} := \frac{1}{N-1} \cdot \left[\sum_i (v_i - v1(z_i))^2 \right]$$

$$S_{\text{зал}} = 9.644 \times 10^{-3}$$

Рис. 3.3 Алгоритм визначення характеристик гіперболічної регресії першого виду

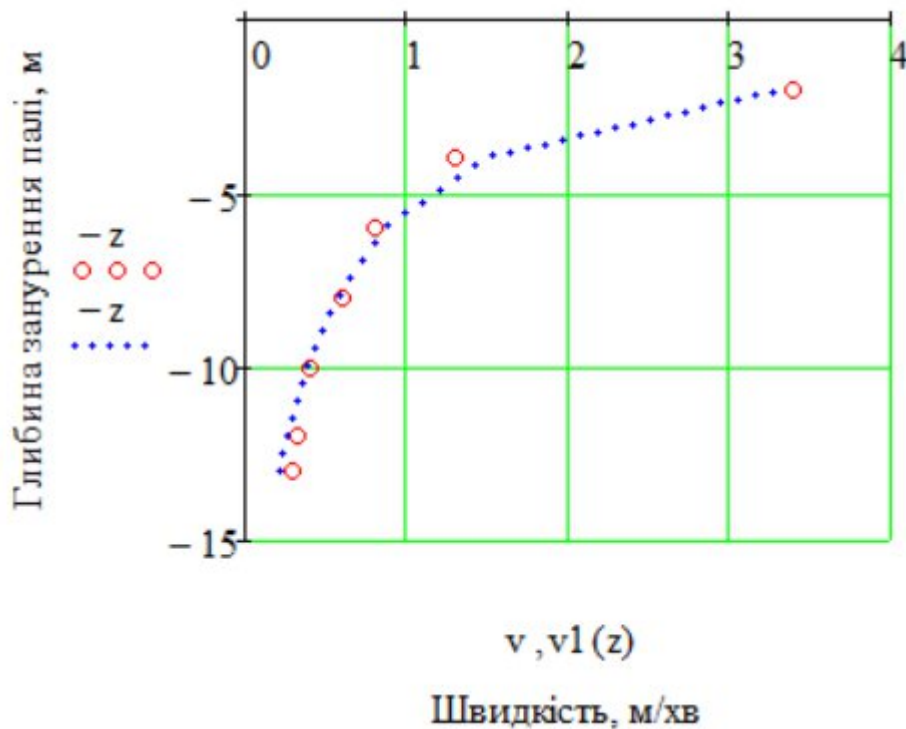


Рис. 3.4 Графік швидкості занурення палі за формулою гіперболічної регресії першого виду

3.2.3 Гіперболічна регресія другого виду швидкості занурення палі

Загальний вигляд формули гіперболічної регресії

$$v = \frac{1}{a + bz}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розрахунок параметрів здійснений у системі інженерних розрахунків Mathcad (рис. 3.5). Графік зміни швидкості занурення палі за формулою гіперболічної регресії (рис. 3.6) достатньо добре відображає динаміку руху палі.

$$\begin{aligned}
 \underline{a} &:= \text{intercept}\left(z, \frac{1}{v}\right) & \underline{b} &:= \text{slope}\left(z, \frac{1}{v}\right) \\
 a &= -0.385 & b &= 0.284 \\
 v2(z) &:= \frac{1}{a + b \cdot z} & S_{\text{зал}} &:= \frac{1}{N - 1} \left[\sum_i (v_i - v2(z_i))^2 \right] \\
 S_{\text{зал}} &= 0.708
 \end{aligned}$$

