

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

Тростановський Володимир Борисович

*Тростан*

УДК 624.131.23:624.151.33

ВЛИВ ДЕФОРМАЦІЙ ПРОСІДАННЯ ШАРУВАТОЇ ЛЕСОВОЇ  
ТОВЦІ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ БУРОНАБИВНИХ ПІЛЬ

Спеціальність 05.23.02 - Основи та фундаменти

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Робота виконана в Одеському інженерно-будівельному інституті.

НАУКОВІ КЕРІВНИКИ - кандидат технічних наук, доцент  
КОВАНЬОВ Борис Михайлович

- кандидат технічних наук, доцент  
ЧУПРІН Василій Никитич

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ - доктор технічних наук, професор  
ЯКОВЛЕВ Петр Іванович

- кандидат технічних наук, доцент  
КОРНІЄНКО Микола Васильович

ВЕДУЧА ОРГАНІЗАЦІЯ - А/В "Укрпівденьбудвишукування" (Стара назва - Одеський філіал Українського Державного головного інституту інженерно-технічних вишукувань Держбуду України).

Захист дисертації відбудеться "13" жовтня 1993р.  
о 13 год на засіданні Спеціалізованої Ради  
К.063.05.06 "Будівельні матеріали та вироби", "Основи та фундаменти" у Київському ордена Трудового Червоного Прапора інженерно-будівельному інституті ( 252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31 )

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського інженерно-будівельного інституту.

Автореферат розіслан "31" серпня 1993р.

Бачений секретар

Спеціалізованої Ради,

кандидат технічних наук, доцент

А.В.Голубничий

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802252 (J)

Б ім. В. Стефаніка  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Великий обсяг капітального будівництва на півдні України виконується на шаруватих просідаючих товщах. Лесові ґрунти території будівництва, як правило, не замочені і на початок спорудження фундаментів знаходяться в не досить ущільненому стані. Таким чином, вони здатні до просідання. При підйомі рівня ґрунтових вод та внаслідок замочування з поверхні в них починаються деформації просідання, що веде до розвитку осадів фундаментів промислових та цивільних споруд та, як наслідок, відбувається деформація їх несучих наземних конструкцій.

Аналіз досліджень роботи палейних фундаментів в умовах ґрунтів, здатних до просідання показує, що питання щодо дослідження несучої здатності буронабивних паль в шаруватих лесових товщах вирішені не повністю. Так, не розроблено питання про характер та динаміку розвитку деформацій просідання товщі, що складається з шарів з різними характеристиками просідання при різних напрямках замочування товщі, та про вплив просідання на несучу здатність паль. Це пояснюється тим, що відомі по літературі дослідження виконувались на міцних, в цілому однородних по глибині, товщах Середньої Азії, міст Нікополя, Болгодонська та ін.

Дана робота є часткою комплексних досліджень етапу 09.02.10 галузевої науково-технічної програми 0.55.09 "Здійснити та впровадити нові, покращити діючі процеси та засоби спеціальних будівельних робіт".

Мета досліджень - визначення механізму розвитку деформацій просідання багат шарової лесової товщі при її замочуванні зверху та знизу та впливу просідання товщі на несучу здатність буронабивних паль. Удосконалення методів розрахунку несучої здатності паль в даних інженерно-геологічних умовах.

Ця мета реалізовувалась шляхом рішення наступних задач :

1. Визначення властивостей просідання багат шарової товщі при її замочуванні зверху та знизу.

2. Вияв характеру роботи буронабивних паль в багат шаровій лесовій товщі при різних напрямках її замочування в умовах виникнення негативних сил тиску по бічній поверхні буронабивних паль.

3. Визначення сил опору різних шарів просідаючого ґрунту по бічній поверхні паль як часток опору всієї товщі, розподіл опору ґрунту по довжині ствола палі. Вияв залежності величини опору від

рів від їх вологості.

4. Визначення зони дії негативних сил тертя на буронабивні палі при осіданні багатшарової товщі в зв'язку з просіданням шару, що залягає під слабо просідаючим.

5. Визначення сил негативного тертя від кожного нависаючого на палі шару ґрунту в залежності від його вологості.

6. Розробка методів розрахунку несучої здатності поодиноких палей та палей, з'єднаних ростверком при різному розташуванні палей в складі фундаменту при різних напрямках замочування товщі.

Наукова новизна. Експериментально досліджується процес просідання багатшарової лесової товщі при різних напрямках замочування.

Визначені значення сил опору окремих шарів товщі Одеського регіону по бічній поверхні буронабивних палей в залежності від їх вологості та встановлено коефіцієнт переходу від сил опору до значень сил негативного тертя.

Практична цінність методу полягає в удосконаленні методів розрахунку несучої здатності буронабивних палей в багатшарових лесових товщах. Досягається збільшення несучої здатності палевих фундаментів та зменшення осадків будинків на фундаментах з буронабивних палей, що прорізають багатшарову просідаючу товщу.

