

## **АППРОКСИМАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ КОРОТКИХ ЗАБИВНЫХ СВАЙ УПЛОТНЕНИЯ**

Суходоев Ю.Ф., Твардовский И.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
г. Одесса, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Ущільнений ґрунт міжпальового простору і ґрунт, розташований нижче вістря паль, розглядаються як двошарова основа. Апроксимовані необхідні для розрахунку осадки пальового фундаменту параметри основи, представлені у вигляді експериментальних графічних залежностей.

**АННОТАЦИЯ:** Уплотненный грунт межсвайного пространства и грунт, расположенный ниже острия свай, рассматриваются как двухслойное основание. Аппроксимированы необходимые для расчета осадки свайного фундамента параметры основания, представленные в виде экспериментальных графических зависимостей.

**ABSTRACT:** Compacted soil within the space between the piles and the soil below the pile tips are thought of as a double-layer foundation. The foundation parameters represented as experimental graphical curves required for computing settlements of the pile foundation have been approximated.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** двухслойное основание, свайный фундамент, аппроксимация.

### **ВСТУПЛЕНИЕ**

На решениях, базирующихся на теории упругости, основаны практические методы прогноза деформаций оснований сооружений [8]. При этом уравнения теории упругости для определения напряжений в основании сооружений справедливы в пределах линейной зависимости между напряжениями и деформациями.

При расчете напряжений и перемещений допускают, что основание сооружения является однородным и линейно-деформируемым телом. Од-

нако, основания сооружений редко бывают однородными. В частности, грунты, уплотненные короткими забивными сваями можно рассматривать при расчете как двухслойное основание [5]. Значения параметров двухслойного основания описать в виде функциональных зависимостей, позволяющих сгладить экспериментальные погрешности, используя метод наименьших квадратов. Исследовано распределение напряжений и перемещений в упругом слое и предложен метод расчета осадки фундамента по схеме линейно-деформируемого слоя конечной толщины [1 - 4].

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Для расчета осадки свайного фундамента из коротких забивных свай с использованием модели двухслойной среды предложена формула [4, 5]:

$$S = \frac{2Rp}{\eta E} k(H, R, n), \quad (1)$$

где  $R$  – приведенный радиус ростверка, м;

$p$  – давление в подошве ростверка, МПа;

$E$  – модуль деформации второго (расположенного ниже острия сваи) слоя, МПа;

$H$  – толщина верхнего слоя, м;

$n$  – отношение модуля деформации первого слоя к модулю деформации второго слоя;

$\eta$  – экспериментально установленный коэффициент, равный 0,2;

Графики  $E_{zp} = f(\rho_d)$  и  $E = f(\rho_d)$  (рис. 1) позволяют определить  $n$  [9].