Рис. 3.5 Алгоритм визначення характеристик гіперболічної регресії другого виду

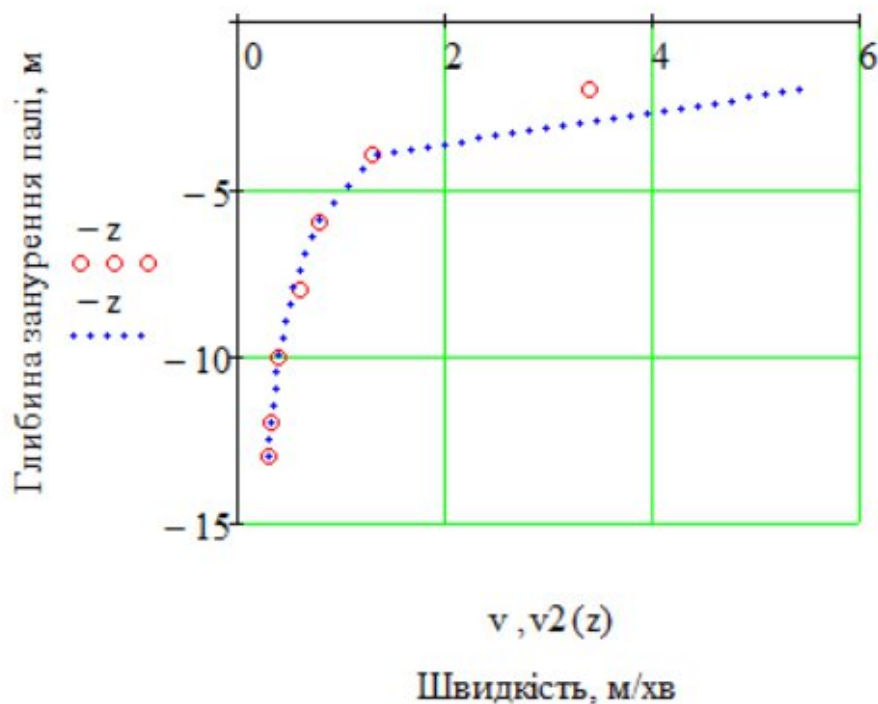


Рис. 3.6 Графік швидкості занурення палі за формулою гіперболічної регресії другого виду

3.2.4 Експонентна регресія швидкості занурення палі

Розглядається залежність наступного виду

$$v = ae^{bz}$$

Розрахунок параметрів, як у попередньому пункті зроблено у системі Mathcad (рис. 3.7). Графік швидкості занурення палі (рис. 3.8).

$$a := e^{\text{intercept}(z, \ln(v))} \quad b := \text{slope}(z, \ln(v))$$

$$a = 3.51 \quad b = -0.205$$

$$v3(z) := a \cdot e^{b \cdot z} \quad S_{\text{зал}} := \frac{1}{N-1} \cdot \left[\sum_i (v_i - v3(z_i))^2 \right]$$

$$S_{\text{зал}} = 0.212$$

Рис. 3.7 Алгоритм визначення характеристик експонентної регресії

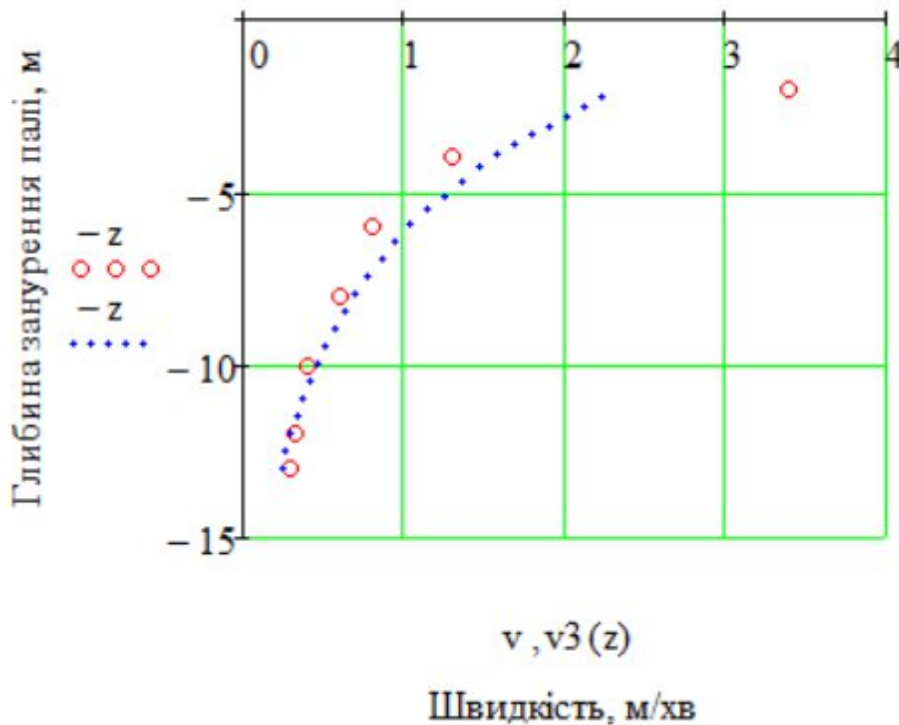


Рис. 3.8 Графік швидкості занурення палі за формулою експонентної регресії

3.2.5 Ступенева регресія швидкості занурення палі

Формула регресії

$$v = az^b.$$

Алгоритм визначення характеристик a і b для відображень на (рис. 3.9), а графік швидкості занурення палі за формулою ступеневої регресії (рис. 3.10).

