

УДК 624.131.5

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-168-174

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПУАССОНА И БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ПЕСЧАНОМ ОСНОВАНИИ ПОД КРУГЛЫМ ШТАМПОМ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТВОРА

**В. В. Ревенко, В. Н. Моргунов**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

**Аннотация.** Описывается методика и анализируются результаты экспериментального определения коэффициентов Пуассона и бокового давления в песчаном основании при его нагружении круглым штампом с использованием измеренных всех компонент тензора деформаций по горизонтальному створу.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, коэффициент Пуассона, коэффициент бокового давления, деформированное состояние основания

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF POISSON'S COEFFICIENTS AND LATERAL PRESSURE IN A SANDY FOUNDATION UNDER A CIRCULAR STAMP FOR A HORIZONTAL SECTION

**V. V. Revenko, V. N. Morgunov**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

**Annotation.** The technique is described and the results of experimental determination of Poisson's coefficients and lateral pressure in a sandy foundation under its loading by a circular stamp using measured all components of the strain tensor along a horizontal section are analyzed.

**Keywords:** experimental studies, Poisson's ratio, lateral pressure coefficient, deformed state of the foundation

### Введение

К числу основных параметров, характеризующих НДС оснований, относятся коэффициент Пуассона и сопряженный с ним коэффициент бокового давления [1]. Эти параметры могут считаться универсальными, то есть отражать косвенным образом и другие свойства грунтовых оснований, при условии знания их конкретных значений для различных точек основания при разных ступенях нагружения. Такое их определение возможно лишь при комплексных экспериментальных исследованиях НДС оснований, включающих в себя получение всех компонент напряжений и деформаций в процессе нагружения основания.

Для их последующего определения и были проведены соответствующие эксперименты.

## Методика и результаты экспериментов

Опыты проводились на автоматизированном испытательном комплексе в лотке  $3 \times 3 \times 2,2$  м (глубина) с песком начальной плотности  $17,5 \text{ кН/м}^3$ . Штамп - металлический диск диаметром  $D = 280$  мм с шероховатой контактной поверхностью и заглублением  $H: D = 0,5$ . Нагрузка на штамп прикладывалась центрально, через сферический шарнир домкрата, ступенями вплоть до предельной  $P_{\text{lim}} = 67,65 \text{ кН}$ , предельная осадка составила  $S_{\text{lim}} = 23,7$  мм.

В процессе проведения опытов измерялись значения всех компонент напряжений и деформаций в фиксированных точках основания на каждой ступени нагружения.

Измерения всех компонент относительных деформаций  $\varepsilon_z, \varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \gamma_{zr}$  выполнялись с помощью осевых деформометров [2] и сдвиговых деформометров [3]. «Точками» измерений являлись узлы координатной сетки, кратной размеру диаметра штампа.

Для последующих вычислений были использованы значения измеренных относительных деформаций без поправок. Ранее был выполнен частичный анализ точности измерений [4].

Главные относительные деформации вычислялись по известной формуле:

$$\varepsilon_{1,2} = (\varepsilon_z + \varepsilon_r)/2 \pm \sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 + 4(\gamma_{zr}/2)^2}/2. \quad (1)$$

Коэффициент Пуассона вычислялся по формуле [5]:

$$\nu = - \frac{(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}{2} / \varepsilon_z, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  — боковые осевые относительные деформации,  $\varepsilon_z$  — вертикальная осевая относительная деформация.

