

**АНАЛІЗ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ  
МЕТОДОМ ВИПРОБУВАНЬ ҐРУНТІВ СТАТИЧНИМ  
ВДАВЛЮВАЛЬНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ**

**ANALYSIS OF PROJECT SOLUTIONS OF THE PILE FOUNDATION  
USING THE METHOD OF SOIL TESTS BY STATIC COMPRESSIVE  
LOADING**

**Чуприна Л.В., к.т.н., доцент, ORCID.ORG /0000-0002-4807-1479; Помазан М.Д., к.т.н., доцент, ORCID.ORG /0009-0002-0345-5118; Білов Ю.О., ст., викладач, ORCID.ORG /0000-0003-2374-2632; Іщенко О.С., ст., викладач, ORCID.ORG /0000-0003-0548-6081; Іщенко С.С., аспірант, ORCID.ORG /0000-0003-3435-3595 (Національний університет «Запорізька політехніка»)**

**Chupryna L.V., candidate of technical sciences, associate professor, ORCID.ORG /0000-0002-4807-1479; Pomazan M.D., candidate of technical sciences, associate professor, , ORCID.ORG /0009-0002-0345-5118; Bilov Y.O., assistant professor, ORCID.ORG /0000-0003-0548-6081; Ishchenko O.S., assistant professor, ORCID.ORG /0000-0003-0548-6081; Ishchenko S.S., PhD student, assistant, ORCID.ORG /0000-0003-3435-3595 (Zaporizhzhia Polytechnic National University)**

**В статті розглянуто проектне рішення пальового фундаменту та даних інженерно-геологічних вишукувань. Була підтверджена проектна несуча здатність паль, нижні кінці яких заглиблюються на проектні відмітки. За результатами виконаного комплексу робіт по виготовленню шести дослідних паль та випробувань ними ґрунтів статичними вдавлювальними навантаженнями, встановлено - технологія виготовлення паль з кріпленням свердловини інвентарною обсадною трубою і насиченим глинистим розчином бентонітової глини задовольняє геологічним умовам об'єкту будівництва і дозволяє формувати стовбур палі в нестійких водонасичених ґрунтах.**

**The article discusses the design solution of the pile foundation and the data of engineering and geological investigations. The design bearing capacity of the piles, the lower ends of which are deepened to the design marks, was confirmed. According to the results of the completed set of works on the manufacture of six experimental piles and their tests of soils with static compressive loads, it was established that the technology for the manufacture of piles with the fastening of the well with an inventory casing pipe and a saturated clay solution of bentonite clay satisfies the geological conditions of**

**the construction site and allows the formation of the pile trunk in unstable water-saturated soils.**

**Ключові слова:**

Фундаменти, палі, водо насичені ґрунти, метод випробування  
Foundations, piles, water-saturated soils, test method

**Вступ.** Будь-яке будівництво починається з аналізу геологічних даних місцевості і розрахунку навантажень, що дозволяє отримати технічне обґрунтування можливості будівництва будинку в умовах певної місцевості ще на етапі проектування.

Процес зведення будівлі починається з фундаменту. Будучи основною опорною частиною всієї конструкції, фундамент витримує вагу всієї зовнішньої конструкції, розподіляє його і передає ґрунту. Саме якісно побудований фундамент здатний запобігти руйнівним процесам (перекіс стін, осідання будинку і т.п.), не дозволяючи будівлі зміщуватися або деформуватися під дією факторів навколишнього середовища.

Вибір конструкції фундаменту (пального, на природному або штучній основі), а також виду паль і типу фундаменту палі (наприклад, палих кушів, стрічок, полів) слід проводити виходячи з конкретних умов будівельного майданчика, матеріалами інженерних вишукувань, навантажень, що діють на фундамент, на основі результатів техніко-економічного порівняння можливих варіантів проектних рішень фундаментів (з оцінкою по наведеним витратам), виконаного з урахуванням щодо економічного витрачання основних будівельних матеріалів і забезпечує найбільш повне використання міцності і деформаційних характеристик ґрунтів і фізико-механічних властивостей матеріалів фундаментів.