З врахуванням від'ємного знаку коефіцієнту b перетворюється

$$v = \frac{a}{z^b}.$$

$$a := e^{\text{intercept}(\ln(z), \ln(v))}$$

$$b := \text{slope}(\ln(z), \ln(v))$$

$$a = 8.211$$

$$b = -1.296$$

$$v4(z) := a \cdot z^b$$

$$S_{\text{зал}} := \frac{1}{N-1} \cdot \left[\sum_i (v_i - v4(z_i))^2 \right]$$

$$S_{\text{зал}} = 1.567 \times 10^{-3}$$

Рис. 3.9 Алгоритм визначення характеристик a і b для ступеневої регресії

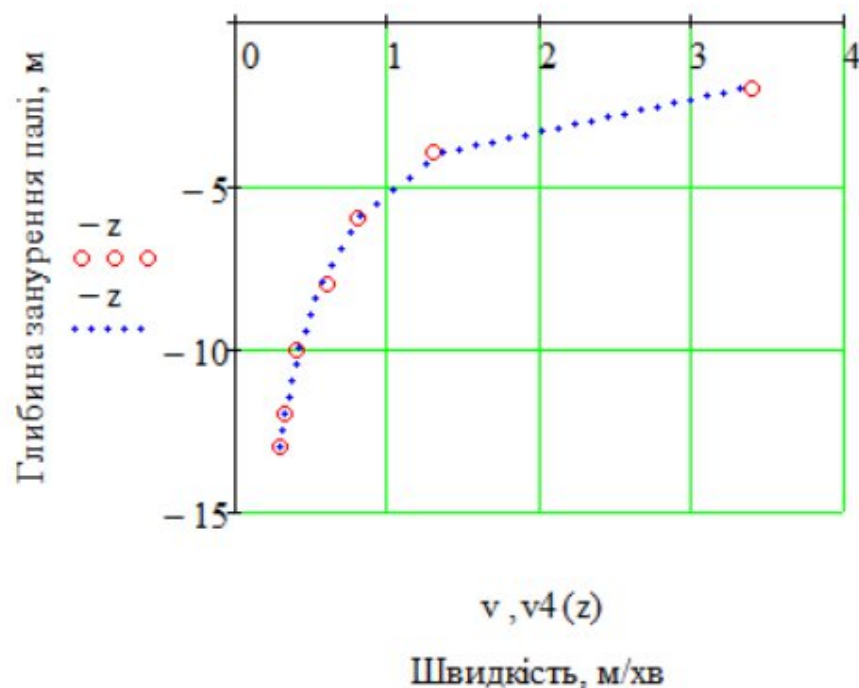


Рис. 3.10 Графік швидкості занурення палі за формулою ступеневої регресії

3.2.6 Показова регресія швидкості занурення палі

Формула регресії у показовому виді

$$v = ab^z.$$

Алгоритм визначення характеристик a і b для відображень на (рис. 3.11), а графік швидкості занурення палі за формулою показової регресії (рис. 3.12).

$$a := e^{\text{intercept}(z, \ln(v))} \quad b := e^{\text{slope}(z, \ln(v))}$$

$$a = 3.51 \quad b = 0.814$$

$$v5(z) := a \cdot b^z \quad S_{\text{зал}} := \frac{1}{N-1} \cdot \left[\sum_i (v_i - v5(z_i))^2 \right]$$