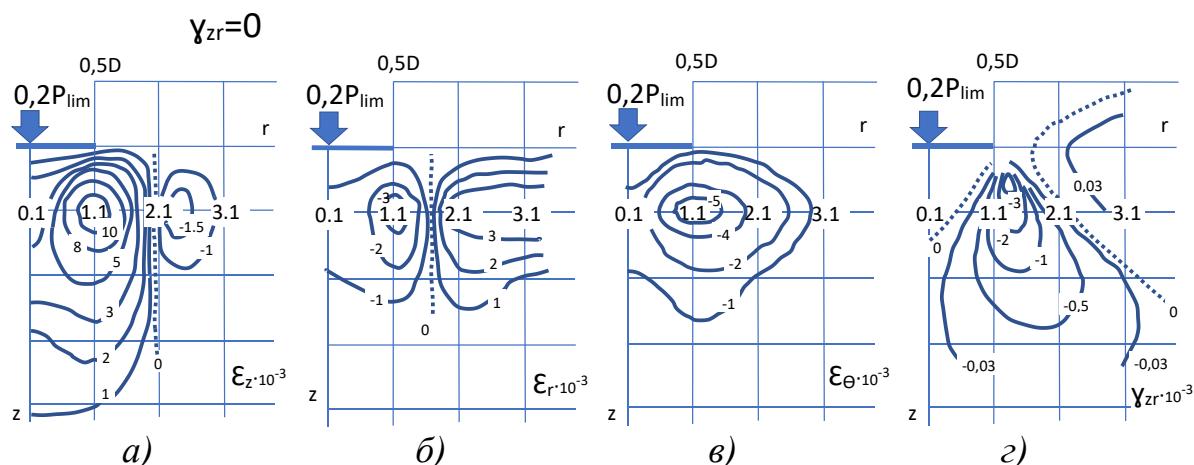
Формулы для вычисления коэффициентов бокового давления  $\xi_2 = \sigma_2/\sigma_1$  и  $\xi_3 = \sigma_3/\sigma_1$  были получены М. В. Малышевым, исходя из закона Гука, и применимы для грунтов с нелинейной деформируемостью [6]:

$$\begin{aligned} \xi_2 &= \left[ \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} + \frac{\nu}{1-\nu} \left( 1 + \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1} \right) \right] / \left[ 1 + \frac{\nu}{1-\nu} \left( \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} + \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1} \right) \right]; \\ \xi_3 &= \left[ \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1} + \frac{\nu}{1-\nu} \left( 1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right) \right] / \left[ 1 + \frac{\nu}{1-\nu} \left( \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} + \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1} \right) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

По приведенным выше формулам, исходя из исходных измеренных относительных деформаций при начальной нагрузке  $P = 0,2P_{\text{lim}}$  (рис. 1) и были вычислены соответствующие параметры для точек горизонтального створа  $z = 0,5D$ .

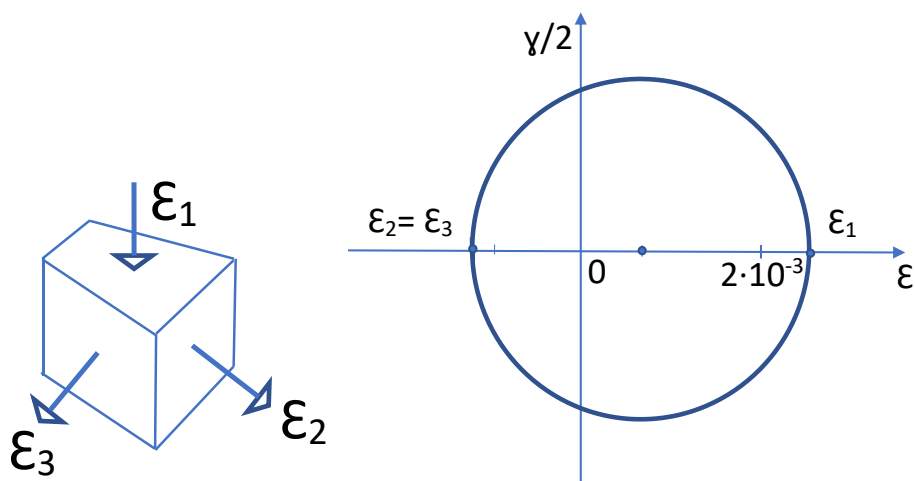
Для точки 0.1:

|                                            |                                       |                         |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| $\varepsilon_z = 2,63 \cdot 10^{-3}$       | $\varepsilon_1 = 2,63 \cdot 10^{-3}$  | $\nu = 0,449$           |
| $\varepsilon_r = -1,18 \cdot 10^{-3}$      | $\varepsilon_2 = -1,18 \cdot 10^{-3}$ | $\xi_2 = \xi_3 = 0,938$ |
| $\varepsilon_\theta = -1,18 \cdot 10^{-3}$ | $\varepsilon_3 = -1,18 \cdot 10^{-3}$ |                         |