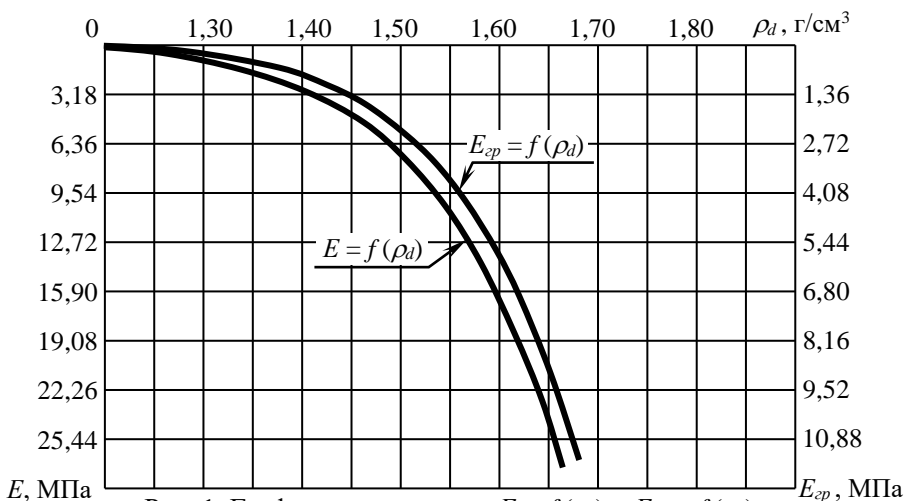


Рис. 1. Графики зависимости  $E = f(\rho_d)$  и  $E_{zp} = f(\rho_d)$

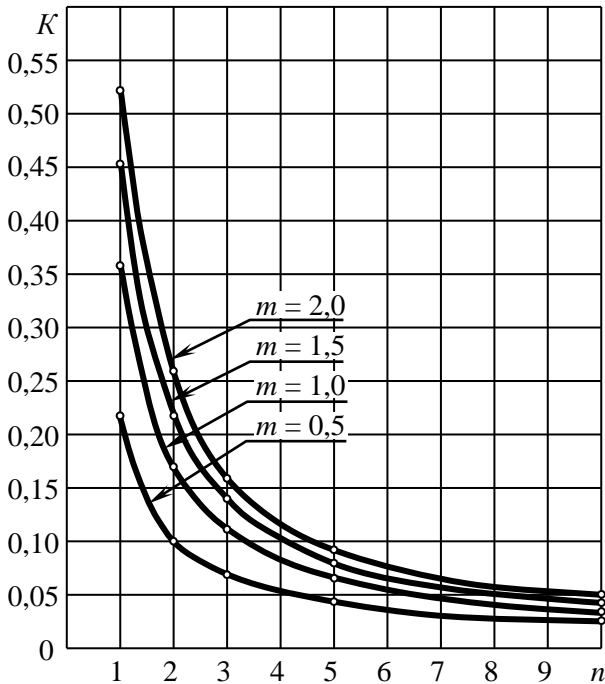


Рис. 2. Значение коэффициента  $K$ , зависящего от параметров  $m = H/R$  и  $n = E_1/E_2$

Коэффициент  $K$  (рис. 2), зависящий от параметров  $m = H/R$  и  $n = E_1/E_2$ , определяется по графику  $K = f(H, R, n)$  [9].

Исследование графиков зависимости функций  $E_{zp} = f(\rho_d)$  и  $E = f(\rho_d)$  производилось с помощью Microsoft Excel [6, 7, 10, 11].

В ходе анализа графика  $E_{zp} = f(\rho_d)$  были найдены следующие аппроксимирующие функции:

Сравнив значения из существующего графика и полученные расчетные величины, делаем вывод, что наиболее рациональным является применение степенной функции. Тогда  $E_{zp} = f(\rho_d)$  имеет вид:

$$E_{zp} = 0,0045\rho_d^{15,305}$$

Аналогично для графика  $E = f(\rho_d)$  установлена степенная функция  $y = 0,015x^{13,03}$ . Тогда  $E = f(\rho_d)$  имеет вид:

$$E = 0,0153\rho_d^{13,039}$$

Исследование графика зависимости функций параметра  $K$  от показателей  $m$  и  $n$  производилось также с помощью Microsoft Excel [6, 7, 10, 11].

Таблица 1

Сопоставление экспериментального графика  $E_{cp} = f(\rho_d)$   
с аппроксимирующими функциями

Значение $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	1.3	1.35	1.4	1.45	1.5	1.55	1.6	1.65
Значение $E_{cp}$ по графику	0.23	0.45	0.79	1.47	2.27	3.85	5.89	8.95
Вид функции	Экспоненциальная функция							
Значение $E_{cp}$ по расчету	0.2973	0.5000	0.8410	1.4145	2.3790	4.0014	6.7302	11.3197
Погрешность, %	29.25	11.11	6.45	3.78	4.80	3.93	14.26	26.48
Средняя геометрическая погрешность, %								12,5
Средняя арифметическая погрешность, %								9,3
Вид функции	Полиномиальная функция							
Значение $E_{cp}$ по расчету	0.1418	0.3516	0.7106	1.2987	2.2319	3.6618	5.7763	8.7989
Погрешность, %	38.36	21.86	10.05	11.65	1.68	4.89	1.93	1.69
Средняя геометрическая погрешность, %								11,5
Средняя арифметическая погрешность, %								6,34
Вид функции	Степенная функция							
Значение $E_{cp}$ по расчету	0.2495	0.4446	0.7757	1.3272	2.2299	3.6833	5.9878	9.5897
Погрешность, %	8.49	1.20	1.81	9.71	1.77	4.33	1.66	7.15
Средняя геометрическая погрешность, %								4.5
Средняя арифметическая погрешность, %								3.36

Таблица 2

Сопоставление значения коэффициента  $K$ , зависящего от параметров

$$m = H/R \text{ и } n = E_1/E_2$$

$m = 2$										
$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
значение $K$ из графика	0.525	0.26	0.16	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.055	0.05
значение $K$ по расчету	0.512	0.251	0.165	0.123	0.098	0.081	0.069	0.060	0.053	0.048
погрешность	2.44	3.53	3.25	2.36	8.46	1.12	1.40	0.25	3.13	4.40

Для данной функции  $K = f(n)$  при  $m = 2$  рационально использовать степенную функцию:  $K(m = 2) = 0,122n^{-1,03}$

