

УДК 624.154.5

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Шарафутдинов Р.А. – студент

E-mail: rushan.1992@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Расчетная модель несущей способности и осадок грунтового основания, армированного вертикальными и горизонтальными элементами

Аннотация

Предлагается расчетная модель для оценки несущей способности и осадок армированного вертикальными и горизонтальными элементами грунтового основания, основанная на результатах экспериментальных исследований и на гипотезе, что несущая способность плитного фундамента складывается из сопротивления в зоне армированного горизонтальными элементами, в зоне армированного вертикальными элементами и в зоне грунта под вертикальными армирующими элементами.

Ключевые слова: расчетная модель, несущая способность, осадки, статические нагрузки.

Введение

Важнейшей проблемой для Республики Татарстан и РФ является строительство на территориях, сложенных слабыми грунтами. В современных условиях при строительстве на таких грунтах, тенденция увеличения нагрузок на основания способствовала тому, что одним из наиболее часто применяемых методов повышения несущей способности и уменьшения осадок является вертикальное и горизонтальное армирование грунтов. Несущая способность и осадки армированных оснований практически не исследованы.

В связи с этим были проведены ряд лабораторных испытаний в объемном лотке с размерами 1,0x1,0x1,0 м. В качестве грунта использовался песок средней крупности. Вертикальные армирующие элементы моделировались пластиковыми трубками диаметром 7 мм и длиной 200 мм. Горизонтальное армирование моделировалось геосетками с размерами ячейки 50x50 мм. Экспериментальные исследования позволили установить влияние комбинированного армирования на несущую способность и осадки основания фундамента.

На основании выполненных лотковых экспериментов была разработана методика расчета несущей способности армированного грунтового основания, включая выражения для определения: сопротивления армированного грунтового массива в зоне армирования горизонтальными элементами, в зоне армирования вертикальными элементами и в зоне под вертикально армирующими элементами. Предложенная методика позволяет достоверно рассчитывать несущую способность армированного основания на всех ступенях нагружения, с учетом совместного деформирования армирующих элементов и грунта.

Так же на основании выполненных лотковых экспериментов была разработана усовершенствованная методика расчета осадки армированного грунтового основания армированного вертикальными и горизонтальными элементами, позволяющая учитывать совместное деформирование грунта и армирующих элементов. Предложенная методика позволяет более точно прогнозировать величину осадки комбинированно-армированного грунтового основания.

Разработанные методики расчета несущей способности и осадок армированных вертикальными и горизонтальными элементами грунтовых оснований хорошо согласуются с результатами испытаний.

Результаты экспериментальных исследований

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось в объемном лабораторном лотке с размерами 1,0x1,0x1,0 м. Моделью фундамента послужила

железобетонная плита с размерами 400x400x40 мм. Для исследования поведения основания фундамента с комбинированным армированием была использована теория моделирования.

На основе теории моделирования и анализа результатов пробных экспериментальных исследований вертикальное армирование моделировалось полыми пластиковыми трубками диаметром 7 мм, с длиной 200 мм и толщиной стенки 1 мм, горизонтальное армирование моделировалось геосеткой типа А-40 с размерами 50x50 см.

Грунтом основания являлся песок средней крупности (плотность $\rho=1,49 \text{ кг/м}^3$; влажность $W=4 \%$; угол внутреннего трения $\varphi=23,8^\circ$; $E_0=1,3 \text{ МПа}$).

На каждой ступени нагружения фиксировались значения осадок основания по показателям индикаторов часового типа ИЧ, прогибомеров, давление в грунте с помощью датчиков давления.

Было проведено 4 испытания (рис. 1):

Испытание № 1 – без армирующего элемента;

Испытание № 2 – вертикальное армирование и 1 геосетка;

Испытание № 3 – вертикальное армирование и 2 геосетки;

Испытание № 4 – вертикальное армирование и 3 геосетки;

