

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПАЛЬ НА ПРОСІДАЮЧИХ ГРУНТАХ**

## **FEATURES OF CALCULATION BEARING CAPACITY OF PILES IN SOAKING SOILS**

**Фурсович М.О.**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0003-4519-9589, **Супрунюк В.В.**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0001-9534-4460, **Зятюк Ю.Ю.**, ст. викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Fursovych M.A.** PhD, senior teacher, ORCID 0000-0003-4519-9589, **Suprunyuk V.V.** PhD, senior teacher, ORCID 0000-0001-9534-4460 **Zatyuk Y.Y.** senior teacher (National University of Water and Environmental Engineering)

Під час проектування пильових фундаментів на просідаючих ґрунтах одним з основних завдань перед проектувальником є визначення навантаження допустимого на палю. Найбільш небезпечним є зволоження частини просідаючої товщі внаслідок підйому рівня ґрунтових вод. В даній статті наведено проблемні питання щодо розрахунків пильових фундаментів на просідаючих ґрунтах. Зокрема, проаналізовано вимоги щодо визначення несучої здатності палі на просідаючих ґрунтах, які вперше вносились в нормативні документи, а також вимоги нормативних документів, що виходили на заміну попередніх норм. В результаті досліджень запропоновано методику, яка дозволить більш точно визначати навантаження допустиме на палю в просідаючих ґрунтах у випадку зволоження частини просідаючої товщі внаслідок підйому рівня ґрунтових вод.

When designing pile foundations on soaking soils, one of the main tasks before the designer is to determine the load permissible for the cinder. The most dangerous is the moisture of a part of the subsiding layer by raising the level of groundwater. In particular, the requirements for determining the bearing capacity of the pile on soils which were introduced for the first time in the regulatory documents, as well as the requirements of the normative documents that replaced the previous norms, were analyzed. As in the previous normative documents and in the DBN B.2.1-10-2009, the case where

only partial soaking of a thicker sediment soil can occur by raising the level of ground water, and the subsidence of soil from its own weight at the same time will amount to 5 cm. In this case, the upper layers of the penetrating layer will be in an impenetrable natural state and will hang over soaked, sown soil. Consequently, all conditions are created for the complete manifestation of the forces of negative friction (subsidence of the soil thickness more than 5 cm). In this case, the unsuspected layers of the soil above will be preserved by the physical-mechanical characteristics of the natural state, and the moisture of the thickening of the soil will correspond to the first type of soil conditions for sowing. In this article, problematic issues concerning calculations of pile foundations on soils are presented, ways of their solution are proposed. As a result of the research, a method is proposed that will allow more accurately determine the permissible load on a fall in soils in the case of wetting of a part of the subsiding layer by raising the level of soils.

**Ключові слова:**

Просідаючі гранти, паля, негативне тертя, несуча здатність.  
Sinking ground, pile, bearing capacity, negative friction.

**Проблема забезпечення надійності** споруд, що зводяться на просідаючих лесових ґрунтах, набула важливого значення ще в 60-х роках минулого століття, коли в районах поширення таких ґрунтів розгорнулося широке будівництво промислових підприємств і інженерних споруд. У ряді випадків вони зазнали небезпечних деформацій та аварій через великі і несподівані нерівномірні осідання, що одержали назву просідань.

Тоді ця проблема стала однією з найважливіших у фундаментобудуванні і над її вирішенням працювати видатні вчені ряду країн, про що свідчать сотні опублікованих статей, монографій і дисертацій.

Було доведено, що просідання відбуваються через замочування ґрунту під спорудами і зумовлюються високою пористістю лесових ґрунтів при наявності структурних зв'язків між їх частками, що легко порушується при замочуванні. На основі цього були розроблені способи оцінки просідаючих властивостей ґрунтів і методи визначення відповідних характеристик цих ґрунтів при інженерно-геологічних вишукуваннях. Були також запропоновані відносно прості рекомендації для попередження і ліквідації просідаючих деформацій основ, дотримання яких забезпечувало стійкість проти просідаючих впливів найбільш напруженого підфундаментного, шару ґрунту. Проте реальні особливості залягання і будови лесових ґрунтів вимагали подальшого вивчення і введення видозміни до зазначених рішень.