Пальові фундаменти слід проектувати на основі результатів інженерно-геодезичних, інженерно-геологічних, інженерно-гідрометеорологічних вишукувань будівельних майданчиків, а також на основі даних, що характеризують призначення, конструктивні і технологічні особливості проєктованих будівель і споруд та умови їх експлуатації, навантаження, що діють на фундаменти, з урахуванням місцевих умов будівництва.

**Стан питання та задачі дослідження.** Сьогодні, в сучасних умовах будівництва, на перший план виходить економічна та технологічна доцільність використання різних типів пального фундаменту. Саме за допомогою метода випробувань ґрунтів статичним навантаженням, можна оцінити використання максимального потенціалу ґрунтової основи, для передачі на нього максимально допустимих навантажень, а також зменшення осідань та їх різниці у межах однієї будівлі.

**Метою** даної роботи є систематизація та аналіз інформації з проектних рішень для пального фундаменту методом випробування ґрунтів статичним

вдавлювальним навантаженням, що виконувалась у 2018 році для промислової будівлі у південній частині м. Запоріжжя.

**Виклад основного матеріалу.** Робота, що розглянута у статті передбачала влаштування пальної основи для зведення підземної частини будівлі «Промислового цеху обслуговуючого машинне обладнання», що була виконана на підставі наступних документів:

- даних інженерно-геологічних вишукувань, виконаних у 2018 р.;
- проекту будівлі, розробленого будівельною організацією з м. Харкова.

В геоморфологічному відношенні територія, що досліджувалась у 2018 році розташована в межах першої надзаплавної (піщаної) Вітачевсько-Бузької тераси р. Дніпро.

У геоструктурному відношенні ділянка досліджень знаходилась в південній частині Українського кристалічного щита.

В геологічній будові брали участь протерозой-архейські відкладення, що були представлені магматичними і метаморфічними породами, і відкладеннями палеогенової, неогенової і четвертинної систем, також були представлені пісковиками, вапняками, глинами, пісками, лесовими суглинками і супісками.