На захист виносяться :

закономірності розвитку деформацій просідання багатшарових просідаючих ґрунтів при замочуванні зверху та знизу під дією ваги вицележачої товщі ;

метод вияву зони дії сил негативного тертя на буронабивні палі при осіданні слабоосідаючої ґрунтової товщі, яка знаходиться над просідаючим шаром при просіданні останнього та встановлення величин цих сил ;

засоби розрахунку несучої здатності буронабивних палей ( поодиноких та в складі палевих фундаментів ) в умовах багатшарових осідаючих ґрунтів при двох засобах замочування товщі - зверху та знизу.

Реалізація наслідків роботи проводилась при спорудженні палевих фундаментів ОБУ-583 тресту "Укрбурвод" в м.Одесі. Впровадження наслідків робіт по договору в 1981...1986 роках дало економічний ефект в розмірі 588,6 тис. карбованців (в цінах 1986р. ).

Апробація роботи. Наслідки роботи докладалися на науково-практичних конференціях Одеського та Київського інженерно-будівель-

них інститутів, Республіканських конференціях в містах Уфі, Барнаулі та ін.

Публікація роботи. По наслідкам досліджень опубліковано 8 наукових робіт.

Обсяг та структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку літератури з 77 назв та шести додатків. Має 188 сторінок друкованого тексту ( з них 40 сторінок додатків ), 40 малюнків та 18 табл: ць.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність та наукова новизна досліджень, що проводились. Відзначені вчені, котрі зробили внесок в розробку теоретичних та рішення практичних питань фундаментобудівництва на просідаючих ґрунтах.

У першому розділі приведено аналіз наслідків дослідження роботи буронабивних паль, методів визначення їх несучої здатності в просідаючих ґрунтах та сформульована мета досліджень.

Відмінність принципів роботи паль в ґрунтових умовах I та II типів просідання виявляє і різний підхід до проведення експериментальних досліджень та вияву несучої здатності паль розрахунком в кожному випадку. В ґрунтових умовах I типу просідання при замочуванні товщі відбувається зниження опору ґрунту по бічній поверхні паль та при проведенні експериментальних досліджень оцінюється це зниження в екстремальних умовах. Розрахунковим станом є повне водонасичення ґрунтової товщі. В ґрунтових умовах II типу просідання необхідно ураховувати сили неактивного тertia. Тому при проведенні експериментальних досліджень здійснюється замочування ґрунтової товщі через котлован великої площі, що визиває її осідання від особистої ваги ґрунту. Діючі нормативні документи за розрахунковий стан приймають повне водонасичення просідаючої товщі, коли в повній мірі виявляється II просідання.

У другому розділі приводиться методика проведення досліджень. Для встановлення типу ґрунтових умов та характеру розвитку деформацій просідання товщі, було виготовлено дослідний котлован, розміри якого в плані були більшими, ніж товща просідання ( $H_{\text{кв}} = 13,5 \text{ м}$ ) та складали  $24,0 \times 20,0 \text{ м}$ . У розрізі товщі беруть участь такі шари: 1 - суглинок лесовий, товщиною 2,8 м, 2 - лес, товщиною 5,0 м, 3 - суглинок лесовий, товщиною 3,8 м, 4 - лес, товщиною 1,9 м, 5 - суглинок лесовий, товщиною 0,8 м, 6 - суглинок, тов-

цинов 3,0 м, 7 - глина, товщиною 3,7 м. Нижче залягає вапняк перекристалізований, плитчатий. В котловані були виготовлені поверхні та п'ять глибинних марок. Нижні кінці останніх були встановлені в рівнях між шарами. В центрі котлована була виготовлена свердловина для спостереження над рівнем підземних вод. Спостереження за осадком рівня данної поверхні, просіданням окремих шарів та осадками палі при замочуванні товщі виконувались геометричним нівелюванням III класу. Паралельно з цим контролювалась вологість товщі шляхом відбору зразків та радіометричним засобом. Для замочування ґрунтової товщі в котловані були виготовлені 19 дренажних свердловин довжиною 13,0 м, діаметром 170 мм, які були засипані щебенем середньої фракції. Характер розвитку деформацій просідання товщі виявлявся на таких режимах замочування.

Перший етап. Замочування товщі знизу. Виконувалось замочування нижнього шару леса 4 через приямок розмірами в плані 26,0 x x 10,0 м, глибиною 0,3 м з дренажними свердловинами довжиною 13,0 м, діаметром 170 мм. Приямок знаходився на відстані біля 50 м від дослідного котловану. Розташування свердловин в приямку в шахматному порядку ( 3 ряди, 17 свердловин ) по фронту до котловану досліджень з шагом 4... 5 м та невеликий похіл шарів до котловану дозволяли добитися рівномірного по фронту поступання води в товщу під ним. Вода поступала в межах шару леса 4 по відносно водоопорним шарам суглинка 6 та глини 7. Таким чином, імітувалося замочування знизу, яке відбувається у реальних умовах.

Другий етап. Проміжний період. Подача води була припинена та виявлялося просідання товщі в результаті природньої зміни рівня підземних вод.

Третій етап. Замочування товщі зверху. Здійснювалось після стабілізації просідання ґрунту на попередніх етапах через дренажні свердловини та дно котлована.