На жаль будівельникам здавалося, що проблема будівництва на лесових ґрунтах є цілком вирішеною. Стали зводити на просідаючих ґрунтах багатоповерхові будинки, часом ліквідуючи просідаючі властивості лише

верхнього шару ґрунтової товщі, використовуючи відносно короткі палі, що не прорізали всю просідаючу товщу. Наслідки такого безпечного підходу не заставили себе чекати — в останні роки почастишали випадки небезпечних просідаючих деформацій споруд. Лиш іноді вони були пов'язані з неякісними інженерно-геологічними вишукуваннями чи помилками при проектуванні. В більшості ж випадків усі вимоги нормативних документів і літературних джерел були, здавалося б, пунктуально витримані, але просідаючі аварії не усувалися. Основною причиною був підйом рівня підземних вод. Боялися замочування ґрунту зверху, а воно прийшло знизу. До недавня існувала думка [1], що підняття підземних вод побоюватися не слід, тому що верхня товща ґрунту разом зі спорудами поступово буде обтискати нижні шари, що зволожаться, осідання будуть відбуватися рівномірно і безпечно для будинків і аварійних ситуацій виникати не буде.

Однак такі ситуації виникали навіть у тих випадках, що вважалися найбільш безпечними — коли будинки стояли на палях. Виявилось, що палі замість того, щоб тримати споруди, стали під їх вагою опускатися і проколуювати ґрунт, що знаходився під їх вістрями. Така ненормальна робота палей викликала тим, що оточуючий їх стовбури ґрунт, осідаючи разом з замоченими нижніми шарами, захоплював за собою і палі, повисаючи на них за рахунок сил тертя, що у цьому випадку діяли зверху вниз (так зване негативне тертя).

Тим часом підняття рівня підземних вод на будівельних майданчиках і в цілому в районах нової забудови стало дуже поширеним. Сучасні технологічні процеси і великі житлові комплекси споживають значну кількість води, що обчислюється тисячами кубометрів у добу. Частина цієї води надходить у ґрунт через витік з водовідних мереж, технічних басейнів і каналізаційних систем. У результаті, наприклад, у Дніпропетровську приблизно за 10 років підземні води піднялися на 8...10 м, а в Запоріжжі навіть на 17...18 м, для м. Рівне — 2...5 м.

Дуже несприятливим є те, що в лесових ґрунтах підземні води піднімаються куполами поблизу місць надходження стічних вод зверху, що у свій час не враховувалось. Це викликає нерівномірне замочування просідаючої товщі знизу і, як наслідок, нерівномірні осідання фундаментів.

Таким чином, дослідження величини сил негативного тертя, прояв їх дії в часі, умов їх виникнення і врахування в розрахунках є доволі актуальним на даний час.

**Відомо, що при осіданні** навколопального ґрунту на бічній поверхні палей виникають привантажуючі сили так званого негативного тертя спрямовані у напрямку дії вертикальних навантажень від будинку чи споруди [2÷13].

Питання про виникнення і розвиток сил негативного тертя, що додатково навантажує палі при осіданні ґрунтів під власною вагою, майже не вивчені. Раніше ці сили не визначались і про їх існування свідчили тільки дані про

додаткові осідання паль в умовах тривалого замочування товщ просідаючих ґрунтів, прорізаних палями.

Для обліку сил негативного тертя при проектуванні пальових фундаментів необхідно проводити трудомісткі статичні випробування навантажених паль із тривалим, близько 2÷3 місяців, замочуванням ґрунтової товщі через котловани до повного прояву просідання.