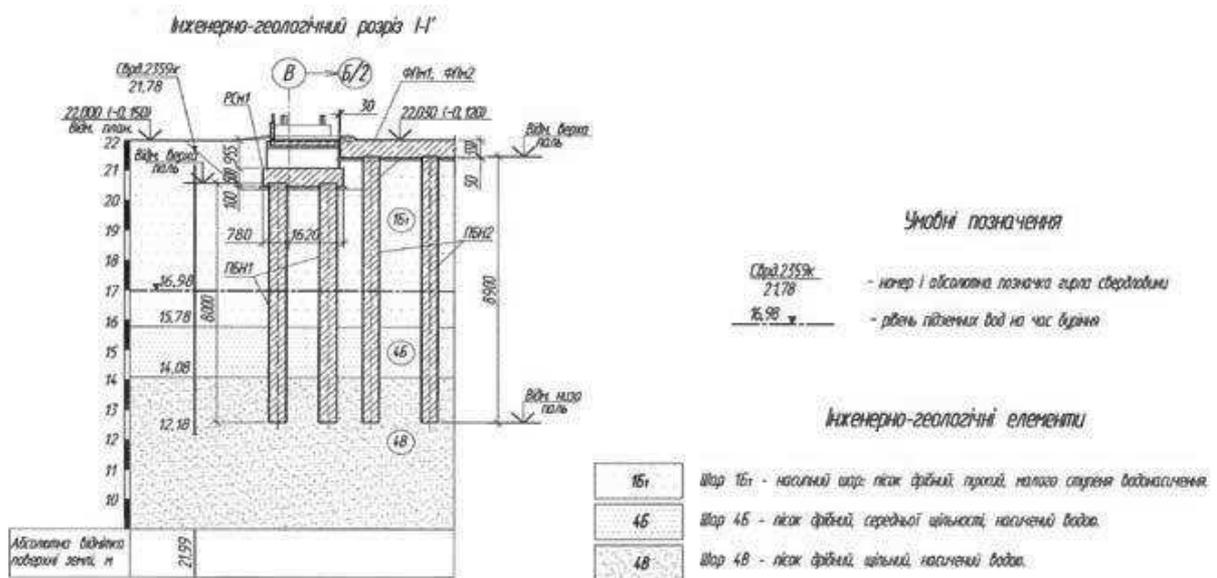


Рис. 1. Інженерно-геологічний розріз та умовні позначення

На досліджувану глибину до 15.9 м, в геологічній будові ділянки брали участь техногенні та природні ґрунти, що були представлені наступними інженерно-геологічними елементами:

Техногенні ґрунти (планувальні та зворотної засипки котлованів):  
ІГЕ-1Б1 - насипний шар - пісок дрібний, пухкий, малого ступеня водонасичення, насичений водою;

ІГЕ-1Б2 - насипний шар - пісок дрібний, середньої щільності, малого ступеня водонасичення, насичений водою.

Ґрунти природного складання:

ІГЕ - 4А - пісок дрібний, пухкий, насичений водою;

ІГЕ - 4Б - пісок дрібний, середньої щільності, вологий, насичений водою;

ІГЕ - 4В - пісок дрібний, щільний, насичений водою;

ІГЕ - 7 - суглинок від м'якопластичної до тугопластичної консистенції.

Гідрогеологічні умови ділянки вишукувань характеризувалися розвитком четвертинного комплексу підземних вод умовно розділеного шаром суглинку на два підгоризонти:

Перший від поверхні водоносний підгоризонт четвертинного комплексу приурочений до насипних і природних дрібних пісків. Для вод верхнього підгоризонту була характерна велика змінність хімічного складу. Рух потоку підземних вод відбувався зі сходу на захід. Відносним водопором служив суглинок, потужністю до 3.0 м, що був поширений на більшій частині промислового майданчика. Живлення підгоризонту відбувалося за рахунок атмосферних опадів, притоку з верхніх територій і витоків.

Другий від поверхні водоносний підгоризонт мав повсюдне поширення і був приурочений до пісків дрібних і середньої крупності. Водопором четвертинного водоносного горизонту були зеленувато-сірі глини. Живлення водоносного підгоризонту відбувалося за рахунок перетікання вод першого від поверхні підгоризонту в місцях тісного гідравлічного зв'язку між ними. Розвантаження формувалося в зоні підвідного каналу.

Рівень підземних вод на час виконання досліджень був зафіксований на абсолютних відмітках 16.88м÷17.17 м.

За результатами сейсмотектонічних і сейсмологічних досліджень, виконаних в період 2016-2018 років, уточнений рівень сейсмічності для проектних основ становив:

ПЗ (період повторюваності 1000 років) - 6 балів (за шкалою MSK-64), горизонтальні пікові прискорення на ґрунті (PGA): 0.080-0.085 g;

МРЗ (період повторюваності 10 000 років) - 7 балів (за шкалою MSK-64), горизонтальні пікові прискорення на ґрунті (PGA): 0.110-0.115 g.

За даними контрольних досліджень, насипні ґрунти здебільшого представлені пісками пухкими. Зворотня засипка будівель і споруд, при виконанні будівельних робіт, ущільнювалася нерівномірно, знижені ділянки рельєфу планувалися шляхом вільної засипки. За період експлуатації будівель і споруд на території промислового майданчика, прилеглої до ділянки досліджень, за результатами виконаних інженерно-геологічних вишукувань, геодезичних спостережень і гідрогеологічних спостережень, зафіксовані негативні техногенні процеси, які проявляються у вигляді деформацій земної поверхні, порушення цілісності будівельних конструкцій, нерівномірних осіданнях.