**Рис. 1. Изолинии измеренных относительных деформаций при нагрузке  $P = 0,2P_{lim}$  и точки 0.1; 1.1; 2.1; 3.1:**  
а –  $\varepsilon_z(\times 10^{-3})$ ; б –  $\varepsilon_r(\times 10^{-3})$ ; в –  $\varepsilon_\theta(\times 10^{-3})$ ; з –  $\gamma_{zr}(\times 10^{-3})$

Соответствующее этой точке деформированное состояние показано на рис. 2.



**Рис. 2. Деформированное состояние при  $P = 0,2P_{lim}$  в точке 0.1**

Для точки 1,1:

$$\varepsilon_z = 11,22 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_r = -5,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_\theta = -5,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_{zr} = -1 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_1 = 11,23 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_2 = -5,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_3 = -5,4 \cdot 10^{-3}$$

$$v = - \frac{(\varepsilon_2 + \varepsilon_3)}{2} /$$

$$\varepsilon_1 = 0,481$$

$$\xi_2 = \xi_3 = 0,979$$

Здесь принято  $\varepsilon_r = \varepsilon_\theta$ .

Соответствующее этой точке деформированное состояние показано на рис. 3.

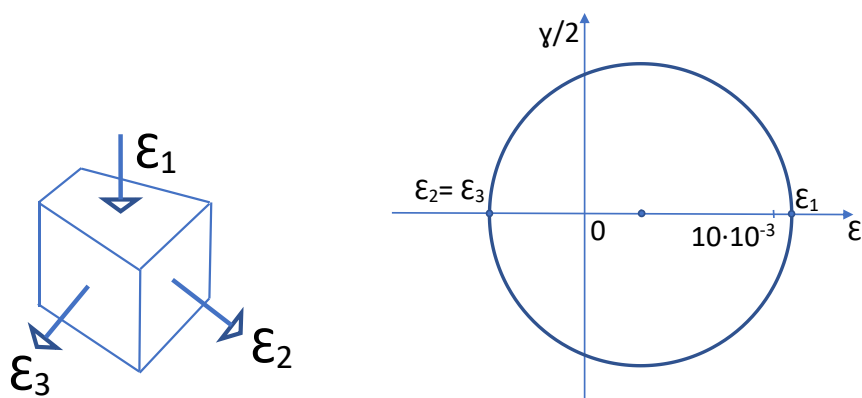


Рис. 3. Деформированное состояние при  $P = 0,2P_{\text{lim}}$  в точке 1.1

Для точки 2.1:

$$\varepsilon_z = -1,68 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_r = 3,63 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_\theta = -3,1 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_{zr} = -0,03 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_1 = 3,63 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_2 = -1,68 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_3 = -3,1 \cdot 10^{-3}$$

$$v = -\frac{(\varepsilon_2 + \varepsilon_3)}{2} /$$

$$\varepsilon_1 = 0,658$$

$$\xi_2 = 1,14$$

$$\xi_3 = 1,04$$

Соответствующее этой точке деформированное состояние показано на рис. 4.

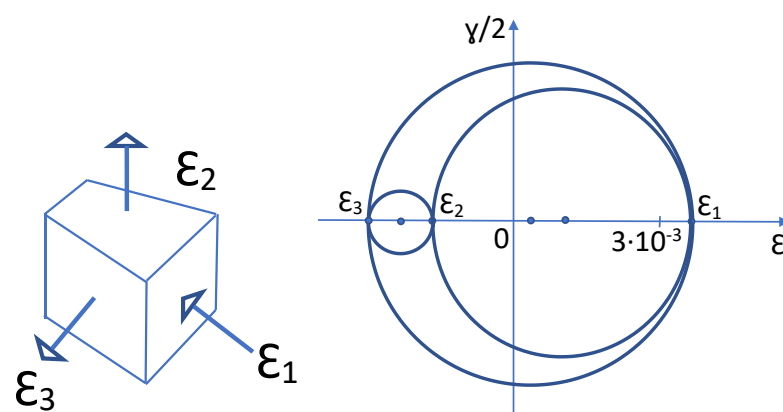


Рис.4. Деформированное состояние при  $P = 0,2P_{\text{lim}}$  в точке 2.1

Для точки 3.1:

$$\varepsilon_z = -0,95 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_r = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_\theta = -0,95 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_{zr} = -0,08 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_1 = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_2 = -0,95 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_3 = -0,95 \cdot 10^{-3}$$

$$v = -\frac{(\varepsilon_2 + \varepsilon_3)}{2} /$$

$$\varepsilon_1 = 0,237$$

$$\xi_2 = \xi_3 = 0,541$$

Здесь принято  $\varepsilon_z = \varepsilon_\theta$ .

Соответствующее этой точке деформированное состояние показано на рис. 5.

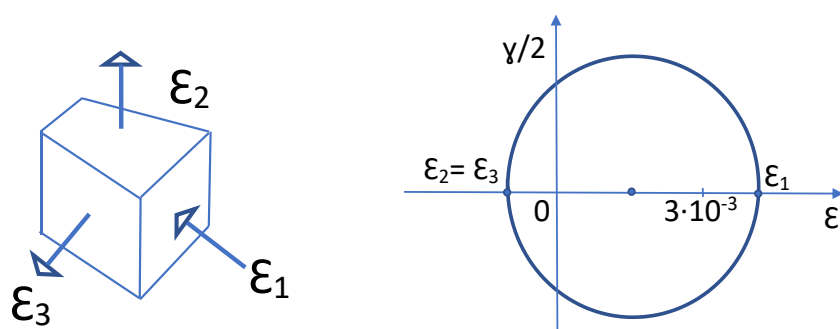


Рис. 5. Деформированное состояние при  $P = 0,2P_{lim}$  в точке 3.1

По полученным значениям главных относительных деформаций в рассмотренных точках построены соответствующие эпюры (рис.6).