Ігнорування сил негативного тертя чи неправильна інтерпретація статичних випробувань паль при дії цих сил приводили до аварій будинків і споруд. У той же час сили негативного тертя в розрахунках часто бувають завищені, що насамперед пов'язане з неврахуванням впливу часу, про що справедливо зазначено в роботах [7, 12].

Проведені експерименти підтвердили відоме положення про те, що для появи сил негативного тертя досить незначного перевищення осідання навколопального ґрунту відносно палі [10, 12]. Однак було встановлено, що для максимального їхнього розвитку це осідання повинне бути порядку 5см і більше.

Результати цих експериментів, а також дослідження, виконані іншими авторами [6], свідчать про те, що загальноприйнятий критерій виникнення сил негативного тертя, який полягає в співставленні тільки осідань навколопального ґрунту і палі, у ряді випадків не дозволяє правильно судити про розвиток негативного тертя при осіданні паль і ґрунту і призводить до невиправданого зниження корисного навантаження на палю.

Через невеликий обсяг експериментально-теоретичних досліджень фізична сутність негативного тертя дотепер достатньо повно не вивчена і не розроблені чіткі критерії врахування його в розрахунках.

**Історія питання.** Перші *нормативні* вимоги, щодо проектування пальових фундаментів на просідаючих ґрунтах наведені в СНиП II-17-77 “Свайные фундаменты” (введено в дію 1 січня 1979 року).

Треба зазначити, що формули, які наведені СНиП II-17-77 “Свайные фундаменты” (так і в нормативних документах, що виходили їм на заміну) для визначення несучої здатності паль в просідаючих ґрунтах отримані на основі експериментальних досліджень, які дозволили встановити, що сили негативного тертя починають проявлятися лише після просідання навколопального ґрунту на величину  $\approx 5\text{см}$  (I-й тип ґрунтових умов за просіданням).

Тип ґрунтових умов за просіданням I-й. Згідно цього СНиП, несуча здатність паль в ґрунтових умовах I-го типу за просіданням визначається з умови, що такі ґрунти зменшують несучу здатність при замочуванні. Значення опору ґрунту на бічній поверхні паль  $f_i$  в межах просідаючої товщі при можливому замочуванні визначається як для зволоженого ґрунту при показнику текучості, розрахованому за формулою

$$I'_L = \frac{0,9e\gamma_w/\gamma_s - W_p}{W_L - W_p}, \quad (1)$$

Якщо визначене за (1) значення  $I'_L < 0,4$ , то приймають  $I_L = 0,4$ .

Якщо замочування грантів неможливе, значення опору ґрунту на бічній поверхні палі  $f_i$  в межах просідаючої товщі визначається при вологості і показнику текучості в природному стані (коли  $w < w_p$  приймається  $w_p$ ).

Ці ж вимоги, щодо визначення несучої здатності палі в ґрунтових умовах I-го типу за просіданням, збереглися й в СНиП 2.02.03-85 “Свайные фундаменты”.

Це ж саме передбачено і в ДБН В.2.1-10-2009, однак за умови “коли відсутнє просідання від власної ваги ґрунту”.

Тип ґрунтових умовах за просіданням II-й. Формули, які наведені СНиП П-17-77 “Свайные фундаменты” для визначення несучої здатності палі в ґрунтових умовах II-го типу за просіданням передбачають *повне* замочування всієї просідаючої товщі. Причому несуча здатність палі (з урахуванням негативного тертя) визначається за формулою

$$\Phi_n = \Phi - a \left( tu \sum_0^{h_n} f_i l_i \right), \quad (2)$$

де  $\Phi$  - несуча здатність палі без врахування можливості розвитку негативного тертя ґрунту;

$a \left( tu \sum_0^{h_n} f_i l_i \right)$  - складова, яка враховує силу негативного тертя. Причому

розрахунковий опір просідаючого ґрунту на бічній поверхні палі  $f_i$  визначається за таблицями СНиП як для зволоженого ґрунту при показнику текучості, розрахованому за формулою (1), а розрахункова глибина  $h_n$ , до якої проводиться сумування сил бокового тертя, приймається рівній глибині, де величина просідання від власної ваги дорівнює гранично допустимому осіданню для будівлі, яка проектується.