$$S_{\text{зал}} = 0.212$$

Рис. 3.11 Алгоритм визначення характеристик a і b для показової регресії

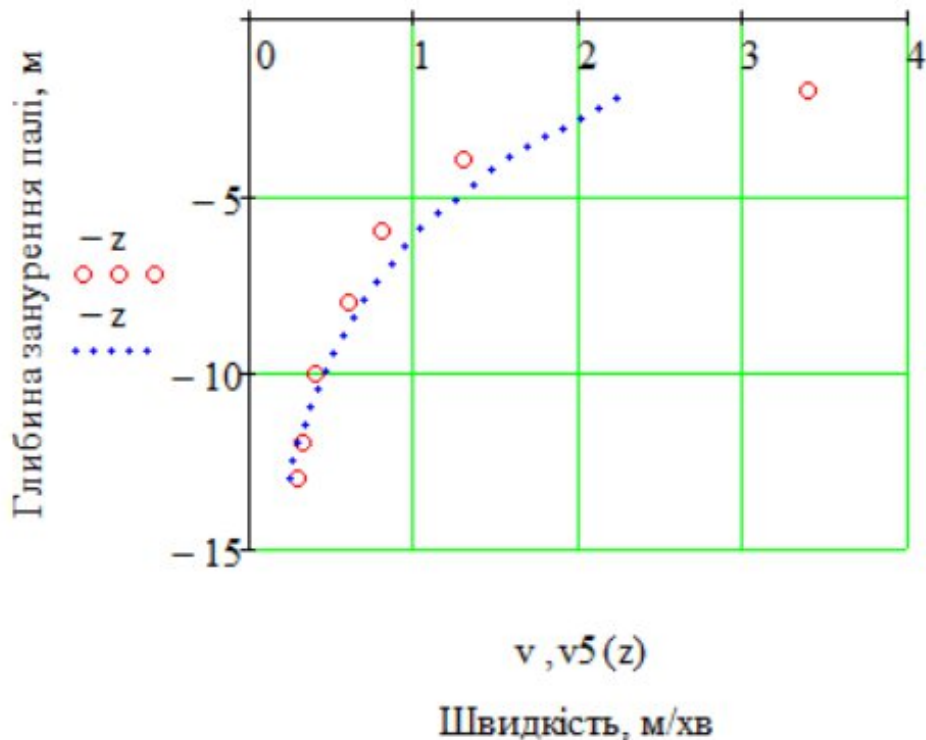


Рис. 3.12 Графік швидкості занурення палі за формулою показової регресії

3.2.7 Дрібно-раціональна регресія швидкості занурення палі

Формула регресії у дрібно-раціональному вигляді

$$v = \frac{z}{a + bz}$$

Алгоритм визначення характеристик a і b для відображень на (рис. 3.13), а графік швидкості занурення палі за формулою дрібно-раціональної регресії (рис. 3.14).

$$a := -\text{intercept}(\overrightarrow{\ln(z)}, \overrightarrow{\ln(v)}) \qquad b := -\text{slope}(\overrightarrow{\ln(z)}, \overrightarrow{\ln(v)})$$

$$a = -2.105 \qquad b = 1.296$$

$$v_6(z) := \frac{z}{a + b \cdot z} \qquad S_{\text{зап}} := \frac{1}{N - 1} \cdot \left[\sum_i (v_i - v_6(z_i))^2 \right]$$

$$S_{\text{зап}} = 0.272$$

Рис. 3.13 Алгоритм визначення характеристик a і b для дрібно-раціональної регресії

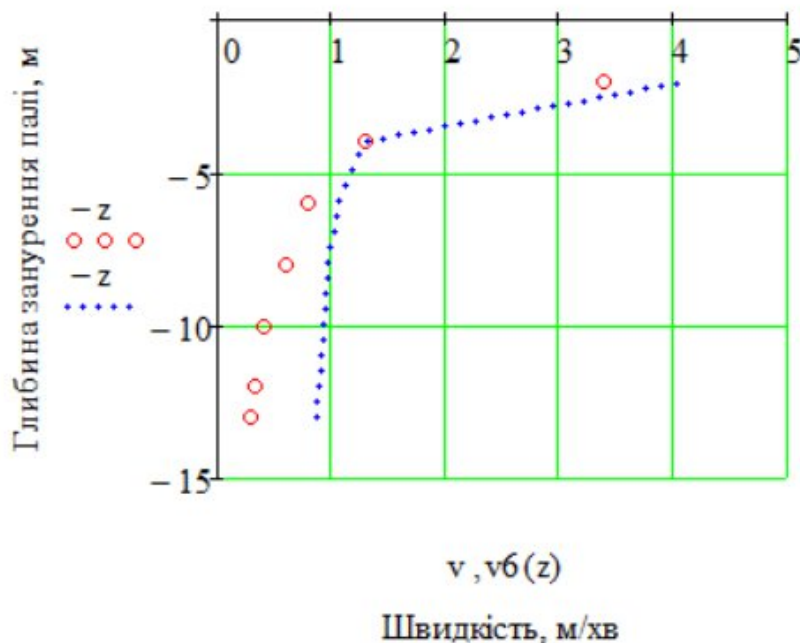


Рис. 3.14 графік швидкості занурення палі за формулою дрібно-раціональної регресії

3.3 Розрахунок часу занурення палі у ґрунт

Елементарне занурення палі

$$dz = v(z)dt.$$

Після розділення змінних u та інтегрування отримуємо вираз для розрахунку часу занурення палі у ґрунт

$$t = \int_{z_0}^{z_k} \frac{dz}{v(z)},$$

де $v(z)$ – швидкість занурення палі;

z_0, z_k – початкова і кінцева глибини занурення палі.