Паралельно зі спостереженнями за осіданням товщі виконувались геодезичні спостереження за осадками розташованих в котловані дослідних палі. В котловані були виготовлені палі з розширеною п'ятою циліндричні висячі та палі з вільним нижнім кінцем ( далі - палі-тертя ), що прорізали товщу осідання та нижнім кінцем опиралися в шари суглинка 6 та глини 7 твердої консистенції, п'ята-штамп, а також палі-тертя, які були розташовані в межах окремих інженерно-геологічних шарів, випробування яких виконувались витягуючим навантаженням. Діаметри стволів усіх палі були 500 ... 600 мм. Усі палі були виконані в подвійній кількості для випробувань в ґрун-

тах природної вологості та після водонасичення товщі.

Статичні випробування дослідних паль вдавлюючим навантаженням в дослідному котловані та на будівельних майданчиках проводились в відповідності з методикою Держстандарту 24546-81. До циліндричних паль та паль з розширеною п'ятою в рівні нижнього кінця встановлювались тензодинамометр та вимірювач переміщень. Тензодинамометри використовувались також і при випробуваннях паль на будівельних майданчиках. Використовувались тензодинамометри виробничого об'єднання "Точмаш", у котрих характеристики стабільності показників знаходились у межах: нелінійність показників - менше 2 %, нестабільність показників - менше 1 %. Статичні випробування паль-тертя, розташованих у межах шарів I ... 4, циліндричних, паль з розширеною п'ятою та п'яти-штампа, здійснювались гідравлічними домкратами ДГ-200 або ДГ-500 з установкою домкрата на голову палі та упором в анкерну систему з металевих балок та анкерних паль. При проведенні випробувань паль-тертя, розташованих в межах окремих шарів, домкрат встановлювався на металеву балку, яка опиралася з двох кінців на блоки великої площі. Для проведення випробувань витягуючим навантаженням використана методика неконсолідованого зсуву. В цьому разі опір зсуву не залежить від величини зовнішнього тиску та обумовлюється силами зчеплення. Така схема випробувань відповідає тертю ґрунта о палі в процесі його просідання, коли на величину тертя не впливає бічний тиск ствола палі на ґрунт при її навантаженні. Тому випробування витягуючим навантаженням проводилось без стабілізації осадку палі на кожній ступені навантаження - навантаження подавалося без зривно з постійною швидкістю 10 кН за 10...15 хвилин до досягнення найбільших значень. Величина питомих сил опору окремих шарів визначалось по формулі

$$f = \frac{P - G_n}{F}; \quad / I /$$

де  $P$  - витягуюче навантаження, кН;  $G_n$  - вага палі, кН;  
 $F$  - площа бічної поверхні палі, м<sup>2</sup>.

В процесі випробувань паль-тертя виявилися три характерних значення опору ґрунту по бічній поверхні палі :

1. Найбільше значення опору -  $f_1$ , кПа.
2. Опір, відповідний розвитку осадку палі з постійною швидкістю -  $f_2$ , кПа.
3. Опір, відповідний стабілізації осадку палі -  $f_3$ , кПа.

Порівняння значень опору окремих шарів, одержаних при випробуваннях палів різної конструкції, здійснювалось по формулі

$$u \cdot m \cdot f \cdot L = u \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot l_i; \quad (2)$$

де:  $u$  - периметр палі, м;  $m$  - коефіцієнт порівняння;  $f$  - середня величина опору всієї товщі, кПа;  $L$  - довжина палі-тертя, що прорізає  $n$  шарів товщі, м;  $f_i$  - величина опору  $i$ -го шару, кПа;  $l_i$  - товщина  $i$ -го шару, м.

У третьому розділі приведені інженерно-геологічні умови дослідної площадки та аналіз розвитку просідання товщі при різних напрямках її замочування.

В геологічній будові ділянки дослідної площадки на глибину 17,3 м приймають участь четвертичні лесові відкладення, що підстилені верхнепліоценовою глиною. Нище залягають вапняки понтичного ярусу. Грунтові води в період проведення початкових вичувань зустрічені не були. Очікуємо просідання товщі під власною вагою без обрахування просідання верхніх 5 м товщі по наслідкам лабораторних вимірювань  $\epsilon_{5\%}$  складає 10,5 см.

На першому етапі замочування (знизу), який продовжувався 245 діб, просідання усієї товщі було обумовлено осіданням лише другого шару лесу 4 під дією ваги шарів, що лежать вище, котрі знаходились в твердій та півтвердій консистенції, а їх ступінь вологосі до закінчення етапу був 0,41 ... 0,6. Осідання покривлі шару лесу 4 було 48,2 мм, рівня денсї поверхні - 46,6 мм при деформації осідання шару лесу 4 - 48,7 мм. На цьому етапі мало місце піднімання рівня ґрунтових вод в межах лесу 4. На цьому етапі практично завершилися деформації осідання цього шару лесу та спостерігалось набрякання глини, яке в кінці етапу було 7,3 мм.

Осадки циліндричних палів в цей час були 33,3 ... 39,6 мм, палів з розширеною п'ятою 16,8 ... 22,8 мм при відсутності осідання суглинків 5 та 6 та глини 7, які були несучими для цих палів. Це вказує на те, що осадки палів не були обумовлені осіданням ґрунту в рівні їх нижніх кінців. Осадки палі-тертя були 55,8 мм та відповідали максимальному просіданню шарів в цей період.