На підставі даних інженерно-геологічних вишукувань, що були проведені на ділянці, підземні води знаходились на рівні 16,980. Проектом були прийняті буронабивні залізобетонні палі. Буріння свердловин здійснювалось з котловану. Для влаштування буронабивних паль застосовувалась технологія кріплення стінок свердловини глинистим розчином, бетонування - методом вертикально переміщеної бетонолітної труби діаметром 140 мм.

Конструкція буронабивної палі являла собою залізобетонний стовп довжиною 8,0 м і 8,9 м, що споруджувалися в свердловині діаметром 530 мм. Матеріал буронабивної палі був прийнятий, такий як - бетон класу С20 / 25, W4, F100, армований арматурної сталлю класу А240С і А400С. Роботи з влаштування пального поля вироблялися в раніше розробленому полі, яке розташовано на території будівельного майданчика.

Позначення і найменування грунту	Межа пластичності, док. од.		Число пластичності I <sub>p</sub> , док. од.	Гриррова вологість W <sub>L</sub> , док. од.	Діляність п. док. од.	Коефіцієнт пористості с, док. од.	Ступінь вологості S <sub>L</sub> , док. од.	Показник пористості I <sub>v</sub> , док. од.	Шлях стиснення грунту p <sub>с</sub> , т/см <sup>2</sup>	Шлях стиснення грунту p <sub>с</sub> , т/см <sup>2</sup>	Шлях стиснення грунту p <sub>с</sub> , т/см <sup>2</sup>	Шлях стиснення грунту p <sub>с</sub> , т/см <sup>2</sup>	Коефіцієнт фізичної Кор. м.т.	Межа дороботності E, МПа	Кут внутрішнього тертя φ, град.	Пітове зчеплення c, кПа
	Горизонтальна, w <sub>L</sub>	Вертикальна, w <sub>p</sub>														
ПЕ-161. Наситні ґрунти. Пісок дрібний, пухлий, малого ступеня вологонасичення, насичений водою	-	-	-	0,04 0,28	0,437 0,435	0,775 0,770	0,14 0,95	-	2,65	1,55	1,40	1,91	10,00	15	28 27	0
ПЕ-162. Наситні ґрунти. Пісок дрібний, середньої щільності, малого ступеня вологонасичення	-	-	-	0,05	0,415	0,710	0,19	-	2,65	1,62	1,54	-	10,00	22	30	1
ПЕ-4А. Пісок дрібний, пухлий, насичений водою	-	-	-	0,28	0,435	0,770	0,95	-	2,65	-	1,49	1,91	5,30	15	28	0
ПЕ-4Б. Пісок дрібний, середньої щільності, малого ступеня вологонасичення, насичений водою	-	-	-	0,06 0,25	0,413 0,412	0,705 0,700	0,23 0,95	-	2,65	1,64	1,55	1,95	5,30	30	30	1
ПЕ-4В. Пісок дрібний, пухлий, насичений водою	-	-	-	0,18	0,341	0,517	0,95	-	2,65	-	1,76	2,08	5,30	45	37	4
ПЕ-7. Суцільні корисково-сирі, від м'якотластості до тугопластичного	0,27	0,16	0,11	0,21	0,376	0,605	0,94	0,47 0,55	2,69	-	1,68	2,02	0,02	20	23* 22**	25* 23**

**Примітки:**

- 0,04 - значення показника вище РПВ
- 0,28 - значення показника нижче РПВ
- 23\* - розрахункове значення показника при L=0,85
- 22\*\* - розрахункове значення показника при L=0,95

Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз та умовні позначення

За підсумками виготовлення шести дослідних буронабивних паль з числа робочих №151, №290, №449, №486, №560 і №606 та випробувань ними ґрунтів статичними вдавлювальними навантаженнями на об'єкті : «Промислового цеху обслуговуючого машинне обладнання» був складений технічний звіт.