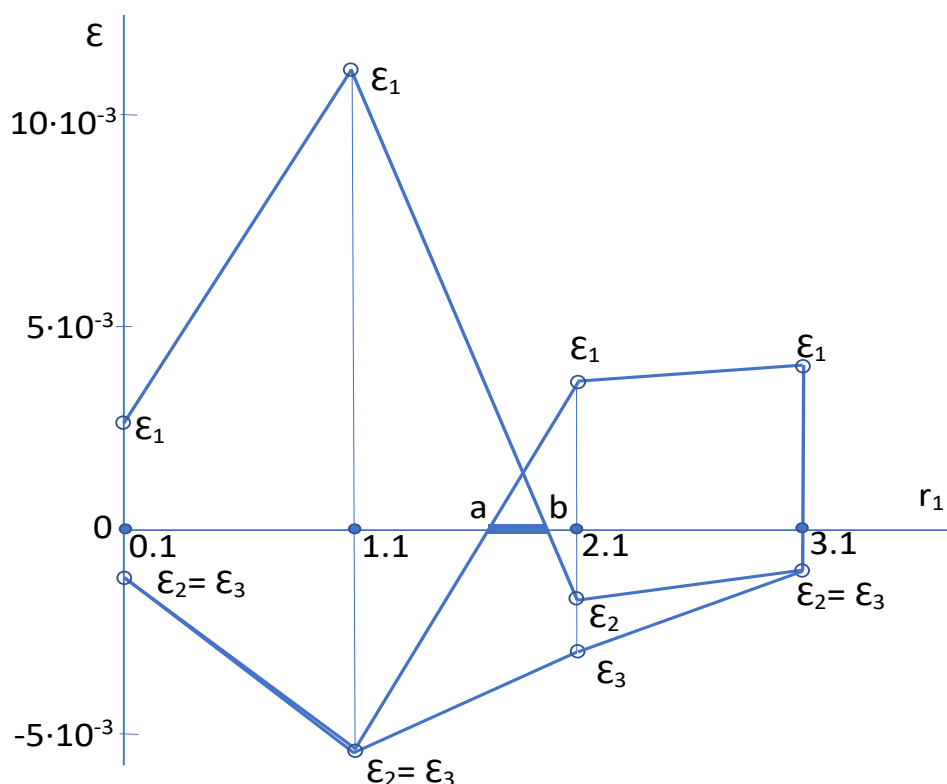


Рис.6. Эпюры главных относительных деформаций при нагрузке  $P = 0,2P_{lim}$  по горизонтальному створу  $z = 0,5D$

Между точками 1.1 и 2.1, согласно распределению  $\epsilon_z$  и  $\epsilon_r$  (см. рис. 1) имеет место в общем случае поверхность, где  $\epsilon_z = \epsilon_r = 0$ , а след этой поверхности на горизонтальном створе — особая точка (О.Т.). При этом  $\epsilon_\Theta \neq 0$  и  $\gamma_{zt} \neq 0$ , а именно:  $\epsilon_\Theta = -2,9 \cdot 10^{-3}$ ;  $\gamma_{zt} = -2,9 \cdot 10^{-3}$  (после выравнивания экспериментальных эпюр).

Тогда по формуле (1) в особой точке

$$\epsilon_{1,2} = (0 + 0)/2 \pm \sqrt{(0 - 0)^2 + 4(-2,9 \cdot 10^{-3}/2)^2}/2 = \pm 1,45 \cdot 10^{-3}.$$

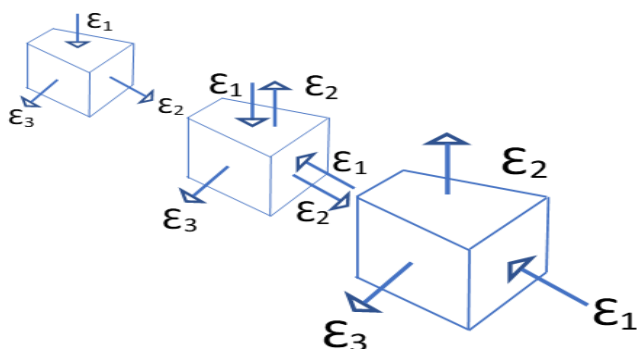


Рис. 7. Получение результирующего деформированного состояния для особой точки

Из рассмотрения деформированного состояния слева в непосредственной близости от этой О.Т. (аналогично рис. 3) и справа в непосредственной близости от этой О.Т. (аналогично рис.4) следует, что при их совмещении в О.Т. (рис.7) получается  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 0$  и остается  $\varepsilon_3 = \varepsilon_0$ .

Соответствующее деформированное состояние для О.Т. показано на рис.8.

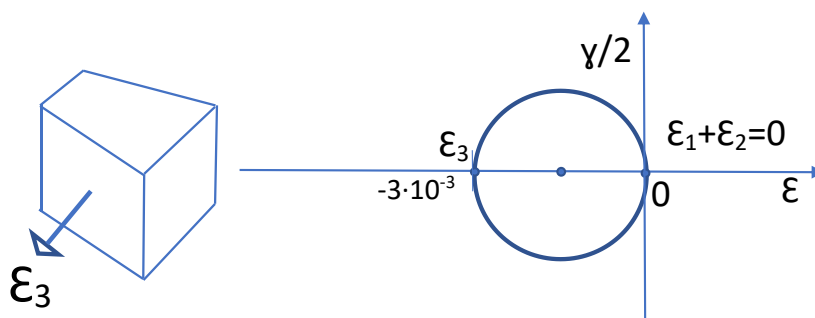


Рис. 8. Деформированное состояние при  $P=0,2P_{\text{lim}}$  в особой точке

Тогда по формуле (2)  $\nu = -\frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{2} / \varepsilon_3 = -\frac{0}{2} / (-2,9 \cdot 10^{-3}) = 0$ .