Приймаємо, що формула зміни швидкості занурення палі у ґрунт відбувається за законом ступеневої регресії, тому що апроксимація експериментальних даних (таблиця 3.1) за цим законом дозволила отримати найменше значення залишкової дисперсії $S_{\text{зал}} = 1,567 \times 10^{-3}$. Тоді час занурення палі у ґрунт за перетворюється на вираз

$$t = \int_{z_0}^{z_k} \frac{dz}{v(z)} = \int_{z_0}^{z_k} \frac{a}{z^b} dz = \frac{z^{b+1}}{a(b+1)} \Big|_{z_0}^{z_k} = \frac{z_k^{b+1}}{a(b+1)} - \frac{z_0^{b+1}}{a(b+1)}.$$

Розрахунковий час занурення палі у ґрунт від 2 до 14 м

$$t = \int_2^{14} \frac{a}{z^b} dz \gg 22,5 \text{ хв.}$$

Розіб'ємо глибину занурення палі у ґрунт на шари товщиною 2 м. Тоді розрахунковий час походження шарів ґрунту від 2 до 14 м паліє знаходиться у межах 1,0...6,8 хв (рис. 3.15). Кожний наступний шар ґрунту палія проходить приблизно на хвилину довше, тож час проходження шарів має майже лінійну залежність.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

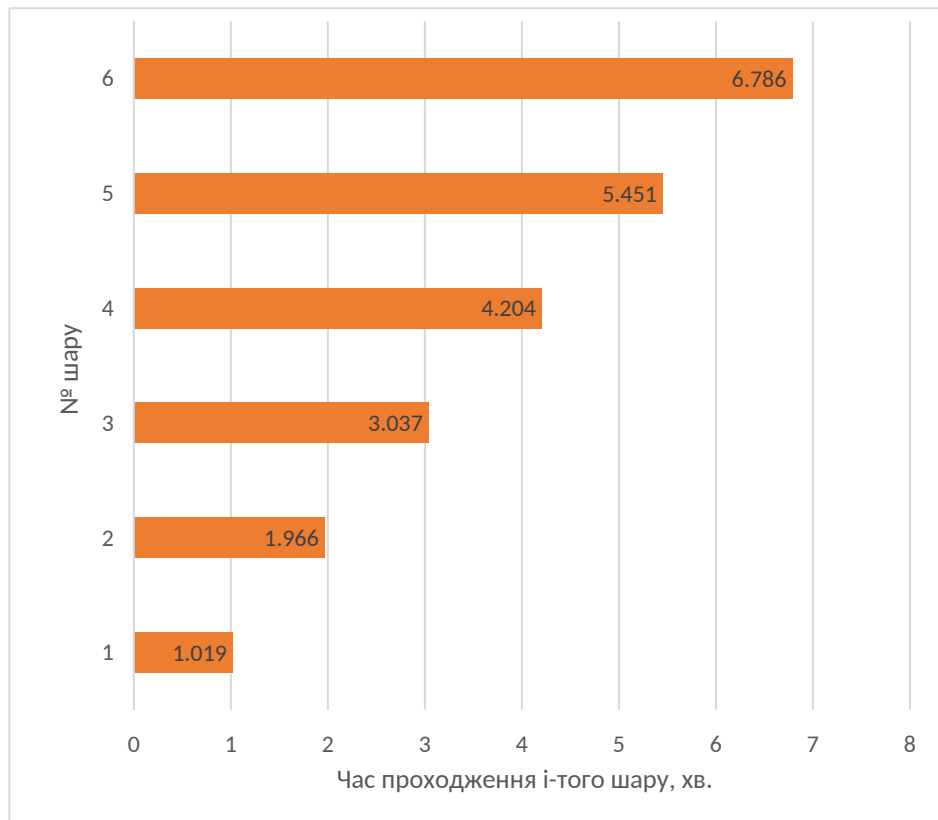


Рис. 3.15 Час занурення палії в залежності від номеру шару (глибини занурення)

3.4 Аналіз отриманих результатів досліджень

Тісноту зв'язку швидкості занурення палі у ґрунт v від глибини її занурення z можна оцінити коефіцієнтом кореляції Пірсона

$$r_{zv} = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})(v_i - \bar{v})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}},$$

де n – кількість пар даних;

z_i, v_i – i -ті значення відповідних даних;

\bar{z}, \bar{v} – середні значення відповідних даних.

Розрахунок коефіцієнта кореляції Пірсона виконаний у Mathcad за допомогою вбудованої функції

$$r_{zv} = \text{corr}(z, v) = -0.83.$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для оцінки сили зв'язку теоретичної кореляції застосовується шкала англійського статистика Чеддока:

слабка — від 0,1 до 0,3;

помірна - від 0,3 до 0,5;

помітна - від 0,5 до 0,7;

висока - від 0,7 до 0,9;

дуже висока (сильна) - від 0,9 до 1,0.