Другий (проміжний) етап продовжувався 390 діб. На цьому етапі за перші 70 діб мав місце як подальший розвиток дефор-

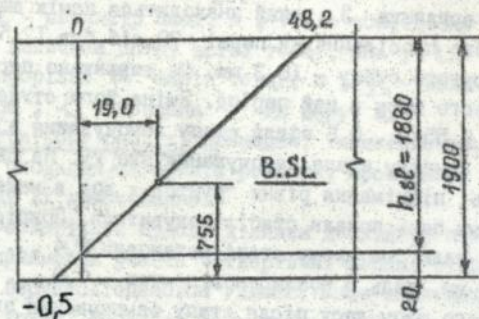
мації просідання ша. в так і осадок паль. Після перших 70 діб просідання шарів були : 1 - 3,25 мм, 2 - 0 мм, 3 - 12,2 мм, 4 - 50,3 мм, 5 та 6 - 8,3 мм. Переважно розвивалися в з деформації просідання суглинка 3, який знаходиться поміж шарами лесів. Приріст його просідання за перші 70 діб був 12,5 мм, а до закінчення другого етапу - 18,3 мм. Це викликано пер важним водонасиченням цього шару в цей період. Зміна його ступеня вологості була від 0,55 ... 0,6 після етапу замочування з.иг. до 0,75 ... 0,82 к початку етапа замочування зверху. На цьому етапі продовжувалось піднімання рівня ґрунтових вод в межах суглинка 3. Осадки паль почали стабілізуватися. Приріст осадків циліндричних паль на цьому етапі встановив 2,4 ... 6,3 мм, паль-тертя - 6,5 мм, паль з розширеною п'ятю - 0,8 ... 1,0 мм. На осідання другого шару лесу після етапу замочування знизу впливали деформації шарів суглинків, що залягають нище. Тому на наступних етапах мало місце незначне зменшення абсолютної величини просідання другого шару лесу.

На третьому етапі замочування ( зверху ), який продовжувався 197 діб, деформація просідання другого шару лесу не збільшувалась, а навпаки, за рахунок деформації шарів, розташованих нище, мало місце його деяке расуцільення при неупругому осіданні. В кінці етапа осідання рівня денної поверхні було 90,5 мм, а доля просідання лесу 4 в осіданні всієї товщі знизилась до 50%. Деформація просідання суглинка 3 збільшилась на 2,5 мм та була 20,5 мм. Головним чином розвивались деформації лесу 2, приріст просідання якого встановив 15,5 мм. Найбільша зміна значення ступеня вологості мала місце також в межах лесу 2, це її середня величина досягла 0,76. Осадки паль на цьому етапі стабілізувалися.

По наслідкам просідання товщі на першому етапі замочування виявлено положення нижньої <sup>пр</sup> границі товщі осідання у межах лесу 4 - границя, в рівні якої відносне просідання шару складає 0,01 його товщини.

Поскілки просідання всієї товщі на першому етапі замочування було обумовлено просіданням тільки лесу 2, при виявленні величини просідання, відповідної  $B_{SL}$ , прийнята товщина цього шару, а не товщина всієї товщі просідання  $H_{el}$  (шари 1...4). Нижня границя товщі просідання розташована у межах лесу 4 на

відстані 755 мм від рівня його підшови.  $P_{sl} = 192,5$  кПа.  
 $\omega_{sl} = 23 \dots 25 \%$ , що відповідає  $S_r = 0,68 \dots 0,74$ .



Мал. 1. Положення нижньої границі товщі просідання (B.SL) у межах лесу 4.

Простежена залежність між положенням рівня ґрунтових вод (WL) та розвитком просідання шарів. Після етапу замочування знизу WL був на відзначці - 11,2 м, або на 40 см вище покрівлі лесу 4. На першому етапі розвивалося просідання цього шару. На проміжні у етапі WL піднявся до відзначки - 7,5 м. В цей період розвивалося просідання суглинка 3. На етапі замочування зверху WL піднявся ледь не до покрівлі лесу 2 і осідання рівня денної поверхні відбувалося, головним чином, за рахунок просідання цього шару. Отже, мала місце пряма залежність між підйомом WL в межах певного шару та переважним розвитком деформацій просідання цього шару.

Найбільший приріст осадок усіх паль мав місце на етапі замочування знизу, коли вони складали, в середньому, для циліндричних паль - 36,4 мм, для паль з розширеною п'ятою - 19,8 мм, для паль-тертя - 55,8 мм. Після завершення замочування знизу мала місце поступова стабілізація осадок усіх типів паль. На проміжному етапі приріст осадок циліндричних паль був, в середньому, 4,3 мм, паль з розширеною п'ятою - 1,0 мм, паль-тертя - 4,0 мм. Відбувалися вони за перші 70 діб проміжного етапу. За цей же час просідання суглинка 3 збільшилось на 12,5 мм. За останній час проміжного етапу осадки паль практично не збільшувались, а приріст просідання суглинка 3 встановив 5,5 мм. На

етапі замочування зверху відбулась остаточна стабілізація осадки палів. Вона пояснюється тим, що ще на проміжному етапі негативні сили тертя зменшились в зв'язку з підніманням  $WL$ , водонасиченням нависаючої на палі товщі та підніманням рівня нейтральної лінії. При замочуванні товщі зверху цей процес прискорився.