Згідно цього СНиП, при визначенні сили негативного тертя передбачалось повне замочування просідаючої товщі. Випадки, коли може відбутися лише часткове замочування товщі просідаючого ґрунту, не передбачені.

Формули, які наведені СНиП 2.02.03-85 “Свайные фундаменты” для

визначення несучої здатності паль в ґрунтових умовах II-го типу за просіданням залежно від способу замочування передбачають як *повне* так і часткове замочування просідаючої товщі. Причому навантаження допустиме на палю (з урахуванням сили негативного тертя) визначається за формулою

$$P = \frac{F_d}{\gamma_k} - \gamma_c P_n, \quad (3)$$

де  $F_d$  - несуча здатність палі в межах де діє "позитивне" тертя ґрунту;

$\gamma_c$  - коефіцієнт умов роботи: при  $S_{slg} = 5 \text{ см}$   $\gamma_c = 0$ ; при  $S_{slg} \geq 2S_u$   $\gamma_c = 0,8$  (для проміжних значень  $\gamma_c$  визначається інтерполяцією);

$P_n$  - сила негативного тертя, яку до випробування паль на висмикування допускається визначати за формулою

$$P_n = u \sum_0^{h_{sl}} \tau_i h_i, \quad (4)$$

де  $u$  - периметр палі;  $h_{sl}$  - глибина, в межах якої діє сила негативного тертя (приймається рівною глибині, де значення просідання ґрунту від власної ваги дорівнює 5 см);  $h_i$  - товщина  $i$ -го шару ґрунту (в межах, де проявляється негативне тертя);  $\tau_i$  - розрахунковий опір ґрунту, визначається до глибини  $b$  м за формулою

$$\tau_i = \xi \sigma_{zg} \operatorname{tg} \varphi_I + c_I, \quad (5)$$

а нижче приймається постійним.

Тут  $\xi = 0,7$  - коефіцієнт бічного тиску;  $\sigma_{zg}$  - напруження від власної ваги замоченого ґрунту;  $\varphi_I, c_I$  - кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення ґрунту (в межах  $h_{sl}$ ).

Ці ж вимоги, щодо визначення несучої здатності паль в ґрунтових умовах II-го типу за просіданням, збереглися й в ДБН В.2.1-10-2009, з однією відмінністю, що  $h_{sl}$  приймається глибині просідаючої товщі.

Як в СНиП 2.02.03-85 "Свайные фундаменты" так і в ДБН В.2.1-10-2009, зміна 1, не враховується випадок, коли може відбутися лише часткове замочування товщі просідаючого ґрунту шляхом підйому рівня ґрунтових вод, а просідання ґрунту від власної ваги при цьому становитиме  $S_{sl,g} \approx 5 \text{ см}$ . В цьому випадку верхні шари просідаючої товщі будуть перебувати в незамоченому природному стані і зависатимуть над замоченим просівшим ґрунтом. Отже, утворюються всі умови для повного прояву сил негативного тертя (просідання ґрунтової товщі більше 5 см). При цьому вище розташовані незамочені шари ґрунту зберігатимуть фізико-механічні характеристики природного стану, а зволожена товща просідаючого ґрунту відповідатиме I-му типу ґрунтових умов за просіданням.

Слід зазначити, що ґрунтовні експериментальні і теоретичні дослідження, які б передбачали замочування просідаючої товщі знизу за вищеописаним випадком не проводились.