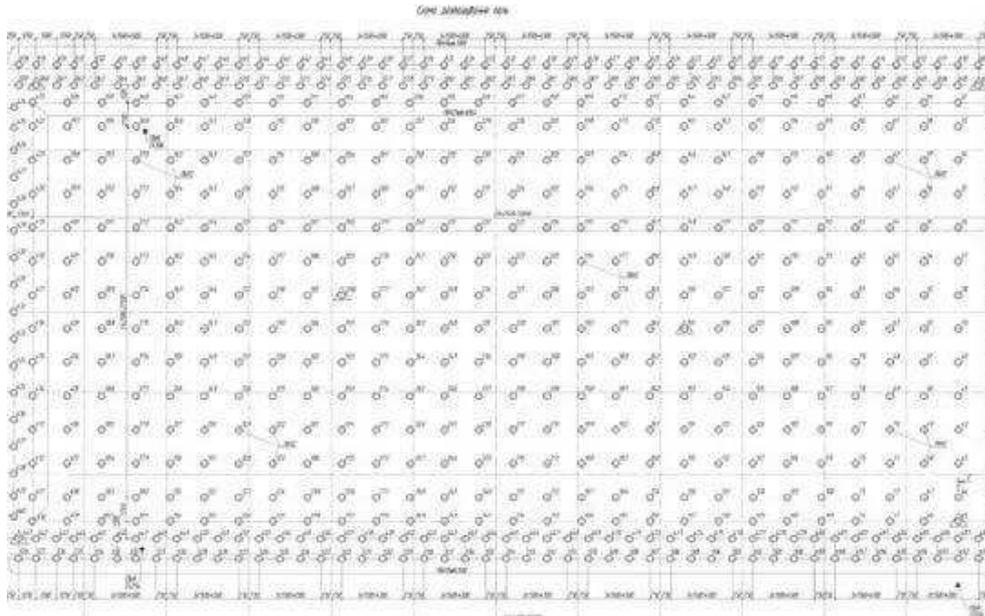


Рис. 3. Схема розташування паль

Роботи з випробувань виконувались згідно ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94) «ґрунти. Методи польових випробувань палями», ДБН В.2.1-10:2018 «Основи та фундаменти будівель і споруд», ДБН В.2.1-10-2009 (зміна №1-2011р.) «Основи та фундаменти споруд», ДСТУ Б В.2.1-27:2010 «Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань», ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт та улаштування основ і фундаментів».

Метою пильових випробувань було підтвердження проектної несучої здатності паль на вдавлювальне навантаження, заглиблених до проектних відміток в пісок ІГЕ-4Б і ІГЕ-4В.



Рис. 4. Буріння свердловини для виготовлення дослідної палі та виготовлена і сформована в верхній частині незнімною опалубкою палля

Дослідні буронабивні палі, діаметром стовбура 530мм з бетонним заповненням, були виготовлені ТОВ «Гідроспецфундаментбуд» згідно з проектом пильових фундаментів.

Буріння свердловин для виготовлення дослідних буронабивних паль виконувалося буровою установкою з кріпленням стінок свердловин обсадною трубою Ø530 мм і забою свердловин насиченим глинистим

розчином бентонітової глини. Бетонування паль виконувалося методом вертикально переміщеної труби після встановлення в свердловини просторових арматурних каркасів. Верх паль, для можливості проведення випробувань, над поверхнею формувався незнімною опалубкою з металеві труби Ø530 мм, довжиною 0.6м.

Виготовлення дослідних паль виконувалося із умови улаштування їх нижніх кінців на проектних відмітках: 12.580м (палі №151 і №290) та 12.575м (палі №449, №486, №560 і №606).