Статистичними випробуваннями палів-тертя встановлено, що для досягнення максимального значення сил негативного тертя по бічній поверхні палів, необхідно, щоб зсув ґрунту відносно палів ( $S_{zc}$ ) був біля 5 мм (розділ 4). Виходячи з визначення коефіцієнта відносного просідання  $\epsilon_{sp} = \frac{h-h'}{h_0}$ , прийнявши  $h-h' = S_{zc}$ , маємо формулу визначення критичної товщини шару просідання, що знаходиться під слабо просідаючими шарами:

$$h_{кр} = \frac{S_{zc}}{\epsilon_{sp}}; \quad (3)$$

При зафіксованим на етапі замочування знизу для лесу 4

$\epsilon_{sp} = 0,0256$  маємо  $h_{кр} = 195$  см. Ця величина відповідає товщині цього шару. Отже, товщина шару лесу 4 достатня для проявлення сил негативного тертя від товщі, котра лежить вище, у повній мірі.

Виконано порівняння розвитку деформацій просідання товщі під котлованом ОІВІ та товщі під дослідним котлованом О/ф"УкрДІІТВ" (УкрГІІНТІЗ), замочування якої здійснювалось лише через дно котлована та дренажні свердловини. В цьому котловані палів не було. Порівняння просідань шарів товщі для вияву армірувального ефекту товщі палів в котловані ОІВІ проведено по значенням відносного просідання шарів після закінчення замочування.

Осідання рівня денної поверхні в котловані О/ф"УкрДІІТВ" після закінчення замочування товщі ( $WL$  досяг дна котлована) складало 139,5 мм, що на 55 % більше, ніж у котловані ОІВІ. У леса 2 та суглинка 3 значення  $\epsilon_{sp}$  практично збіглися та становили: у леса - оба значення  $\epsilon_{sp} = 0,003$ , у суглинка - відповідно 0,0054 та 0,005. У леса 4  $\epsilon_{sp}$  в котловані без палів зафіксовано більш ніж в 2 рази більшими, ніж в котловані з палями - відповідно 0,055 та 0,0237. Отже, армірувальна дія палів в котловані ОІВІ виявилась в зменшенні просідання другого шару лесу. На просідання шарів, котрі лежать вище, вона практично не вплинула. При різниці в просіданні другого шару лесу 42,9 мм, різниця в осіданні рівня денної поверхні була

49 мм. Відміна полягає також і в тому, що при замочуванні товщі знизу, внаслідок деформації просідання лесу 4, ссїдає ґрунтова товща природної вологості, а при замочуванні через дно котлована та дренажні свердловини - водонасичена.

В четвертому розділі приведені наслідки статичних випробувань дослідних буронабивних паль, аналіз причин осадка будинка на палевих фундаментах та методика розрахунку несучої здатності паль в шаруватих лесових товщах.

В результаті проведення статичних випробувань дослідних циліндричної (П-3:  $l = 13,6$  м,  $d = 0,5$  м) та палі з розширеною п'ятою (ПР-2:  $l = 16,0$  м,  $d = 0,5$  м,  $D_n = 1,2$  м) в ґрунтах природної вологості встановлено наступне. У палі П-3 при навантаженні  $P = 2000$  кН опір ґрунту по бічній поверхні спочатку досяг максимального значення ( $f_1 = 76$  кН) а потім на тому ж ступеню зменшився до 71 кН.  $S_{г.} = 15,9$  мм,  $S_{п.} = 14,2$  мм. На наступних ступенях навантаження мало місце спочатку збільшення до 74 ... 75 кН, а потім зменшення до 71 ... 72 кН. Критичне навантаження було  $P = 2200$  кН. У палі ПР-2 остання величина навантаження, при якій осадки голови та нижнього кінця стабілізувалися, була  $P = 3375$  кН ( $S_{г.} = 68,15$  мм,  $S_{п.} = 59,2$  мм). На цьому ступеню навантаження  $f = 95$  кН. Максимального значення середній опір всієї товщі досяг при навантаженні ще  $P = 2500$  кН ( $S_{г.} = 8,7$  мм,  $S_{п.} = 7,0$  мм) та був 99 кН. На наступних ступенях навантаження опір знаходився в межах 91 ... 96 кН. Статичними випробуваннями паль-тертя встановлені значення опору та величина осадка зсува для товщі природної вологості та водонасиченої. Для шарів 1 ... 4 природної вологості вони встановили: (палі ПТ-3:  $l = 13,0$  м,  $d = 0,5$  м):  $f_1 = 64$  кН,  $f_3 = 57$  кН,  $S_{зс} = 6,2$  мм; та (палі ПТ-1:  $l = 13,5$  м,  $d = 0,5$  м):  $f_1 = 60$  кН,  $f_3 = 54$  кН. Випробування палі-тертя ПТ-1 проводились швидко без стабілізації осідання палі на ступенях навантаження. У цій палі значення  $f$  були на 6% нижче, ніж у палі ПТ-3, випробування якої проводились по методиці Держстандарту. В водонасиченому стані опір шарів 1...4 встановив (палі ПТ-2:  $l = 13,0$  м,  $d = 0,5$  м):  $f_1 = 51$  кН,  $f_3 = 43$  кН,  $S_{зс} = 3,6$  мм. Сили опору ґрунтів по бічній поверхні буронабивних паль для окремих інженерно-геологічних шарів приведені у табл. I. В цій же таблиці наведені середні значення опору шарів, відповідно БНІІ 2.02.03-5.

