

**Найдьорова В.Є.**

Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова

**ОГЛЯД МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ ДОВАНТАЖУВАЛЬНИХ СИЛ ТЕРТЯ ГРУНТУ, ЩО ДІЮТЬ ПО БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ БУРОВИХ ПАЛЬ**

У статті наводиться аналіз методик визначення довантажувальних сил тертя ґрунту, що діють по бічній поверхні бурових палей, при призначенні їх несучої здатності.

**Ключові слова:** просідання ґрунту, бічна поверхня, довантажувальні (негативні) сили тертя, несуча здатність палей, методика.

**Постановка проблеми.** Під час проектування будинків та споруд на палевих фундаментах сили довантажувального (або негативного) тертя варто враховувати у випадках, коли умовна швидкість деформації ґрунту навколопального масиву може перевищувати швидкість осаду палевого фундаменту, що, як правило, проявляється при наявності в основі структурно-нестійких ґрунтів (насіпних, тощо), а також в інших випадках розвитку подібних деформацій ґрунтової товщі [1; 5; 15].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням розвитку довантажувальних сил тертя у палевому фундаменті присвячені праці вітчизняних й зарубіжних дослідників: Б. Бром Бенг, Н. Феленіус, К. Крауфорд, М. Ендо, Л. Б'єррум, І. Йохансен, Ж. Керізел, Б.І. Далматов, Ф.К. Лапшин, Ю.В. Росіхін, А.О. Григорян, Ю.К. Зарецький, В.М. Морозов та інші [4; 5; 15].

Окрім теоретичних, становлять інтерес дослідні випробування й дослідження довантажувальних сил тертя за допомогою польових методів, які є найбільш достовірними. Тут варто визначити використання тензопалей, а також нормативні й запатентовані методи та способи визначення сил тертя по бічній поверхні фундаментів і палей [1]. Однак запропоновані польові випробування з використанням розглянутих методів та способів або є трудомісткими при застосуванні тензопалей, або сили довантажувального тертя визначаються на підставі випробувань палей на дію вдавлюючих і висмикуючих навантажень, при цьому приймається рівність сил опору ґрунту по бічній поверхні палей.

**Постановка завдання.** Завданням є провести аналіз наявних методик визначення довантажувальних (негативних) сил тертя ґрунту, що діють по бічній поверхні палей.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У цій статті розглянемо відомі вітчизняні та зару-

біжні методики визначення довантажувальних сил тертя ґрунту, що діють по бічній поверхні, які застосовуються в практиці будівництва під час проектування [2; 3; 7–9].

Методика «ДБН В.2.1-10-2009. Зміна № 1» [2]. Довантажувальна сила тертя ґрунту визначається за формулою (1):

$$P_n = u \sum_0^{h_i} \tau_i \cdot h_i, \quad (1)$$

де  $u$  – периметр поперечного перерізу стовбура палей, м;

$\tau_i$  – сили довантажувального (негативного) тертя  $i$ -го шару ґрунту по бічній поверхні палей, які приймаються рівними розрахунковому опору ґрунту, кПа, а саме за формулою (2):

$$\tau_i = \xi \sigma_{zg,i} \operatorname{tg} \phi_{l,i} + c_{l,i}, \quad (2)$$

$h_{sl}$  – розрахункова глибина, до якої виконується підсумовування сил бічного тертя просідаючих шарів ґрунту, м;

$h_i$  – товщина  $i$ -го шару ґрунту, дотичного з бічною поверхнею палей, м;

$\xi$  – коефіцієнт бічного тиску, який приймають рівним 0,7;

$\sigma_{zg,i}$  – вертикальна напружка від власної ваги ґрунту в середині  $i$ -го шару ґрунту, кН/м<sup>2</sup>;

$\phi_{l,i}$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, град;

$c_{l,i}$  – зчеплення ґрунту  $i$ -го шару, кПа.

При глибині  $6 \text{ м} < h < h_{sl}$  значення  $\tau_i$  приймається постійним, яке дорівнює значенню  $\tau_i$  на глибині 6 м.

Методика «Довідника проектувальника» [3]. Довантажувальну силу тертя згідно з «Довідником» пропонується визначати за формулою (3):

$$P_n = \frac{A_s}{H_{sl}} \sum_{i=1}^n (\gamma_{sat,i} h_i - p_{sl,i}) h_i, \quad (3)$$

де  $A_s$  – площа взаємодіючого з палею навколопального ґрунту природної структури;

$p_{sl}$  – початковий просідаючий тиск  $i$ -го шару потужністю  $h_i$ ;

$H_{sl}$  – потужність просідаючої зони;

$\gamma_{sat,i}$  – питома вага при повному водонасиченні, обчислюється відповідно до формули (4):

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_i}{-1 + \omega_i} + \frac{e_i \gamma_w}{1 + e_i}, \quad (4)$$

$h_i$  – товща  $i$ -го шару ґрунту, на які розбивається просідаюча товща ґрунту  $H_{sl}$ , в межах якої виявляються довантажувальні сили тертя [3–5].

Площа взаємодіючого з палею ґрунту  $A$  визначається в залежності від розташування палі. Для одиночної палі визначають за формулою (5):

$$A_s = \frac{\pi(0,4L)^2}{4} - A_{cot}, \quad (5)$$

де  $A_{cot}$  – площа ущільненого навколо палі ґрунту, знаходиться за формулою (6):

$$A_{cot} = 0,25\pi(2,5d)^2, \quad (6)$$

де  $d$  – діаметр палі.

Глибина товщі просідаючого ґрунту, в межах якої проявляються довантажувальні сили тертя [3]:

$$H'_{sl} = H_{sl} - s_{sl,g} / \varepsilon_{sl}, \quad (7)$$

де  $s_{sl,g}$  – гранично допустиме просідання від власної ваги, приймається 3 см [6];

$\varepsilon_{sl}$  – порівняне осідання нижнього шару просідаючої зони.

*Методика «Керівництва»* [7]. Облік довантажувальних сил тертя ґрунту по бічній поверхні палі під час осідання ґрунту під власною вагою товщі, отриманих за результатами обробки даних натурних випробувань палі, визначають за формулою (8):

$$P_n = a \cdot (m \cdot \sum_0^{h_i} \tau_i \cdot h_i), \quad (8)$$

де  $u$  – те саме, що й у формулі (1);

$a$  – коефіцієнт, що враховує вплив негативного тертя та приймається рівним  $a = 1,4$ ;

$m$  – коефіцієнт умов роботи, що приймається  $m = 1$ ;

$\tau_i$  – розрахунковий опір  $i$ -го шару ґрунту, який визначається відповідно до вказівок п. 9.6 [7];

$h_{sl}$  – розрахункова глибина, до якої виконується підсумовування сил бічного тертя просідаючих шарів ґрунту, яка приймається рівній глибині, де величина просідання ґрунту від дії власної ваги дорівнює гранично допустимій осадці для проектування будівлі або споруди, зазначеної у завданні на проектування.

Інші позначення аналогічні формулам (1) – (2).

*Методика «СП 24.13330.2011 Пальові фундаменти»* [8]. За цією методикою «СП» довантажувальну силу тертя  $P_n$ , а також сили негативного тертя  $i$ -го шару ґрунту по бічній поверхні палі знаходять за наведеними вище формулами (1) – (2). Помітна особливість цього методу полягає у визначенні коефіцієнта бічного тиску –  $\xi$ . Так,

якщо за методикою «ДБН» значення  $\xi$  приймається постійним  $\xi = 0,7$ , то за методикою «СП» визначають відповідно до формули (9):

$$\xi = \left( \frac{n_{max}}{n_i} \right) \left( 1 + \frac{H_i}{H_0} \right)^{-0,5}, \quad (9)$$

де  $\xi$  – експериментальний параметр, що характеризує бічний тиск на контактні палі з ґрунтом;

$n_{max}$  – найбільше значення пористості просідаючих ґрунтів, прийняте рівним 0,55;

$n_i$  – пористість  $i$ -го шару ґрунту, в частках одиниці;

$H_i$  – глибина розташування середини розрахункового  $i$ -го шару ґрунту, м;

$H_0 = 1$  м;

Інші позначення такі ж самі, як у формулах (1) – (2).

*Методика «Керівництво до Єврокодів – 7»* [9]. За методикою «Керівництво для проектувальників до Єврокодів – 7» довантажувальну силу тертя ґрунту  $P_n$  пропонується визначати за формулою (10):

$$P_n = q_{DK} \cdot u \cdot h_{sl}, \quad (10)$$

де  $q_{DK} = \tau_n^{max}$  – максимальне (граничне) негативне (довантажувальне) поверхнєве тертя, яке пропонується визначати за формулою (11):

$$q_{DK} = \sigma_{zg,i} \cdot tg\phi, \quad (11)$$

а вертикальну напругу від власної ваги ґрунту в середині  $i$ -го шару ґрунту, кН/м<sup>2</sup> за формулою (12):

$$\sigma_{zg,i} = \gamma_i \cdot h_{sl} \cdot \lambda_{0,i}, \quad (12)$$

Інші позначення такі самі, як у формулах (1) – (2).

*Методика Харківського національного університету будівництва та архітектури (ХНУБА)*. У цій методиці ХНУБА д.т.н. О.В. Самородовим на підставі численних досліджень роботи бічної поверхні палі на вдавлюючі, висмикуюючі і моментні навантаження у ґрунтовому масиві [1; 11; 12; 14], пропонується довантажувальну силу тертя ґрунту  $P_n$  приймати рівною силі опору по бічній поверхні палі в стані спокою  $T_0$  і визначати цю величину відповідно до запропонованої в роботі [12] залежності:

$$P_n = T_0 = \sum_0^{h_i} f_{0,i} \cdot h_i, \quad (13)$$

де

$$f_{0,i} = \sigma_{zg,i} \cdot k_{zg,i} \cdot \lambda_{0,i} \cdot tg\phi_{l,i} + k_c \cdot c_{l,i}, \quad (14)$$

$f_{0,i}$  – розрахунковий опір  $i$ -го шару ґрунту по бічній поверхні ствола палі в стані спокою, кН/м<sup>2</sup>;

$k_{zg,i}$  – коефіцієнт загасання напруг від власної ваги ґрунту в наволопальовому масиві в стані спокою (рис. 1);

$\lambda_{0,i} = \frac{v_i}{1-v_i}$  – коефіцієнт бічного тиску ґрунту всередині  $i$ -го шару;

$v_i$  – коефіцієнт Пуассона ґрунту всередині  $i$ -го шару;

$k_c$  – коефіцієнт, що враховує зменшення зчеплення ґрунту в результаті зсуву і призначається в залежності від консистенції пілувато-глинистого ґрунту [16]:  $k_c=0,22$  – тверда;  $k_c=0,22$  – напівтверда;  $k_c=0,29$  – тугопластична;  $k_c=0,65$  – м’якопластична.

Інші позначення аналогічні формулам (1) – (2).

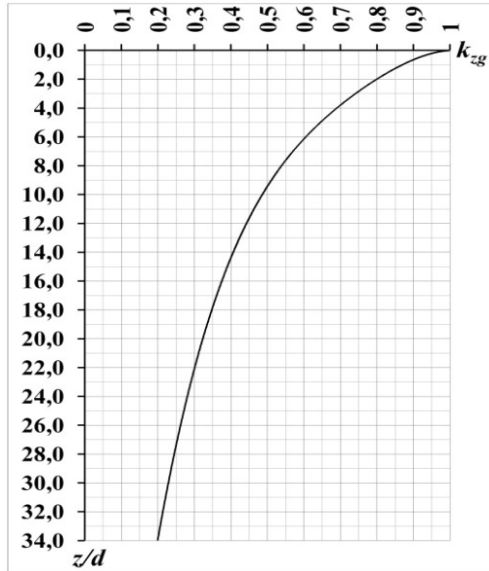


Рис. 1. Залежність коефіцієнта загасання напруг  $k_{zg}$  від порівняної глибини  $z/d$

Епюри розподілу довантажувальних сил тертя ґрунту, що діють по бічній поверхні бурових паль згідно з вищенаведеними методиками, схематично наведено на рис. 2.

Для порівняння значень довантажувальних сил тертя ґрунту, визначених за різними методиками (див. рис. 5), як вихідні дані було прийнято інженерно-геологічні умови і геометричні параметри випробуваної палі згідно з наведеним прикладом у «Керівництві» [7; 10].

Розрахункова схема буронабивної палі, що влаштовується сухим способом у просідаючих ґрунтах з опорою на твердий лесовидний суглинок, представлена на рис. 3.

Ґрунтові умови: II тип за просіданням. Розрахункова глибина  $h_{sl}$  визначається за графіком залежності сумарної величини просідання  $s_{sl}$  від глибини розташування  $i$ -го шару просідаючого ґрунту  $h_{sl}$ . При цьому величина  $h_{sl} = 13,7$  м прийнята для всіх зазначених методик для розрахунків (див. рис. 4).

На рис. 5 наочно представлені результати розрахунку довантажувальних сил тертя ґрунту  $P_n$  [10] за різними методиками [2; 7–9] при інших рівних умовах [7], де запропонований вище підхід названий «методикою ХНУБА».

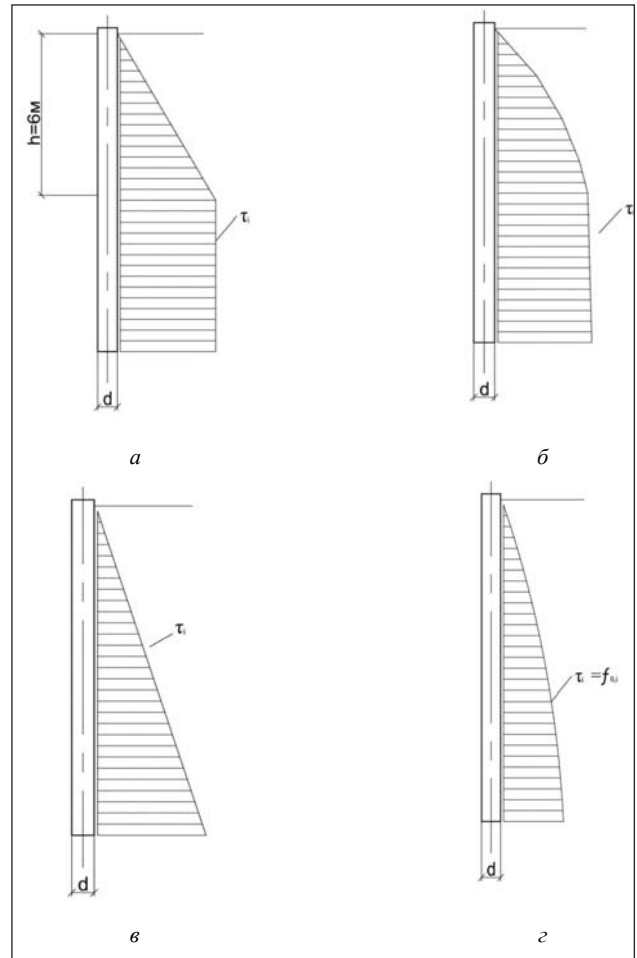


Рис. 2. Епюри розподілу довантажувальних сил тертя ґрунту  $\tau_i$ : а – згідно з методикою «ДБН» [2]; б – згідно з методикою «СП» [8]; в – згідно з методикою «Єврокод-7» [9]; г –  $\tau_i = f_{0,i}$  згідно із запропонованою методикою [14]

На рис. 5 бачимо, що застосування різних методик дає значну відмінність величин довантажувальних сил тертя ґрунту: величина  $P_n$ , отримана за запропонованою вдосконаленою методикою, в  $\approx 2$  рази менше [10], ніж за методикою «Керівництва», розробленою НИИОСП ім. Н.М. Герсеванова (1980 р.) [7] і українського «ДБН» [2], а також в  $\approx 1,7$  і  $\approx 1,5$  рази менше методик «Єврокоду-7» [9] і російського «СП» [8] відповідно.

**Висновки.** Розглянуто наявні й запропоновані методики визначення довантажувальних (негативних) сил тертя ґрунту  $P_n$  по бічній поверхні бурових паль, що дають підставу зробити висновок щодо різного характеру, прийнятого в розрахунках, епюр розподілу довантажувальних сил тертя  $\tau_i$  по довжині палі.

На конкретному прикладі під час прорізування палію просідаючого шару ґрунту показано значне розходження величин довантажувальних сил

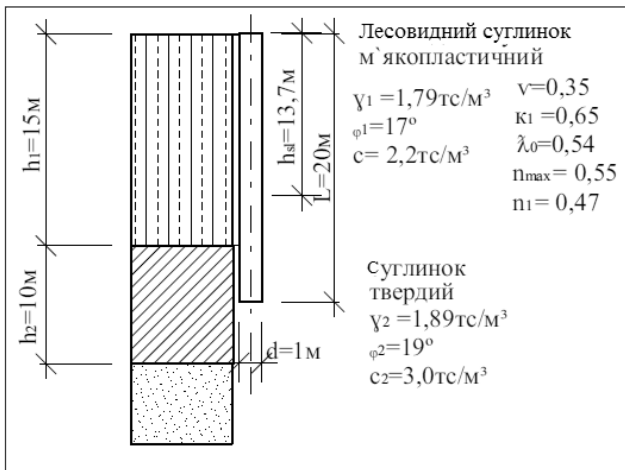


Рис. 3. Розрахункова схема взаємодії буронабивної палі з ґрунтовим масивом

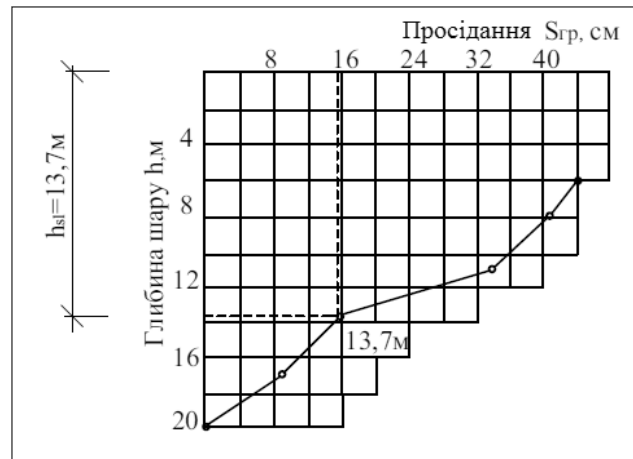


Рис. 4. Графік залежності  $S_{st} = f(h)$

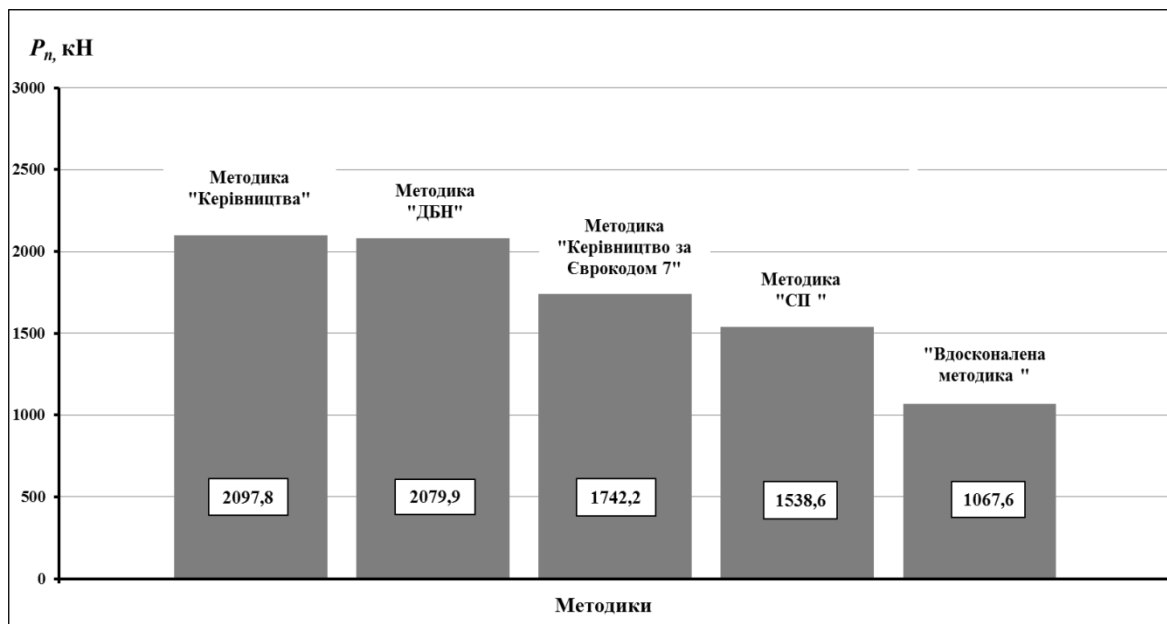


Рис. 5. Значення довантажувальних сил тєтя, що діють по бічній поверхні палі, які визначені за різними методиками

тєтя ґрунту  $P_n$  при застосуванні різних методик: величина  $P_n$ , отримана за вдосконаленою методикою в  $\approx 2$  рази менше, ніж за методикою «Керівництва», розробленою НИИОСП ім. Н.М. Герсєва-нова, 1980 р. [7] і українського «ДБН» [2], а також в  $\approx 1,7$  і  $\approx 1,5$  рази менше методик «Єврокода-7» [9] і російського «СП» [8] відповідно.

Отримані чисельні результати дають змогу зробити висновок про те, що мінімальне теоретичне значення величини довантажувальної сили тєтя ґрунту  $P_n$  на палю дає методика «ХНУБА», що узгоджується з твердженням в одній із піонерних робіт А.О. Григорян [15] у цьому напрямі.

#### Список літератури:

1. Самородов А.В., Табачников С.В., Найдєнова В.Е., Муляр Д.Л. Усовершенствование методики определения сил отрицательного трения ґрунта по результатам испытания натуральных свай. Основы та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. 2015. Вип. 37. С. 170–178.
2. ДБН В.2.1-10-2009 Зміна №1. Основы та фундаменти споруд. Основні положення проектування, 2011. 55 с. URL: [http://interiorfor.com/wp-content/uploads/2016/12/21\\_10\\_2009-zmina\\_11.pdf](http://interiorfor.com/wp-content/uploads/2016/12/21_10_2009-zmina_11.pdf) (дата звернення: 20.08.2018).

3. Горбунов-Посадов М.И. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика / В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др. Под общ. ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова. Москва, 1985. 480 с.
4. Алексеев В.М. Проектирование оснований и фундаментов сельскохозяйственных зданий и сооружений. Учебное пособие: 3-е изд. / П.И. Калугин. Воронежский государственный университет (ВГУ). 2001. 528 с.
5. Антонов В.М. Проектирование зданий в особых условиях строительства и эксплуатации. Учебное пособие / В.В. Леденев, В.И. Скрылев. Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ). 2002. 706 с.
6. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты / Госстрой СССР. Москва ЦИТП Госстроя СССР. 1986. 44 с. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854683.pdf> (дата звернення: 20.08.2018).
7. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н.М. Герсеева Госстроя СССР. Москва. 1980. 151 с.
8. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. / Министерство регионального развития РФ. 2011. 83 с. URL: <http://russian-realty.net/2014base/object2/sp19.htm> (дата звернення: 20.08.2018).
9. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 7: Геотехническое проектирование. Руководство для проектировщиков к EN 1997-1. Еврокод 7: Геотехническое проектирование – общие правила: пер. с англ. / Р. Франк и др.; ред. серии Х. Гульванесян. МОН РФ, ФГБОУ ВПО «МГСУ». Серия «Издано в МГСУ: Еврокоды». Науч. ред. серии З.Г. Тер-Мартirosян. МГСУ. 2013. 360 с.
10. Найдёнова В.Е. Анализ методик определения сил отрицательного трения, действующих по боковой поверхности свай. Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Вип. 83: В 2-х кн.: Ч. 2. 2016. С. 359–368.
11. Самородов А.В., Табачников С.В. Способ определения сил сопротивления песчаного грунта по боковой поверхности модельной сваи в состоянии покоя. Науковий вісник будівництва ХНУБА. Вип. 1(79). 2015. С. 91–95.
12. Самородов А.В., Табачников С.В. Новый метод определения сил сопротивления по боковой поверхности свай, учитывающий направление вертикальной нагрузки. Основания, фундаменты и механика грунтов. Москва. ОФМГ. Вып. 6. 2015. С. 12–15.
13. Табачников С.В. Экспериментальные исследования сил сопротивления по боковой поверхности моделей свай. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) ПолтНТУ. 2015. Вип. 1(43). С. 222–230.
14. Самородов А.В. Проектирование эффективных комбинированных свайных и плитных фундаментов многоэтажных зданий: монография / Харьков. 2017. 204 с.
15. Григорян А.А., Григорян Р.Г. Взаимодействие свай с грунтом при осадке от действия собственного веса толи. Свайные фундаменты: труды НИИОСП. Москва. Вып. 65. 1975. С. 45–55.
16. Сооружения промышленных предприятий: СНиП 2.09.03-85 / Госстрой России. Москва. 2006. 77 с. URL: [http://kmdrus.ru/uploads/3.snip\\_2.09.03-85.pdf](http://kmdrus.ru/uploads/3.snip_2.09.03-85.pdf) (дата звернення: 20.08.2018).

### **ОБЗОР МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОГРУЖАЮЩИХ СИЛ ТРЕНИЯ ГРУНТА, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПО БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ БУРОВЫХ СВАЙ**

*В статье приводится анализ методик определения догружающих сил трения грунта, действующих по боковой поверхности буровых свай, при назначении их несущей способности.*

**Ключевые слова:** *просадка грунта, боковая поверхность, догружающие (отрицательные) силы трения, несущая способность свай, методика.*

### **REVIEW OF THE METHOD OF DETERMINING OF NEGATIVE FRICTION FORCES OF SOIL ACTING ON THE LATERAL SURFACE OF THE DRILLING PILE**

*It the article it is provided an analysis of methods for detection of negative friction forces of soil acting on the lateral surface of the drilling pile, with the appointment of their load-bearing capacity.*

**Key words:** *soil subsidence, side surface, loading friction force, load-bearing capacity of piles, methods.*