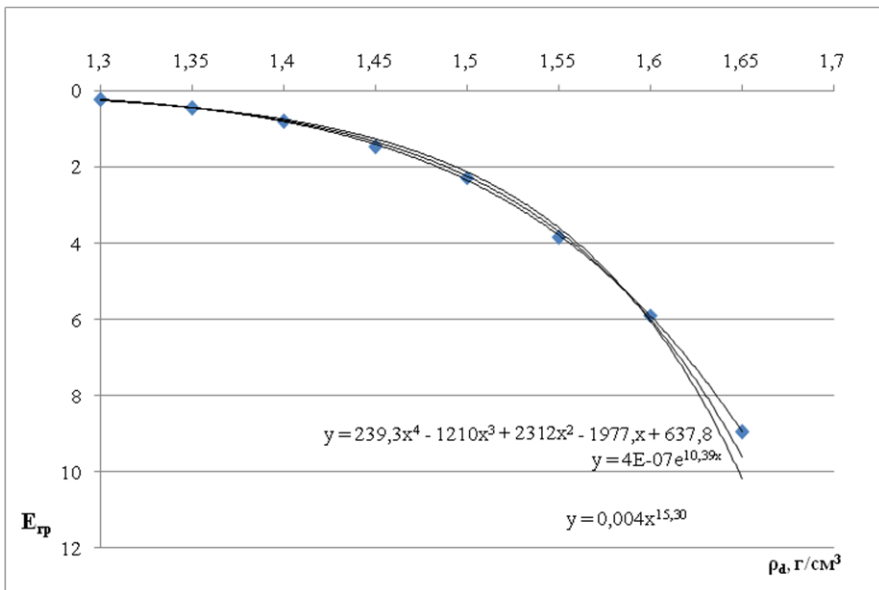


Рис. 3. Степенная функция графика  $E_{cp} = f(\rho_d)$

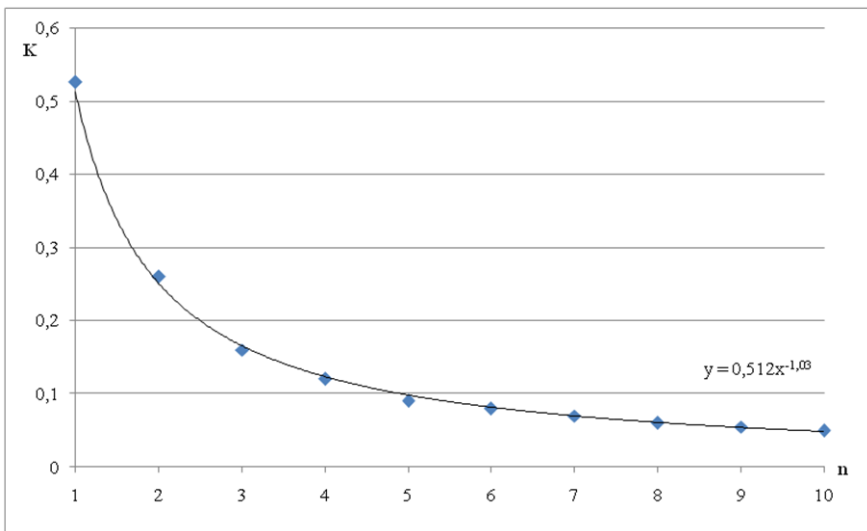


Рис. 4. Степенная функция графика  $K = f(n)$  при  $m = 2$

Аналогично устанавливаем степенные функции для  $K(m = 1,5) = 0,4492n^{-1,052}$ ,  $K(m = 1,0) = 0,3569n^{-1,052}$  и для  $K(m = 0,5) = 0,2056n^{-0,957}$ .

Принято устанавливать зависимость функции  $K = f(n)$  для определенного значения параметра  $m$ .

## ВЫВОДЫ

Анализ результатов расчетов и построенные графики показывают, что квадратичная аппроксимация наилучшим образом описывает экспериментальные данные.

Сравнение полученных значений экспоненциальной, полиномиальной и степенной функций показало, что наиболее рациональным является применение степенной функции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров К.Е. Распределение напряжений и перемещений в двухслойном основании ленточного фундамента / Егоров К.Е. // Свайные и естественные основания, №10. - М. – Л., Стройиздат Наркомстроя, 1939. С. 99 – 114.
2. Егоров К.Е. К вопросу деформации основания конечной толщины / Егоров К.Е. // Механика грунтов. - №34. - М.: Госстройиздат, 1958. С. 12 – 29.
3. Егоров К.Е. Распределение напряжений и перемещений в основании конечной толщины / Егоров К.Е. // Механика грунтов. - №43. - М.: Госстройиздат, 1961. - С. 13 – 31.
4. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. - М.: Стройиздат, 1977. – 376 с.
5. Суходоев Ю.Ф. Деформации основания фундаментов из коротких забивных свай: автореф. дисс. канд. техн. наук. – Баку, 1987. – 22 с.
6. Умеров А.Н. Методы и программные средства аппроксимации экспериментальных данных / Умеров А.Н., Шуршев В.Ф. // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Вып. 1 – 2005. – С. 97 – 104.
7. Голубинский А.Н. Методы аппроксимации экспериментальных данных и построение моделей / Голубинский А.Н. // Вестник Воронежского института МВД России. – Вып. 2. – 2007. – С. 156 – 161.
8. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. - [Чинні від 2009-07-01]. – Київ.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 90 с. – (Будівельні норми України).
9. Суходоев Ю.Ф. Расчет оснований свайных фундаментов из коротких забивных свай уплотнения с использованием модели двухслойной среды / Суходоев Ю.Ф. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Вип. 39. – Одеса, 2010. - С. 269 – 273.