В результаті порівняння значень опору, одержаних випробуваннями паль різних конструкцій встановлено :

- у палі з розширеною п'ятою, що оберлася в суглинок 6 , значення опору  $f$  на 30 % більше, ніж у циліндричних паль, довжина яких відповідає довжині палі з розширеною п'ятою до розширення. Значення  $f_1$  у палі з розширеною п'ятою та у циліндричної були реалізовані при приблизно однаковій абсолютній ( $\approx 1,7$  мм) та відносній ( $1,06 \times 10^{-4}$  та  $1,29 \times 10^{-4}$ ) деформації ствола ;

- у циліндричній палі, що прорезала шари I...4 та була оберта в суглинок 5 значення опору  $f$  більші ніж у паль-тертя тих же розмірів на 20 % ;

- середнє значення опору  $f$  у паль-тертя, що прорізували шари I ... 4, більше, ніж у паль розташованих у межах окремих шарів, випробування яких проводилось витягненням, - на 5 % ;

- у паль-тертя, що прорізували шари I ... 4, при водонасичуванні товщі має місце зменшення опору  $f$  на 25 ... 30 % ;

- зафіксовані наступні зменшення опору окремих шарів при водонасичуванні : суглинок 1 - 27 ... 28 % , лес 2 - 22 ... 35 % , суглинок 3 - 8 ... 10 % , лес 4 - 16 ... 20 % , суглинки 5 та 6 - 8 ... 10 % .

В період з 1978 по 1992 рік проводились статичні випробування паль на об'єктах будівництва в м.Одесі. В процесі випробувань перевірялась розрахункова несуча здатність паль та вимірювались значення опору  $f$  та  $R$  . Для аналізу використані результати випробувань 174 паль на 63 будівельних майданчиках. Палі мали довжину 12...22 мм, діаметр ствола 0,5 або 0,6 м, у деяких паль було розширення 1,2 або 1,6 м. Усі палі прорізували шари лесів та суглинків та нижніми кінцями оберталися у глинисті ґрунти твердої або півтвердої консистенції. Випробування проводились як в водонасичених товщах (WL на глибині - 0,5 ... -1,0 м), так і в ґрунтах природної вологості. При аналізі результатів випробувань одержані середні значення опору ґрунту  $f$  відповідно вологості товщі. Вони приведені у табл. 2.

Таблиця І

Сили опору глинистих ґрунтів по бічній поверхні буронабивних паль,  $f$ , кПа  $\times$ 

№ п.п.	Назва шару	Глибина розпорядження шару, м	Середнє значення показника текучості ( $J_L$ ) шару										
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	Суглинок	0... -2,8	40,1	38,4	<u>35,1</u> 39,8	<u>29,0</u> 27,8	<u>26,6</u> 19,0	<u>25,0</u> 15,3	<u>23,3</u> 10,7	<u>20,1</u> 5,9	<u>20,0</u> 4,8	<u>20,0</u> 3,8	<u>20,0</u> 3,3
2	Лес	-2,8.. -7,8	52,0	51,1	<u>50,1</u> 55,0	<u>49,3</u> 39,5	<u>46,6</u> 23,8	<u>47,8</u> 23,3	<u>46,9</u> 16,7	<u>46,0</u> 9,4	<u>45,0</u> 7,8	<u>44,1</u> 6,8	<u>43,1</u> 5,6
3	Суглинок	-7,8.. -11,6	55,2	53,3	<u>50,6</u> 64,1	<u>45,0</u> 45,5	<u>46,0</u> 33,8	<u>43,7</u> 26,5	<u>40,2</u> 19,0	<u>36,8</u> 10,0	<u>34,5</u> 8,0	<u>31,6</u> 7,0	<u>28,7</u> 6,0
4	Лес	-11,6.. -13,5	64,7	63,5	<u>62,3</u> 68,0	<u>61,0</u> 49,0	<u>59,8</u> 36,0	<u>58,6</u> 27,5	<u>57,3</u> 19,5	<u>56,0</u> 10,5	<u>54,8</u> 8,0	<u>53,1</u> 7,0	<u>51,6</u> 6,0
5	Суглинок	-13,5.. -14,3	39,0	37,0	<u>35,0</u> 71,0	<u>35,0</u> 50,0	-	-	-	-	-	-	-
6	Суглинок	-14,3.. -17,3	40,0	38,0	<u>36,0</u> 74,0	<u>35,0</u> 48,0	-	-	-	-	-	-	-

\* - У знаменниках - середнє значення, визначене по таблиці 2 БНІІ 2.02.03-85.