Згідно з виконавчою документацією, буріння свердловин виконувалося з котловану з абсолютних відміток 20.50м ÷ 21.63 м. При цьому, глибина свердловин складала 7.92м ÷ 9.05 м, а відмітки забою свердловин 12.56м ÷ 12.61 м. Слід зазначити, що отримані в процесі буріння свердловин похибки, задовольняли умовам наведеним в розділі 11 ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт та улаштування основ і фундаментів».

За даними інженерно-геологічних вишукувань, виконаних відділом гідротехнічних досліджень служби експлуатації будівель і споруд, нижні кінці дослідних паль були заглиблені в пісок дрібний, середньої щільності ІГЕ-4Б (палі №151, №290, №449 і №560) та пісок дрібний, щільний ІГЕ-4В (палі №486 і №606).

Для підтвердження зазначеної проектної несучої здатності паль 50тс, випробування виконувались із умови досягнення навантаження 80тс, або осідання палі не менш ніж 40мм.

Вдавлювальні навантаження на дослідні палі передавалися ступенями по 5тс. Перші три ступені навантаження на палі №486 і №606, які спиралися на щільні піски ІГЕ-4В, були прийняті по 10тс.

Передача навантажень на дослідну палю забезпечувалось системою анкерних гвинтових металевих паль і закріпленою на них металеві балкою.



Рис. 5. Система з металевих гвинтових анкерних паль, металеві балки і гідравлічного домкрату для проведення випробувань ґрунтів дослідною палею статичними вдавлювальними навантаженнями

Вдавлювальні навантаження на дослідну палю передавалися за допомогою гідравлічного домкрату «ДГ-200» (площа поршня 503.15см<sup>2</sup>), який встановлювався на палю і спирався в металеву балку, а величини навантажень визначались по манометру з перерахунком його показань тиску кг/см<sup>2</sup> в тс.

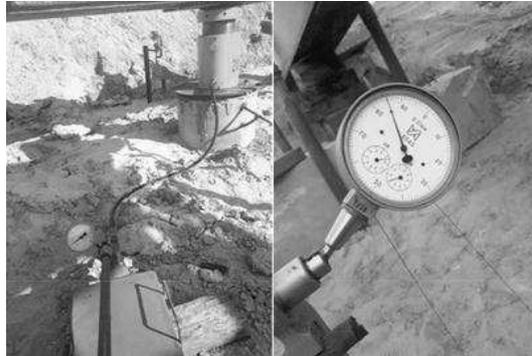


Рис. 6. Гідравлічний домкрат «ДГ-200» з масло станцією та прогиномір «БПАО» с точністю вимірювання 0.01мм

Осідання дослідної палі при випробуваннях фіксувалися двома прогиномірами «БПАО», встановленими симетрично щодо осі палі на реперних пристроях, з точністю 0.01мм.

Результати спостережень фіксувалися в журналі статичних випробувань палі, за даними яких були побудовані графіки залежності осідання палі від навантаження і зміни осідання палі в часі на кожному ступені навантаження.

№ п/п	Позначка палі	Тип палі	Діаметр свердловини палі, мм	Адреса палі	Абсолютні відношення			Глибина закладання наконечника палі, м	Масштаб (збільшення) зображення палі	Земляні палі			Дата	Спеціальні випробування для встановлення навантаження						
					Кінець палі (у м)	Наконечник палі	Глибина закладання наконечника палі, м			Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)		Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)	Висота палі над поверхню (в м)
1	№151	Бетонна	530	ДПН А-102 (в м)	21,63	12,58	9,05	ІІЕ-4Б	2,06	2,45	1,19	14.06.19	21.07.19	80,00	32,31	29,18	77,86	30,00	77,86	64,90
2	№290	Бетонна	530	ДПН А-102 (в м)	21,60	12,61	8,99	ІІЕ-4Б	2,05	2,40	1,17	14.06.19	20.07.19	80,00	18,20	16,03	80,00	18,20	80,00	66,67
3	№449	Бетонна	530	ДПН А-102 (в м)	20,85	12,58	8,07	ІІЕ-4Б	1,86	2,23	1,20	07.06.19	16.07.19	80,00	29,18	26,34	80,00	29,18	80,00	66,67
4	№486	Бетонна	530	ДПН А-102 (в м)	20,68	12,56	8,12	ІІЕ-4Б	1,86	2,24	1,20	07.06.19	15.07.19	80,00	11,58	8,59	80,00	11,58	80,00	66,67
5	№560	Бетонна	530	ДПН А-102 (в м)	20,40	12,59	8,01	ІІЕ-4Б	1,85	2,17	1,17	12.06.19	18.07.19	80,00	17,70	14,89	80,00	17,70	80,00	66,67
6	№606	Бетонна	530	ДПН А-102 (в м)	20,50	12,58	7,92	ІІЕ-4Б	1,85	2,20	1,19	13.06.19	23.07.19	80,00	14,55	11,25	80,00	14,55	80,00	66,67