10. Аксенов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации, полученных в результате компрессионных испытаний мерзлых грунтов / Аксенов В.И. // Электронное научное издание Альманах «Пространство и Время». – Т.4. - Вып. 1. – 2013. – С. 73 – 83.
11. Лапшин Э.В. Методы аппроксимации функций многих переменных авиационных комплексов / Э.В. Лапшин // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – №4. – С. 14 – 20.

## REFERENCES

1. Yegorov K. Raspredeleniye napriazhenii i peremeshchenii v dvukhsloinnoy osnovanii lentochnogo fundamenta. [Strain and Displacement Distribution in double-layer strip foundation]. – Svainiye i yestestvenniye osnovaniya [Pile and natural foundations], vol. 10, M. – L., Stroiizdat narkomstroya, 1939. pp. 99 – 114.
2. Yegorov K. K voprosu deformatsii osnovaniya konechnoi tolshchini [To the problem of deformation of final thickness foundation]. – Mekhanika gruntov, [Soil mechanics] vol. 34, M., Gosstrojizdat, 1958. pp. 12 – 29.
3. Yegorov K. Raspredeleniye napryazhenii i peremeshchenii v osnovanii konechnoi tolshchini [Strain and Displacement Distribution in final thickness foundation]. – Mekhanika gruntov, [Soil mechanics] vol. 43, M., Gosstrojizdat, 1961. pp. 13 – 31.
4. Rukovodstvo po proektirovaniyu osnovanii zdaniy i sooruzhenii NII OSP im. Gersevanova. [Manual to the planning of buildings and constructions foundations Gersevanov's SRI FCU] M., Strojizdat, 1977. p. 376.
5. Sukhodoev Y. Deformatsii osnovaniya fundamentov iz korotkikh zabivnykh svai. [Deformations of short bored pile foundations] / Sukhodoev Y. // Avtoreferat dis. kand. techn. nauk [Abstract of technical sciences candidate's dissertation ] – Baku, 1987. – 22 p.
6. Umerov A. Shurshev V. Metody i programmiye sredstva approksimatsii eksperimental'nykh dannykh [Methods and programming means of approximation of experimental data] / Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [The Bulletin of Astrakhan State Technical University]. – Vol. 1 – 2005. – pp. 97 – 104.
7. Golubinskii A. Metody approksimatsii eksperimentalnykh dannykh i postroeniye modelei [Methods of approximation of experimental data and constructing models] / Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii [The Bulletin of Voronezh Institute of Ministry of Internal Affairs (Russia)]. – Vol. 2. – 2007. – pp. 156 – 161.
8. DBN V.2.1-10-2009. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia [Bases and foundations of buildings] – Kyiv.: Minregionbud of Ukraine, 2009. – 104 p.
9. Sukhodoev Y. Raschet osnovanii svainykh fundamentov iz korotkikh zabivnykh svai uplotneniya s ispolzovaniem modeli dvukhsloinnoi sredy [Computing of short bored pile foundations using double-layer environment model]. – Visnyk

Odeskoi derzhavnoi akademiyi budivnitstva ta arkhitektury, [The Bulletin of Odessa State Academy of Building and Architecture] vol. 39. – Odessa, 2010. pp. 269 – 273.

10. Aksionov V. Koeffitsiienty dlya korrektyrovki znachenii modulei deformatsii, poluchennykh v rezultate kompressionnykh ispitaniy myorzlykh gruntov [Coefficients for correcting meanings of deformation moduli, received as a result of compression tests of frozen soils] / Elektronnoe nauchnoe izdaniye Al'manakh "Prostranstvo i vremia" [Electronic scientific edition Almanac "Space and Time"]. – Vol. 4, part 1. – 2013. – pp. 73 – 83.
11. Lapshin E. Metody approksimatsii funktsii mnogikh peremennykh aviatsionnykh kompleksov [Methods of approximation of many variable aircraft complexes] / E. Lapshin // Nadiozhnost' i kachestvo slozhnykh sistem. [Safety and quality of complex systems] – 2013. – vol. 4. – pp. 14 – 20.

Статья поступила в редакцию 12.09.2016 г.