Розрахункові значення опору по бічній поверхні  
буронабивних паль,  $f$ , кПа.

Область розповсюдж.	Середнє значення ступеня вологості						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
шари 1...4	60	55	50	45	36	30	25
шари 6...7	-	-	-	45	40	37	35

При обробці результатів випробувань визначалось середньквдратичне відхилення ( $S$ ) та коефіцієнт варіації ( $V$ ) окремих результатів. Результати, що не задовольняли вимогам статистичної обробки, відкидалися.

Встановлена відповідність значень ступеня вологості та показника текучості для шарів товщі. Це дало змогу скласти таблиці розрахункових значень опору  $f$  для кожного шару товщі в залежності від  $S_r$  та  $J_L$ .

У суглинка I твердій консистенції відповідає  $S_r < 0,644$ , півтвердій -  $0,644 \leq S_r \leq 0,76$ , тугопластичній -  $0,76 < S_r \leq 0,88$ . Значення  $S_r = 1,0$  у цього шару при  $J_L = 0,75$ .

У деса 2 твердій консистенції відповідає  $S_r < 0,492$ , півтвердій -  $0,492 \leq S_r \leq 0,54$ , тугопластичній -  $0,54 < S_r \leq 0,58$ , м'якопластичній -  $0,58 < S_r \leq 0,635$ , текучепластичній -  $0,635 < S_r \leq 0,68$ , текучій -  $S_r > 0,68$ .

У суглинка 3 твердій консистенції відповідає  $S_r < 0,566$ , півтвердій -  $0,566 \leq S_r \leq 0,67$ , тугопластичній -  $0,67 < S_r \leq 0,783$ , м'якопластичній -  $0,783 < S_r \leq 0,88$ , текучепластичній -  $0,88 < S_r \leq 1$ .

У леса 4 твердій консистенції відповідає  $S_r < 0,557$ , півтвердій -  $0,557 \leq S_r \leq 0,61$ , тугопластичній -  $0,61 < S_r \leq 0,66$ , м'якопластичній -  $0,66 < S_r \leq 0,71$ , текучепластичній -  $0,71 < S_r \leq 0,763$ , текучій -  $S_r > 0,763$ .

У суглинка 5 твердій консистенції відповідає водонасичений стан ґрунту при  $S_r < 0,826$ , півтвердій -  $0,826 \leq S_r \leq 0,97$ . При  $S_r = 1,0$  ґрунт шару знаходиться у тугопластичному стані.

У суглинка 6 твердій консистенції також відповідає водонасичений стан при  $S_r < 0,813$ , півтвердій -  $0,813 \leq S_r \leq 0,98$ . При  $S_r = 1,0$  ґрунт також знаходиться в тугопластичному

стані ( $J_L = 0,3$ ).

Аналіз роботи палі з розширеною п'ятою ( $l = 20,75$  м,  $d = 0,6$  м,  $D_{п} = 1,6$  м), в яку було встановлено три тензодинамометра по довжині, показав, що має місце взаємозв'язок між опором ґрунту по бічній поверхні окремих часток стволу палі та відносним стисненням цих часток. Так, при  $P = 3000$  кН максимальне значення опору в водонасиченому ґрунті має місце на верхній частці палі довжиною ( $l$ ) 12,2 м та було 59 кПа. У цієї частки була максимальною величиною відносного стиснення ( $\delta$ ) -  $4,2 \times 10^{-4}$ . На нижній частці ( $l = 2,25$  м):  $f = 38$  кПа,  $\delta = 3,6 \times 10^{-4}$ . На середній частці ( $l = 5,8$  м):  $f = 24,6$  кПа,  $\delta = 2,41 \times 10^{-4}$ .

Аналіз розвитку осадок багатопверхового будинку на пальових фундаментах з розмірами паль  $l = 15,1$  та  $15,6$  м,  $d = 0,5$  м показав, що вони мали місце в зв'язку з фронтальним замочуванням другого шару лесу під будинком. Замочування спричиняло розвиток деформації просідання цього шару та осіданіє товщі природної вологості, що знаходиться вище. Довжина паль виявилась недостатньою для сприймання загального зусилля від ваги будинка та сил негативного тертя, бо палі були заглиблені до опорного шару - глини твердої консистенції лише на  $0,5 \dots 1,0$  м.

В окремому підрозділі приведені рекомендації по розрахунку несучої здатності буронабивних паль. В разі замочування товщі зверху розрахунок треба вести по методиці I типу ґрунтових умов просідання, в разі ж можливого замочування знизу, несучу здатність паль треба перевіряти по методиці II типу ґрунтових умов.

В першому випадку:

$$N \leq \frac{Fd}{\gamma_k} \cdot L \quad (4)$$

де:

$$Fd = \gamma_c (\gamma_{cr} RA + \gamma_{cf} u \sum_0^L f_i h_i); \quad (5)$$

В другому випадку:

$$N \leq \frac{Fd}{\gamma_k} - P_n; \quad (6)$$

де  $\sum_{H_{se}}^L f_{on} l_{on}$

$$Fd = \gamma_c (\gamma_{cr} RA + \gamma_{cf} u \sum_{H_{se}}^L f_{on} l_{on}); \quad (7)$$

- опір ґрунтової товщі по бічній поверхні пальниці  $H_{se}$ .