Сила зв'язку за коефіцієнтом кореляції z_i, v_i Пірсона – висока.

З ціллю аналізу отриманих формул нелінійної регресії, що відображають експериментальні дані швидкості занурення палі у ґрунт (таблиця 3.1), у таблицю (таблиця 3.2) зведені характеристики нелінійних функцій наближень.

Найбільше добрий результат наближення до експериментальні дані швидкості занурення палі у ґрунт, за значенням залишкової дисперсія $S_{\text{заль}}$, дають поліноміальна та ступенева функції. Недоліком поліноміальної функції можна рахувати її високий ступень і від цього громоздкість.

Гіперболічна регресія першого виду швидкості занурення палі дає незначну похибку під час проходження середніх шарів ґрунту.

Гіперболічна регресія другого виду швидкості занурення палі дає значну похибку під час проходження верхнього шару ґрунту.

Експонентна регресія швидкості занурення палі дає значну похибку під час проходження всіх шарів ґрунту.

Показова регресія швидкості занурення палі дає значну похибку під час проходження всіх шарів ґрунту.

Дрібно-раціональна регресія швидкості занурення палі дає вірне значення тільки під час проходження другого шару ґрунту.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Характеристики нелінійних функцій наближень

№	Функція	Залишкова дисперсія $S_{\text{зал}}$	Висновок
1	$v = a_0 + a_1z + a_2z^2 + a_3z^3 + a_4z^4 + a_5z^5$	$3,99 \cdot 10^{-3}$	Підходить
2	$v = a + \frac{b}{z}$	$9,64 \cdot 10^{-3}$	Не підходить
3	$v = \frac{l}{a + bz}$	0,708	Не підходить
4	$v = ae^{bz}$	0,212	Не підходить
5	$v = az^b$	$1,567 \cdot 10^{-3}$	Підходить
6	$v = ab^z$	0,212	Не підходить
7	$v = \frac{z}{a + bz}$	0,272	Не підходить

В цілому, досліджені нелінійні функції швидкості занурення палів у ґрунт з різним ступенем точності відображають динаміку руху палів – швидкість має тенденцію швидкого зниження.

ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд конструкцій паль, технологій і обладнання для будівництва палювих фундаментів.
2. На основі експериментальних характеристик швидкості занурення палі отримані аналітичні залежності зміни швидкості занурення палі в залежності від глибини занурення.
3. Визначено час занурення палі по кожному шару ґрунту і побудовано відповідну діаграму. Розрахунковий час занурення – 2 м до рівня – 14 м склав 22,5 хв.
4. Запропоновано алгоритм визначення параметрів нелінійних регресій загального виду швидкості занурення палі. За допомогою систем Mathcad і Matlab виконано аналіз отриманих нелінійних регресій за критерієм мінімуму залишкової дисперсії і побудовані графіки. Найбільш точній апроксимації відповідає нелінійна ступенева регресія $v = az^b$ при залишковій дисперсії $1,567 \times 10^{-3}$.
5. Дано опис точності отриманих апроксимацій швидкості занурення палі поліноміальною функцією, гіперболічною, експонентною, ступеневою, показовою, дрібно-раціональною регресіями.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