По этому поводу, т. е.  $\nu=0$  «...некоторые исследователи предполагают, что грунты в рыхлом состоянии сжимаются без поперечного расширения» [7].

Местоположение О.Т., согласно рис. 6, находится в пределах участка «а-б» по экспериментальным данным, которые имеют погрешности. В действительности же эта точка имеет единственное положение.

**Резюме.** Коэффициенты Пуассона, начиная от точки 0.1 на оси симметрии, где  $\nu = 0,449$ , затем в точке 1.1, где  $\nu = 0,481$ , до точки 2.1 с  $\nu = 0,658$ , увеличиваются. Согласно [7, 8] превышение  $\nu = 0,5$  возможно. Затем в точке 3.1 значение  $\nu$  уменьшается до обычных значений 0,237.

Коэффициенты бокового давления анализировались по аналогии с подпорной стенкой (аналог граней грунтового ядра). Деформированные состояния для точек 0.1; 1.1 находятся в условиях активного давления ( $\xi < 1$ ), близкого к пассивному сопротивлению ( $\xi > 1$ ):  $\xi_2 = \xi_3 = 0,938$ ;  $\xi_2 = \xi_3 = 0,979$ .

Для точки 2.1 — деформированное состояние — в условиях пассивного сопротивления ( $\xi > 1$ ):  $\xi_2 = 1,14$ ;  $\xi_3 = 1,04$ . Для точки 3.1 — деформированное состояние — в условиях активного давления ( $\xi < 1$ ):  $\xi_2 = \xi_3 = 0,541$ . Таким образом, в пределах рассмотренного горизонтального створа наблюдается постепенный переход от пассивного сопротивления к активному давлению.

### Выводы

Полученные результаты уже при начальной нагрузке  $P = 0,2P_{\text{lim}}$  свидетельствуют о значительных изменениях коэффициента Пуассона и сопряженного с ним коэффициента бокового давления в пределах одного горизонтального створа, проведенного от оси симметрии на уровне вершины формирующегося грунтового ядра.

На рассмотренном горизонтальном створе получена особая точка, в которой коэффициент Пуассона равен нулю. На ряде других горизонтальных створов имеются такие же особые точки, которые и образуют в своей совокупности поверхность с нулевым коэффициентом Пуассона. Эта поверхность как бы охватывает верхнюю часть несущего столба под штампом.

Полученная картина деформированного состояния прослеживается на всех ступенях нагружения, включая близкую к предельной, то есть является идентичной.

### Список источников

1. Болдырев, Г. Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010 / Г. Г. Болдырев. — М.: ООО «Прондо», 2014. — 812 с.
2. Галашев, Ю. В. О формировании полюсов деформации в массиве песчаного основания / Ю. В. Галашев // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. — 2008. — С. 49-52.
3. Экспериментальное определение сдвиговых деформаций в основании круглого штампа / Ю. Н. Мурзенко, Л. В. Краснаяруженский, В. В. Ревенко, Ю. И. Дейнега // Исследования и расчет оснований и фундаментов при действии статических и динамических нагрузок: Межвуз. сб. - г. Новочеркасск: НПИ, -1988.-С.73-79.
4. Ревенко, В. В. Экспериментальное определение коэффициентов Пуассона и бокового давления в песчаном основании под круглым штампом / В. В. Ревенко, В. Н. Моргунов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2024. — № 6. — С. 26-29. DOI 10.1007/s11204-025-10013-3.
5. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский [и др.]. — М.: АСВ, 1994.
6. Малышев М. В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М. В. Малышев. — М., СИ, 1994.
7. Гольдштейн, М. Н. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений / М. Н. Гольдштейн, С. Г. Кушнер, М. И. Шевченко. — Киев.: Будівельник, 1977. — 208с.
8. Балюра М. В. Коэффициент бокового расширения грунта по данным исследования перемещений под жестким штампом / М. В. Балюра, М. Н. Окулова // Проектирование и строительство инженерных сооружений на макропористых лессовых грунтах: Материалы научно-техн. совещания. — Алма-Ата.: КИ, 1972.

© Ревенко В. В., Моргунов В. Н., 2026