Величина сил негативного тертя для поодиноких паль становить у відповідність опору ґрунту природної вологості по бічній поверх-

ні паль :

$$P_n = u \sum_0^{H_{\text{сл}}} \frac{f_i}{k} h_i \quad (8)$$

де  $k = 1,3$ .

Для паль у складі стрічних або окремо-стблячих фундаментів  $P_n$  рекомендується визначати, виходячи із законів взаємодії осідаючого ґрунтового масиву з ґрунтом умовного фундаменту (нерухомим).

### ВИСНОВКИ

1. Встановлен механізм розвитку деформацій просідання шаруватої лесової товщі при різних напрямках замочування. В разі замочування знизу відбувається водонасичення та просідання нижнього шару лесу під вагою лежачої вище товщі, яка знаходиться в природньому стані вологості. Просідання цього шару викликає відповідне осідання шарів, що лежать вище. Розрахунок несучої здатності паль треба вести по вимогам II типу ґрунтових умов з урахуванням сил негативного тертя. Максимальні значення останніх відповідають природній вологості нависаючих шарів. Нижня границя товщі просідання та нейтральна лінія знаходяться у межах нижнього шару лесу. По мірі водонасичення товщі, що лежить вище, при підніманні рівня ґрунтових вод, має місце зниження сил негативного тертя. При замочуванні товщі зверху, деформація просідання розвивається одночасово в межах шарів лесів та суглинки, що знаходиться поміж ними. Зменшення несучої здатності паль відбувається внаслідок зменшення опору ґрунту по бічній поверхні паль. Розрахунок несучої здатності паль треба вести по вимогам I типу без урахування сил негативного тертя.

2. На основі експериментальних досліджень визначені значення опору різних шарів ґрунту по бічній поверхні паль в залежності від вологості шарів. В цілому для товщі просідання вони зменшуються від 60 кПа при природній вологості товщі ( $S_r = 0,4$ ) до 36 кПа в водонасиченому стані ( $S_r = 0,8$ ) та далі до 25 кПа при  $S_r = 1$ .

3. Експериментально встановлено значення коефіцієнта переходу від сил опору по бічній поверхні паль до сил негативного тертя, який дорівнює 1,3.

4. Запропонована методика розрахунку несучої здатності поодиноких паль та паль в складі палевих фундаментів для кожного з можливих випадків замочування товщі. В методиці розрахунку приймаються до уваги отримані значення сил опору окремих шарів.

Основні положення дисертації опубліковані в працях автора :

1. Об учете негативного трения при проектировании фундаментов из буронабивных свай. В кн.: Прогрессивные конструкции фундаментов зданий. Тезисы докладов к областному семинару. Пенза, 1981. -с. 20...22 ( співавтор Кованьов Б.М. ).
2. Анализ причин осадки здания на свайных фундаментах, прорезающих слоистую толщу лессовых грунтов второго типа по просадочности. Известия ВУЗов. Строительство и архитектура, 1985. № 5. -с. 18...22 ( співавтор Кованьов Б.М. ).
3. Характеристики нелинейной деформативности грунтов, определяемые при полевых испытаниях буронабивных свай статической вдавливающей нагрузкой. В кн.: Современные проблемы нелинейной механики грунтов. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Челябинск, 1985. -с.65...66 ( співавтори Кованьов Б.М., Громченко Г.А. ).
4. Об учете негативного трения в слоистых лессовых толщах II типа по просадочности. // Исследования свайных фундаментов: Межвузовский сборник научных трудов. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. -с. 114...121 ( співавтори Кованьов Б.М., Громченко Г.А. ).
5. Развитие просадок слоистой лессовой толщи и осадок свай при различных направлениях замачивания. В кн.: Инженерная геология лессовых пород/ тезисы докладов Всесоюзного совещания, Ростов-на-Дону, 1989г./Кн. I. М., 1989. -с. 119...121 ( співавтор Кованьов Б.М. ).
6. Влияние сжатия железобетонного ствола буронабивной сваи на сопротивление грунта по его боковой поверхности. В кн.: Резервы прочности бетонных и железобетонных конструкций: Сб. научных трудов: -К.: УМК ВО, 1989. -с. 131...134 ( співавтор Кованьов Б.М. ).
7. Результаты исследования деформаций лессовой толщи свайного основания. Информ. листок № 069-93, УкрІНТИ, Одесса, 1993 ( співавтор Чупрін В.Н. ).
8. Изделия и конструкции кералитобетонные. Информ. листок № 070-93, УкрІНТИ, Одесса, 1993 ( співавтор Чупрін В.Н. ).

*Гросс*

Подп. к печати 22.07.93г. Форма™ 60x84 1/16.  
Объём I, Оп. л. 0, Уч. изд. л. Зап. л. № 1427. Тираж 100 экз.  
Гортипография Одесского управления по печати, цех №3.  
Ленина 49.

1000000

AB 28.056

**AB 28.056**