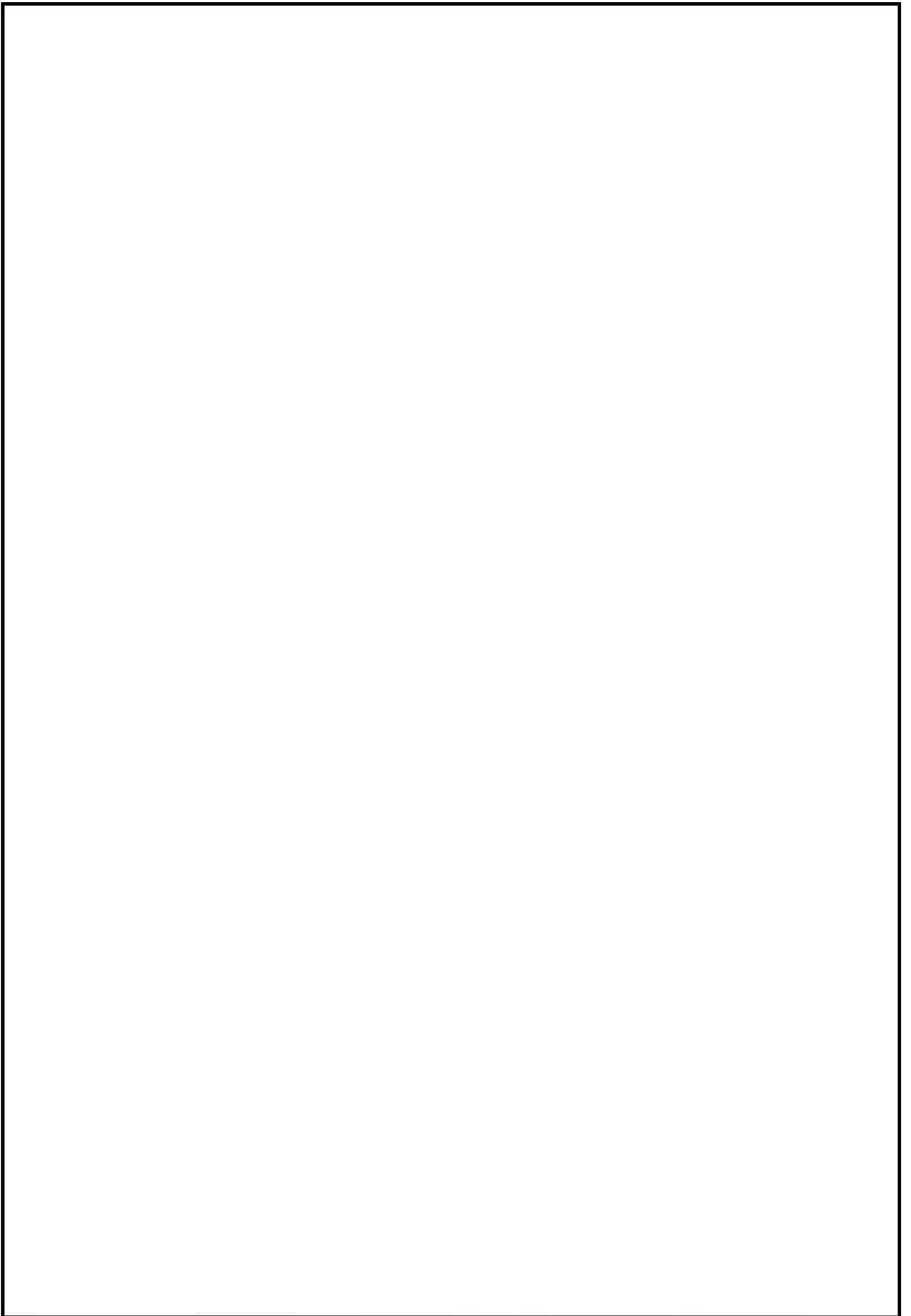
1. Парфентьева, І.О. Основи та фундаменти. Навчальний посібник для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія / І.О.Парфентьева, О.В. Верешко, Д.А. Гусачук. Луцьк : ЛНТУ, 2017. – 296 с.
2. ВІФ. Влаштування пальових фундаментів та підпірних стін, посилення фундаментів. Монолітні роботи. Україна будівельна. [Онлайновий] Ua-Bud.Digital. [Цитовано: 08 11 2024 р.] <https://www.ua-bud.com.ua/vlashtuvannya-palovyh-fundamentiv-pidpirnyh-stin/>.
3. Якименко, О. В. Сучасні методи влаштування паль та шпунтових обгороджень: навч. посібник / О. В. Якименко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 119 с.
4. Александрович, В. А. Основи та фундаменти : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / В. А. Александрович, Ю. І. Кобзар, О. В. Гаврилюк. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023 – 158 с.
5. Пантелеенко, В.И. Разработка и определение основных параметров оборудования для погружения фундаментов-болочек: Дисертація на соискание ученой степени кандидата технических наук/Владимир Иванович Пантелеенко. Днепропетровск. 2003. – 174 с р.
6. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов - 13-е изд. исправленное / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев, под ред. Г. Гроше и В. Циглера. - Лейпциг : Teubner, 1980. - 976 с.
7. Крусь, Ю.О. Основи та фундаменти : Курсове і дипломне проектування : Навч. посібник / За ред. Є.М. Бабича. . Рівне : НУВГП, 2011. – 214 с.
8. Забара, С.С. Моделювання систем у середовищі MATLAB/ С.С. Забара, О.О. Гагарін, І.М. Кузьменко, Ю. Д. Щербашин. К. : Видання "Україна", 2011. – 137 с.
9. Лазарєв, Ю.Ф. Довідник з MATLAB. Електронний навчальний посібник з курсового проуктування / Ю.Ф. Лазарєв. К. : НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с.

						ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
							49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

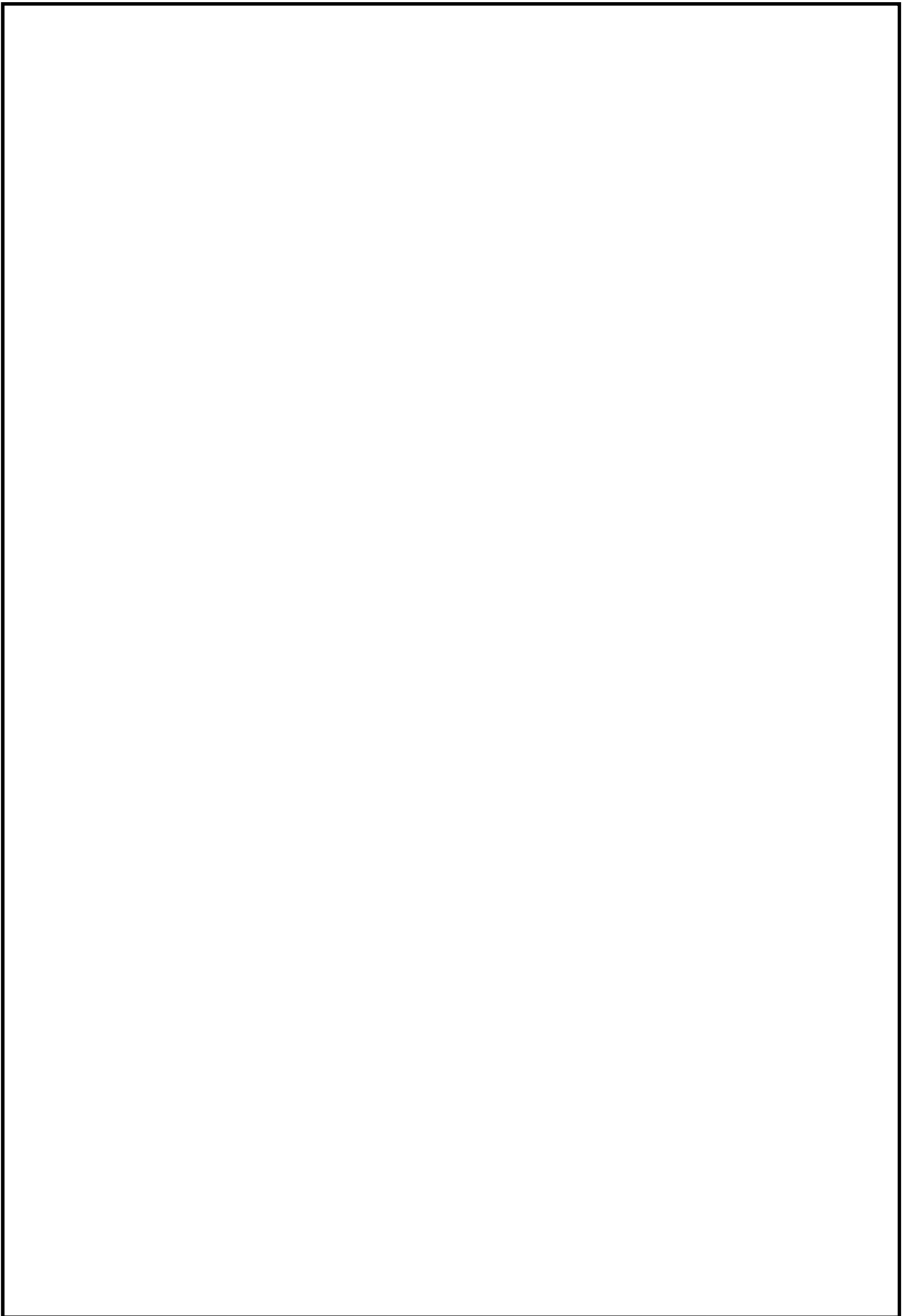
10. Шанайда, В.В. *Пакет MathCAD в інженерних розрахунках* / В.В. Шанайда . Тернопіль : Видавництво ТДТУ ім.І.Пулюя, 2001. – 163 с.
11. Паранчук, Я. С. *Алгоритмізація та програмування. MathCAD* / Паранчук Я. С., Мороз В. І. Львів : Львівська політехніка, 2012. – 312 с.
12. *Вібросанурювач KD Hammer KVH300. HYDROMARKET* . [Онлайновий] [Цитовано: 30 10 2024 р.] <https://hydromarket.com.ua/ua/p1505565608-vibropogruzhatel-hammer-kvh300.html>.
13. *Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник* / Л. М. Шутенко, О. Г. Рудь, О. В. Кічаєва та ін. ; за ред. Л. М. Шутенка ; пер. з рос. ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017, – 563 с.

					ДІПТ. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

					ДІП. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



					ДІП. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
						52
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



					ДІП. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

					ДІП. 630000. 306. МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54