На основі аналізу вимог нормативних документів щодо визначення несучої здатності паль на просідаючих ґрунтах та даних, які наведені в [11, 13], для за вищеописаного випадку пропонується значення опору ґрунту на бічній поверхні паль  $f_i$  в межах просідаючої товщі

- на ділянці бічної поверхні палі від поверхні ґрунту до точки де  $S_{sl,g} = 5 \text{ см}$  приймати із знаком “-“, причому характеристики вищележачого ґрунту необхідно брати, як для ґрунтів природного стану;

- на ділянці бічної поверхні палі від точки де  $S_{sl,g} = 5 \text{ см}$  до нижньої межі просідаючої товщі приймати рівним нулю.

Це теоретичне припущення відповідає і цілком логічно вписується в загальну структуру ДБН В.2.1-10-2009 щодо визначання несучої здатності паль на просідаючих ґрунтах:

- коли відсутнє просідання від власної ваги ґрунту (I-й тип ґрунтових умов за просіданням): враховується "позитивне тертя" в межах просідаючої товщі, однак при цьому перераховується показник текучості ґрунту при його ймовірному зволоженні;

- коли відбувається зволоження частини просідаючої товщі шляхом підйому рівня ґрунтових вод: сила негативного тертя визначається для ґрунтів природної вологості, однак вона починає діяти лише коли  $S_{sl,g} = 5 \text{ см}$ ;

- сила негативного тертя фактично дорівнює нулю: коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c = 0$ , оскільки  $S_{sl,g} = 5 \text{ см}$ .

Запропоновані теоретичні припущення потребують значного обсягу експериментальних досліджень з метою їх експериментального обґрунтування.

**Висновок:** Впровадження запропонованих теоретичних припущень в практику проектування будівель на просідаючих ґрунтах дозволить більш точно визначати навантаження допустиме на палю, що тим самим забезпечить економічність, більшу надійність і довговічність запроектованих будівель і споруд.

1. Бахолдин Б.В., Берман В. И. Исследования сил отрицательного трения на боковой поверхности сваи и предложения по их учету «Основания, фундаменты и механика ґрунтов», 1974, № 4.

2. Григорян А. А. Расчет висячей сваи на вертикальную нагрузку в просадочном ґрунте «Основания, фундаменты и механика ґрунтов», 1971, № 6.

3. Григорян А. А., Григорян Р.Г. Взаимодействие свай с ґрунтом при просадке от действия собственного веса толщи. — Сб. № 65 НИИ оснований. Свайные фундаменты, М.: Стройиздат, 1975.

4. Григорян А.А., Григорян Р.Г. Экспериментальное изучение сил «отрицательного трения» на боковой поверхности сваи при просадке грунтов от собственного веса — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1975, № 5.

5. Григорян А.А., Мамонов Д.М. Определение несущей способности забивной висячей сваи в грунтовых условиях I типа по просадочности. Труды III Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению, Будапешт, 1968.

6. Гупаленко В.И., Руденко А.А. Исследование работы буронабивных свай в уплотненных массивах при просадках окружающих их грунтов от собственного веса. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1976, № 2.

7. Иовчук А.Т., Бабицкий И.С. О применении свай в грунтах со слабыми прослойками — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1967, № 2.

8. Клепиков С.Н., Сайко В.А. К расчету фундаментов из буронабивных свай в условиях просадочных грунтов II типа — В кн.: Основания и фундаменты. Киев, Будивельник, 1980, вып. 13.

9. Крутов В.И. Учет сил нагружающего трения на уплотненные, закрепленные массивы и сваи. — В кн.: Основания и фундаменты. Киев. Будивельник, 1980, вып. 13.

10. Пинк М.Н. Некоторые вопросы проектирования свайных фундаментов на слабых грунтах — В сб: Проблемы строительства на слабых грунтах. Материалы всесоюзного совещания по новым методам возведения промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Редакционно-издательский отдел. Рига, РПИ, 1972.

11. Рак С.М. Исследование работы свай. Машстройиздат, 1950.