Рис. 7. Дослідні палі та їх характеристики

За результатами виконаного комплексу робіт по виготовленню шести дослідних палей та випробувань ними ґрунтів статичними вдавлювальними навантаженнями, було встановлено:

технологія виготовлення палей з кріпленням свердловини інвентарною обсадною трубою і насиченим глинистим розчином бентонітової глини задовольняло геологічним умовам об'єкту будівництва і дозволяло формувати стовбур палі в нестійких водонасичених ґрунтах;

фактичні витрати бетону, при виготовленні палей за вказаною технологією в даних геологічних умовах, перевищували її геометричний об'єм з середньозваженим значенням коефіцієнту перевитрат 1.19;

була підтверджена несуча здатність паль, нижні кінці яких заглиблювались на проектні відмітки 12.580м та 12.575м в пісок середньої щільності ІГЕ-4Б складає 77тс, було підтверджено розрахункове навантаження, що допускалося на них та становило 64тс;

була підтверджена несуча здатність паль, нижні кінці яких заглиблювались на проектні відмітки 12.580м та 12.575м в пісок щільний ІГЕ-4В складає 80тс, було підтверджене розрахункове навантаження, що допускалося на них та становила 66тс;

несуча здатність паль, отримана за результатами випробувань, при заглибленні їх нижніх кінців до проектних відміток 12.580м та 12.575м в пісок середньої щільності ІГЕ-4Б і пісок щільний ІГЕ-4В (77тс і 80тс відповідно), підтверджувала прийняту в проекті несучу здатність 50тс.

Враховуючи, що взаємодія ґрунтів основи з палею залежала від способу її виготовлення, треба зазначити, що для забезпечення проектної несучої здатності палі, технологія і обладнання, що використовувалися при виготовленні робочих паль, повинні були відповідати технології та обладнанню, яке використовувалися при виготовленні дослідних паль.

**Висновки.** Аналізуючи даний проект, влаштування пальної основи для зведення підземної частини будівлі, а саме:

- даних інженерно-геологічних вишукувань;
- проекту, розробленого проектною організацією у м. Харків;
- звіт з випробувань ґрунтів палями статичним навантаженням;

Аналізуючи відповідні дані можна зробити висновки, що технологія виготовлення паль з кріпленням свердловини інвентарною обсадною трубою і насиченим глинистим розчином бентонітової глини є технологічно доцільною та задовольняло геологічним умовам розглянутого об'єкту будівництва і дозволяло формувати стовбур палі в нестійких водонасичених ґрунтах – це був на той час раціональний вибір з точки зору аналізу пального фундаменту та тих умов у яких зводилась та будівля та використовуваних технологій.

1. ДБН А.3.1– 5:2016 «Організація будівельного виробництва»
2. НПАОП 45.2-7.02-12 (ДБН А.3.2-2-2009) «Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення»
3. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт, влаштування основ та спорудження фундаментів»
4. ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення»
5. ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94) «Ґрунти. Методи польових випробувань палями»
6. ДСТУ Б В.2.1-27:2010 «Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань»