

**НОВА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРУ ҐРУНТІВ
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ ПАЛЯМИ**

Ю. Ф. Тугаєнко, А. П. Ткаліч, М. В. Марченко, Л. О. Логінова

Запропонована нова методика випробувань ґрунтів палями, яка дозволяє визначити значення характеристик опору ґрунту по бічній поверхні і під нижнім кінцем палі. Сутність розробленої методики полягає у використанні пружних властивостей ґрунтів і матеріалу палі для оцінки показників опору ґрунтів. При випробуваннях використовується стандартне обладнання з застосуванням методики циклічно-зростаючого навантаження.

Ключові слова: *палі; навантаження; зрушення; тиск; структурна міцність.*

**НОВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ**

Ю. Ф. Тугаєнко, А. П. Ткалич, М. В. Марченко, Л. А. Логинова

Предложена новая методика испытаний ґрунтов сваями, которая позволяет определить значения характеристик сопротивления ґрунта по боковой поверхности и под нижним концом сваи. Сущность разработанной методики заключается в использовании упругих свойств ґрунтов и материала сваи для оценки показателей сопротивления ґрунтов. При испытаниях используется стандартное оборудование с применением методики циклически-возрастающей нагрузки.

Ключевые слова: *свая; нагрузка; сдвиг; сжатие; структурная прочность.*

**THE NEW TECHNIQUE OF THE CHARACTERISTIC DETERMINATION
OF THE SOIL RESISTANCE ACCORDING TO THE RESULTS OF THE PILE TESTS**

Y. Tugaenko, A. Tkalich, M. Marchenko, L. Loginova

A new method of testing soil piles, which allows you to determine the values of the characteristics of soil resistance on the lateral surface and below the lower end of the pile. The essence of the developed technique is to use the elastic properties of the soil and the pile material for the performance evaluation of the soil resistance. In tests using standard equipment, using the procedure cyclically-increasing load.

Keywords: *pile; load; shift; compression; sensitivity (structural strength).*

Вступ

Палі є фундаментною конструкцією, що передає навантаження від споруди на ґрунти основи. Її несуча здатність визначається сумою опорів зрушенню по бічній поверхні стовбура і стисненню ґрунту нижче вістря.

В Україні, за діючими нормами, попереднє значення граничного навантаження на палю визначається розрахунком з використанням табличних значень опору зрушенню і стисканню залежно від складу і стану ґрунтів. Розрахункові значення підлягають коригуванню після випробування дослідних палей в натурних умовах. На палювому полі об'єкта проводяться контрольні випробування 0,5 % палей від їх кількості, але не менше двох. Чинним стандартом передбачено визначення граничного навантаження на палю за результатами випробувань без урахування показників опору ґрунтів.

Метою роботи є визначення за результатами натурних випробувань параметрів опору ґрунтів по бічній поверхні і під нижнім кінцем палей.

Результати дослідження

В Одеській державній академії будівництва та архітектури розроблено нову методику випробувань, що дозволяє визначати характеристики опору ґрунтів з використанням стандартного обладнання для статичних випробувань. Її сутність полягає в урахуванні пружних властивостей залізобетону палі для визначення значень граничних опорів ґрунтів.

Палю оточує ґрунт, ущільнений в процесі її занурення. Опір зрушенню по бічній поверхні обмежує довжину стиснутої ділянки палі. Тому кожному ступеню відповідає певна ділянка довжини стовбура, в межах якої спостерігається його деформування. З ростом навантаження довжина стисненої ділянки збільшується. Пружні деформації ґрунтів складаються з двох частин: пружної і пружно-в'язкої. Ґрунтове середовище навколо стовбура палі є пружно-в'язким. Пружна частина деформації зникає відразу, практично миттєво, після зняття навантаження, а зниження пружно-в'язкої складової продовжується тривалий час [1].

У новій методиці змінена технологія прикладання навантаження. Замість ступінчато-зростаючого, передбаченого чинним стандартом, застосована методика циклічно-зростаючого навантаження. Кожна ступінь являє собою самостійний цикл, який складається з прикладання навантаження, витримування його до умовної стабілізації і розвантаження. На кожному ступені вимірюються повна величина осідання і її залишкова величина. За їх різницею визначається пружна складова осідання палі. У застосованій методиці використана залежність миттєво-пружних деформацій від навантаження.

За результатами випробувань будується графік залежності пружної складової осідання від навантаження. Графік складається з двох гілок: перша характеризує пружне стиснення стовбура. Точка перелому відповідає навантаженню, рівноважному граничним опором зрушенню уздовж поверхні стовбура. При більшому навантаженні пружна складова є сумою пружного стиснення стовбура і ґрунту нижче вістря. Отримана залежність є вихідною для оцінки характеристик опору ґрунтів.

Пружна складова залежності осідання верхнього торця палі від навантаження є наслідком пружного стиснення її стовбура. Довжина стисненої ділянки по глибині $l_{f,i}$ залежить від величини прикладеного навантаження P_i і опору ґрунту зрушенню f_i на контактній поверхні палі $A_{f,i}$ та навколишнього ґрунту. Чим менше опір зрушенню, тим більше довжина стиснутої ділянки. У практиці досліджень напружено-деформованого стану системи паля – ґрунту основи застосовуються два методи оцінки опору зрушенню по бічній поверхні: інтегральний і диференціальний. Інтегральним визначається середнє значення опору зрушенню по всій поверхні стовбура. З цією метою випробування проводяться висмикуючим навантаженням, застосуванням паль-штампів і ін. Диференціальним визначається опір зсуву на окремих ділянках довжини стовбура при застосуванні тензометричних паль, тензоприладів та ін. [2, 3].

За розробленою методикою можна визначити відмічені показники за результатами випробувань вертикальним вдавлюючим навантаженням без використання спеціального обладнання. За графіком залежності $s_n = f(P)$ визначається навантаження P_f , відповідне граничному опору зрушенню по площі поверхні стовбура палі A_f . Його значення, віднесене до площі поверхні, визначає середнє значення граничного опору зрушенню $f_{cp,lim}$.

Визначення опору зрушенню по бічній поверхні стовбура. Для оцінки опору зрушенню на будь-якій ділянці довжини стовбура палі визначається модуль пружності залізобетону палі, при навантаженні, рівному граничному опору зрушенню P_f за формулою (1):

$$E_n = 0,5 \cdot P_f \cdot l_f / A_R \cdot s_n = \sigma_{cp} \cdot l_f / s_n, \quad (1)$$

де P_f – навантаження відповідне граничному опору зрушенню по бічній поверхні стовбура палі; l_f – довжина підземної частини палі; A_R – площа поперечного перетину палі; s_n – пружна складова осідання, при навантаженні; $P_f; \sigma_{cp}$ – середнє напруження в поперечному перерізі палі.

Для кожного ступеня навантаження за формулою (2) визначається довжина пружно-стисненої ділянки:

$$l_{f,i} = E_n \cdot s_n / \sigma_{cp}, \quad (2)$$

За отриманими даними будується графік залежності довжини стиснутої ділянки від навантаження $l_f = f(P)$ (рис. 2, а), за яким визначається величина граничного опору зрушенню на будь-якій ділянці довжини стовбура за формулою (3):

$$\Delta f_i = \Delta P_f / \Delta l_{f,i} \cdot u, \quad (3)$$

де u - периметр палі.

В якості прикладу наведено результати випробувань двох паль у м. Іллічівську і в м. Южному Одеської області перерізом $0,35 \times 0,35$ м, довжиною відповідно 16,0 і 15,0 м [4]. Показники властивостей ґрунтів за матеріалами вишукувань наведені в таблиці № 1, а геологічна будова на рис. 2.

Таблиця 1 – Показники властивостей ґрунтів

№ ИГЭ	Вид ґрунту	ρ_s , г/см ³	ρ_d , г/см ³	w_L , д.о.	w_P , д.о.	S_r , д.о.	E , МПа	φ , град	c , кПа
м. Іллічівськ, Одеської області (палі №188)									
2	суглинок	2,69	1,44	0,34	0,21	0,68	14/8	22	22
3	супісок	2,67	1,40	0,25	0,18	0,81	4	17	8
4	суглинок	2,68	1,42	0,33	0,21	0,72	13	22	22
5	супісок	2,67	1,40	0,26	0,18	0,80	4	17	8
6	суглинок	2,68	1,41	0,30	0,20	0,62	10	17	15
7	супісок	2,67	1,40	0,25	0,18	0,80	4	17	8
8	суглинок	2,72	1,53	0,38	0,23	0,80	16	23	25
9	глина	2,73	1,63	0,40	0,22	0,81	23	19	50
м. Южний, Одеської області (палі № 29)									
2	суглинок	2,70	1,50	0,33	0,21	0,68	12/8	20	24
3	супісок	2,69	1,46	0,28	0,20	0,93	4	20	6
4	суглинок	2,70	1,61	0,34	0,22	0,96	13	18	23
5	супісок	2,69	1,54	0,28	0,20	0,87	7	15	9
6;6а	суглинок	2,72	1,57	0,42	0,26	0,93	14	21	35
7	глина	2,73	1,55	0,46	0,27	0,93	20	18	30

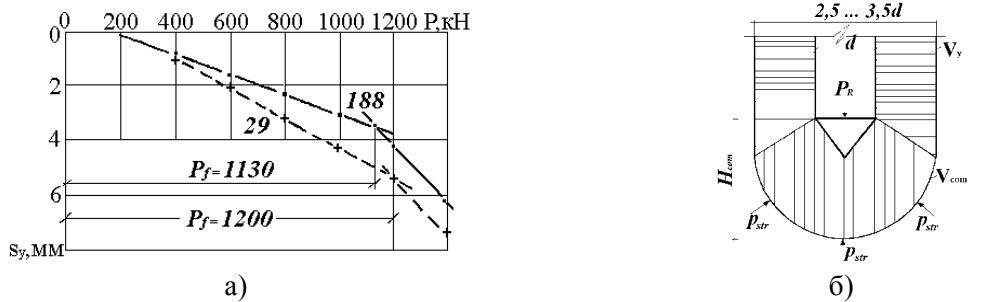


Рисунок 1 – а) графіки залежності пружної складової осідання від навантаження; б) стан ґрунтового середовища після занурення палі: V_y – обсяг ущільненого ґрунту навколо стовбура палі; V_{com} – ущільнене ґрунтове ядро під вістрям палі

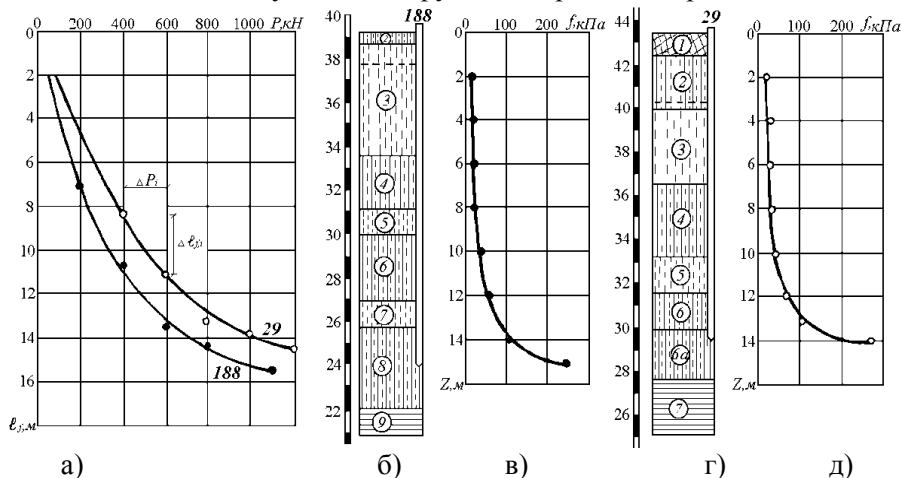


Рисунок 2 – Визначення опору зрушенню по довжині палі: а) графіки залежності довжини пружно-стисненої ділянки стовбура палі від навантаження; б; г) інженерно-геологічна будова ділянок будівництва; в; д) графіки зміни опору зрушенню по глибині для паль № 188 і 29. Пунктирною лінією показано рівень підземних вод

Результати випробувань і визначення опору зрушенню наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри деформування ствола палі і ґрунтів основи

№ палі	P , МН	s_n , см	$l_{f,i}$, см	ΔP_i , кН	$\Delta l_{f,i}$, см	f_i , кПа
1	2	3	4	5	6	7
м. Ільчівськ, Одеської області						
1 (188)	0,2	0,029	699	200	699	20,4
	0,4	0,085	1052	200	353	40,5
	0,6	0,16	1336	200	284	50,3
	0,8	0,226	1419	530	204	185,6
	1,13	0,346	1540			
					1540	1130
м. Южний, Одеської області						
2 (29)	0,4	0,103	822	400	822	34,8
	0,6	0,210	1144	200	322	44,4
	0,8	0,319	1312	200	168	85,0
	1,0	0,420	1382	400	128	223,2
	1,2	0,527	1440			
					1440	1200

Визначення граничного опору стисненню і структурної міцності. Стовбур палі, після її занурення, оточує ущільнений ґрунт, а нижче вістря ущільнене ядро. Схема стану ґрунтів в її нижній частині приведена на рис. 1, б. При навантаженні, яке перевищує граничний опір зрушенню по бічній поверхні $P_R > P_f$ нижче вістря палі, спостерігаються пружні і залишкові деформації. Залишкові деформації виникають всередині ущільненого ядра, до навантаження, при якому напруження на границі зони ущільнення врівноважуються структурною міцністю навколишнього ґрунту.

Для лесових супісків і суглинків глибина ущільненого ядра H_{com} коливається в межах 1,9... 2,0d [5, 6, 7, 9]. Тоді напруження на нижній межі зони ущільнення буде рівним:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot \sigma_R, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт, що враховує зниження по глибині додаткового тиску в ґрунті.

Випробування ґрунтів палями з прикладанням вертикального вдавлюючого і висмикуючого навантажень проведені на чотирьох майданчиках ділянки забудови комплексу житлових будівель на перетині вул. Затонського і Кримського бульвару в м. Одесі. Палі з поперечним перерізом 0,35м і довжиною 12 м. Геологічна будова на двох дослідних майданчиках з протилежних боків ділянки наведені на рис. 3. а; б, а показники властивостей ґрунтів у таблиці 3. Рівень підземних вод в період випробувань залягав на глибині 1,8 м нижче природного рельєфу (0,4...0,6 м нижче дна котловану). За результатами досліджень визначено значення граничного навантаження F_u і структурної міцності p_{str} несучого шару. З цією метою, після досягнення критичного навантаження, при сталості якого спостерігається незатухаюче наростання осідання, постійне навантаження зберігається до досягнення осідання 5,0 – 7,0 мм, після чого припиняється підкачка масла в камеру домкрата. В результаті значно скорочується тривалість стабілізації деформації. Величина навантаження після досягнення рівноваги є граничною і врівноважується сумою опорів зрушенню по поверхні стовбура (P_f) і стисненню нижче вістря палі (P_R):

$$F_u = P_f + P_R \quad (5)$$

Структурна міцність дорівнює напруженню на межі ущільненого ядра від граничного значення частини навантаження на вістрі палі P_R . Результати визначень наведені в таблиці 4.

Таблиця 3 – Показники властивостей ґрунтів

№ ПЕ	Вид ґрунту	ρ_s г/см ³	ρ_d , г/см ³	w_L , д.о.	w_P , д.о.	S_r , д.о.	E , МПа	φ , град	c , кПа
г. Одеса (палі №№ 124; 624)									
1	суглинок	2,70	1,41	0,32	0,20	0,62	6	18	15
2	супісок	2,69	1,38	0,27	0,19	0,79	3	15	6
3	суглинок	2,69	1,53	0,29	0,17	0,78	7	17	18
4	супісок	2,70	1,52	0,28	0,19	0,80	5	16	9
5	суглинок	2,71	1,57	0,33	0,18	0,82	10	19	24
6	суглинок	2,71	1,59	0,35	0,19	0,85	12	20	36
7	глина	2,73	1,58	0,40	0,21	0,90	15	20	41

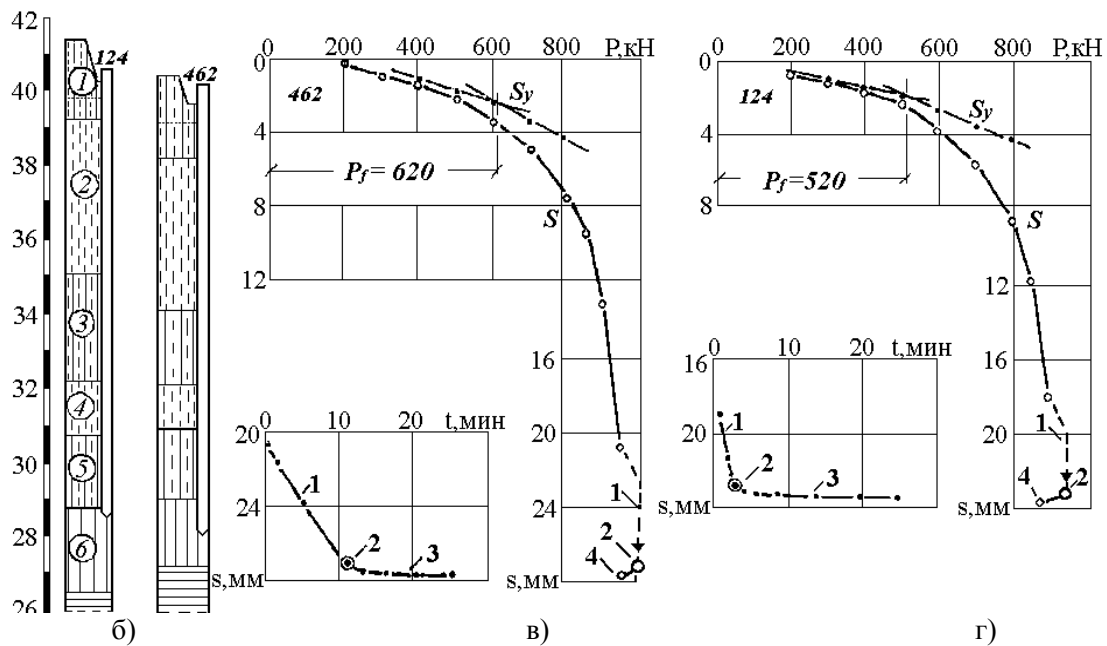


Рисунок 3 – Результати випробувань ґрунтів палями на вертикальне вдавлююче навантаження: а, б) інженерно-геологічні колонки в точці випробувань палей; в, г) графіки залежності осідання від навантаження: 1. «Зрив» палі. 2. Припинення підкачки масла в камеру домкрату. 3. Процес зниження навантаження та стабілізації деформацій. 4. Навантаження, врівноважене силами опору ґрунтів

Таблиця 4 – Опір ґрунтів за результатами випробувань палями

№ палі	P_{lim} , кН	$P_{кр}$, кН	F_u , кН	P_f , кН	P_R , кН	P_R / d^2 , кПа	P_{str} , кПа	$P_{str,cp}$, кПа
124	900	950	880	520	360	2939	317	293
404	850	900	850	580	270	2204	238	
462	950	1000	950	620	330	2694	291	
129	900	950	930	570	370	3020	326	

Значення структурної міцності за результатами випробувань, коливаються в межах 240..330 кПа і близько збігаються з результатами визначення дослідними штампами 250 кПа [8].

Достовірність методики циклічно-зростаючого навантаження. Достовірність застосованої методики, за визначенням середнього значення опору зрушенню по поверхні стовбура, підтверджена результатами випробувань ґрунтів палями на вдавлююче і висмикуюче навантаження.

Випробування на вертикальні висмикуючі навантаження проведені в безпосередній близькості від палі № 462 і виконані двічі. Перший раз через 11 днів після занурення і повторно після інтервалу тривалістю 12 днів. Результати випробувань наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Опір зрушенню по бічній поверхні палі

№ дому	№ палі	P_f , кН	f_i , м	A_f , м ²	$P_f + G_{ce}$, кН	$P_f - G_{ce}$, кН	f_{cp} , кПа
3	124	520	11,67	16,3	555	-	34
3а	404	580	11,58	16,2	615	-	38
7	462	620	11,38	15,9	655	-	41
8	129	560	11,56	16,2	595	-	37
7	1.1	630	11,52	16,1	-	595	37
7	1.2	650	11,52	16,1	-	615	38

Примітки: P_f – навантаження врівноважене опором по бічній поверхні палі; f_i і A_f – підземна частина палі і площа її поверхні; G_{ce} – вага палі, рівна 35 кН; f_{cp} – середнє значення опору зрушенню по поверхні стовбура.

Дослідження виконані за методикою циклічно-зростаючого навантаження. При випробуванні на висмикування зусилля сприймає робоча арматура в пружній стадії деформування. При першому випробуванні спостерігалися значні залишкові деформації, пояснити які можна появою мікротріщин в бетоні палі на контакті з арматурою.

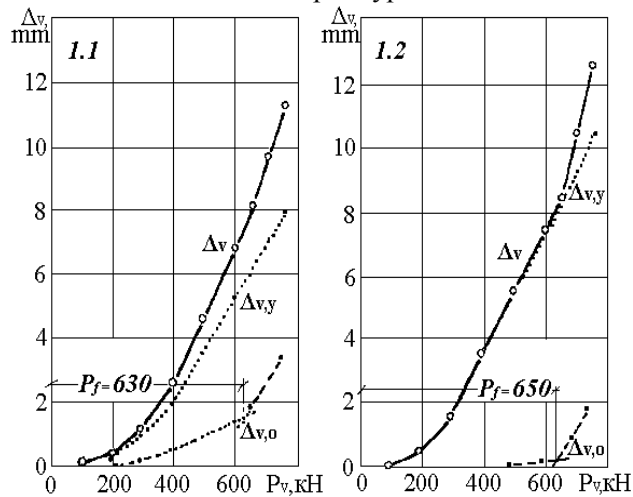


Рисунок 4 – Результати випробувань палі на вертикальне висмикуюче навантаження: 1.1 – перше випробування; 1.2 – повторне

При повторному випробуванні залишкові деформації склали частки міліметра. Залежність залишкових деформацій від навантаження має дві гілки. Перша характеризує спільну деформацію робочих стрижнів арматури з бетоном палі, а друга – визначає «вихід» палі з ґрунтової основи. Їх перетин фіксує навантаження відповідне початку «виходу» палі з основи. Отримане значення навантаження за вирахуванням ваги палі визначає граничну величину висмикуючого навантаження, по якому визначено середнє значення сил зсуву по поверхні стовбура. Результати визначень наведені в табл. 5. Розбіжності між результатами граничного значення опору зрушенню по поверхні стовбура за результатами випробувань вдавлюючим і висмикуючим навантаженням двох, поруч розташованих палей, склали близько 8 %.

Висновки

- Методика циклічно-зростаючого навантаження дозволяє визначити цілий ряд параметрів напружено-деформованого стану системи палі - ґрунти основи.
- Її застосування можливе при використанні стандартних стендів і не вимагає додаткового обладнання і вимірювальних систем.
- Достовірність отриманих результатів перевірена натурними дослідженнями.

Використана література

1. Ермолаев Н. Н. Основные направления развития и задачи науки по динамике оснований и фундаментов / Н. Н. Ермолаев, И. В. Прокудин // Известия высших учебных заведений Министерства высшего и среднего специального образования СССР. – Строительство и архитектура. – 1976. – №1. С. 3 – 20.

2. Трофименков Ю. Г. Совершенствование методов определения несущей способности свай / Ю. Г. Трофименков, Б. В. Бахолдин, В. Б. Швец [и др.] // Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. – М., 1973. – С. 150-161.
3. Григорян А. А. Свайные фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах / А. А. Григорян. – М.: Стройиздат. – 1984. – 162 с.
4. Тугаенко Ю. Ф. Дифференциальный подход к оценке повышения сил трения по боковой поверхности свай во времени / Ю. Ф. Тугаенко, А. В. Новский, А. П. Ткалич, Л. А. Василевская // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 19. – Полтава, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка. – 2007. – С. 114-120.
5. Аршакуни Д. Е. Исследования совместной работы забивных коротких свай с грунтами основания / Д. Е. Аршакуни И. М. Нагорных, В. Н. Голубков, Ю. Ф. Тугаенко. – Транспортное строительство. – 1974. – № 4. – С. 41-42.
6. Григорян А. А. О работе висячей сваи в просадочном грунте / А. А. Григорян, В. М. Мамонов // Сборник докладов и сообщений по свайным фундаментам. – М., 1968. – С. 246-252.
7. Голубков В. Н. Основа целенаправленного проектирования свайных фундаментов уплотнения / В. Н. Голубков // Расчет и проектирование свай и свайных фундаментов. Труды II Всесоюзной конференции: «Современные проблемы свайного фундаментостроения в СССР». – Пермь, 1990. – С. 14-15.
8. Работников А. И. Исследования деформации лессовых грунтов в скважинах штампами / А. И. Работников, В. С. Корякин // Межведомственный Республиканский научный сборник. Основания и фундаменты. – Киев, 1969. – Вып.2. – С. 77-80.
9. Тугаенко Ю. Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов / Ю. Ф. Тугаенко. – Одесса.: Астропринт. – 2008. – 216 с.

Тугаєнко Юрій Федорович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Ткалич Анатолій Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Марченко Михайло Васильович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Логінова Людмила Олександрівна – канд. техн. наук, інженер, доцент кафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Тугаенко Юрий Федорович – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Ткалич Анатолий Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Марченко Михаил Васильевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Логина Людмила Александровна – канд. техн. наук, инженер, доцент кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Tugaenko Yuri – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Bases and foundations Odessa state academy of civil engineering and architecture.

Tkalych Anatoly – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of bases and foundations Odessa state academy of civil engineering and architecture.

Marchenko Michael – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Bases and foundations Odessa state academy of civil engineering and architecture.

Loginova Lyudmila – Cand. Sc. (Eng.), Engineer, Assistant Professor of the Department of Bases and foundations Odessa state academy of civil engineering and architecture.