12. Россихин Ю.В. Отрицательное трение на боковой поверхности свай при уплотнении слабой толщи пригрузкой, распределенной на значительной площади. Оценка последствий перегрузки оснований свайных фундаментов, окруженных оседающим слабым грунтом. — В сб.: Строительство на слабых грунтах. РПИ, МИСИ, НАМГиФ. Рига, 1970.

13. Финаев И.В., Канаков Г.В. Экспериментальные исследования несущей способности одиночных свай в лессовых грунтах «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1966, № 3.

1. Bakhholdin B.V., Berman V. I. Issledovaniya sil otritsatel'nogo treniya na bokovoy poverkhnosti svai i predlozheniya po ikh uchetu «Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov», 1974, № 4.

2. Grigoryan A. A. Raschet visyachey svai na vertikal'nyuyu nagruzku v prosadochnom grunte «Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov», 1971, №6.

3. Grigoryan A. A., Grigoryan R.G. Vzaimodeystviye svay s gruntom pri prosadke ot deystviya sobstvennogo vesa tolshchi. — Sb. № 65 NII osnovaniy. Svaynyye fundamenti, M.: Stroyizdat, 1975.

4. Grigoryan A.A., Grigoryan R.G. Eksperimental'noye izucheniye sil «otritsatel'nogo treniya» na bokovoy poverkhnosti svai pri prosadke gruntov ot sobstvennogo vesa — Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov, 1975, № 5.

5. Grigoryan A.A., Mamonov D.M. Opredeleniye nesushchey sposobnosti zabivnoy visyachey svai v gruntovykh usloviyakh I tipa po prosadochnosti. Trudy III Yevropeyskoy konferentsii po mekhanike gruntov i fundamentostroyeniyu, Budapesht, 1968.

6. Gupalenko V.I., Rudenko A.A. Issledovaniye raboty buronabivnykh svay v uplotnennykh massivakh pri prosadkakh okruzhayu-shchikh ikh gruntov ot sobstvennogo vesa. — Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov, 1976, № 2.

7. Iovchuk A.T., Babitskiy I.S. O primeneni svay v gruntakh so slabymi prosloykami — «Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov», 1967, № 2.

8. Klepikov S.N., Sayko V.A. K raschetu fundamentov iz buronabivnykh svay v usloviyakh prosadochnykh gruntov II tipa — V kn.: Osnovaniya i fundamenty. Kiyev, Budivel'nik, 1980, vyp.. 13.

9. Krutov V.I. Uchet sil nagruzhayushchego treniya na uplotnennyye, zakreplennyye massiv i svai. — V kn.: Osnovaniya i fundamenty. Kiyev. Budivel'nik, 1980, vyp. 13.

10. Pink M.N. Nekotoryye voprosy proyektirovaniya svaynykh fundamentov na slabyykh gruntakh — V sb: Problemy stroitel'stva na slabyykh gruntakh. Materialy vsesoyuznogo soveshchaniya po novym metodam vozvedeniya promyshlennykh i grazhdanskikh sooruzheniy na slabyykh vodonasyshchennykh glinistykh gruntakh. Redaktsionno-izdatel'skiy otdel. Riga, RPI, 1972.

11. Rak S.M. Issledovaniye raboty svay. Mashstroyizdat, 1950.

12. Rossikhin YU.V. Otritsatel'noye treniye na bokovoy poverkhnosti svay pri uplotnenii slaboy tolshchi prigruzkoy, raspredelennoy na znachitel'noy ploshchadi. Otsenka posledstviy peregruzki osnovaniy svaynykh fundamentov, okruzhennykh osedayushchim slabym gruntom. — V sb.: Stroitel'stvo na slabyykh gruntakh. RPI, MISI, NAMGiF. Riga, 1970.

13. Finayev I.V., Kanakov G.V. Eksperimental'nyye issledovaniyane nesushchey sposobnosti odinochnykh svay v lessovykh gruntakh «Osnovaniya, fundamenty v mekhanika gruntov», 1966, № 3.