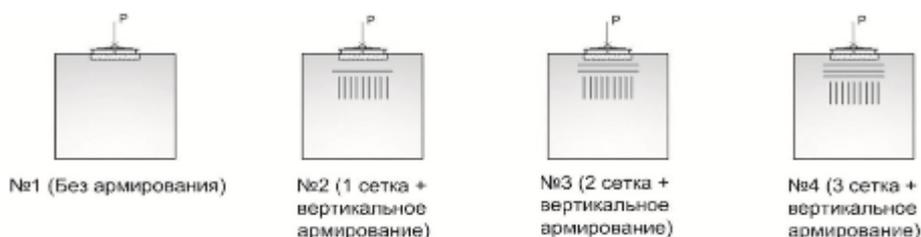


Рис. 1. Серии лотковых испытаний

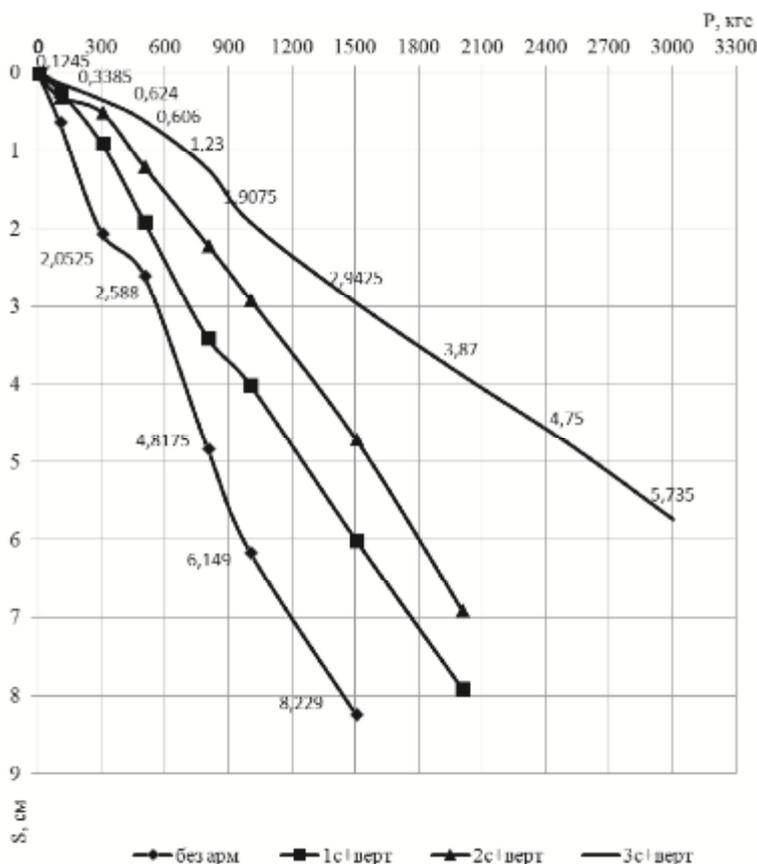


Рис. 2. Изменение осадок грунтового массива при различных типах армирования

На рис. 2 приводятся осадки грунтового массива при различных типах армирования. Следует отметить, что с увеличением количества армирующих элементов осадки грунтового массива уменьшаются. Сравнительный анализ приводится в табл. 1

Таблица 1

Сравнение результатов осадков

Номер эксперимента	при 1000 кг, см		при 1500 кг, см	
	№ 1	Без армирования	6,2	Без армирования
№ 2	1 сетка + верт.	4	1 сетка + верт.	6
№ 3	2 сетки + верт.	2,8	2 сетки + верт.	4,7
№ 4	3 сетки + верт.	1,8	3 сетки + верт.	2,9

При комбинированном армировании грунтового основания сжимающие напряжения передаются на более глубокие слои грунта и тем самым увеличивается несущая способность 2-4 раза, уменьшаются осадки 1,5-3,4 раза по сравнению с неармированным основанием (табл. 1).

Оценка несущей способности армированного основания

Экспериментальные и теоретические исследования, полученные выше, подходят для использования при расчетах и проектировании армированных оснований под плитные и столбчатые фундаменты каркасных зданий с регулярной и нерегулярной схемой расположения элементов в плане и по длине. Диаметр армирующих элементов зависит от методики создания армированного грунтового массива и имеющего парка машин и механизмов.

Под плитным фундаментом образуется уплотненное ядро в виде пирамиды, которое раздвигает окружающий армированный грунтовой массив в разные стороны. В центральной зоне армированный грунтовой массив преимущественно испытывает трехосное сжатие с переменными значениями бокового давления, а в краевых зонах подвергается воздействию сдвигающих усилий. Эффект армирования состоит в анизотропном ограничении нормальных деформаций. При введении в грунтовой массив армирующих элементов, имеющих сцепление с грунтом, на грунтовой массив в пределах сжимающего силового потока накладываются ограничение как при действии бокового усилия, эквивалентного сопротивлению армирующих элементов сжатию и изгибу.

Несущая способность и осадки грунтового основания с комбинированным армированием представляется в виде суммы $F=P_1+P_2+P_3$, где P_1 – несущая способность зоны с горизонтальным армированием; P_2 – несущая способность зоны с вертикальным армированием; P_3 – несущая способность зоны под вертикальными армирующими элементами.

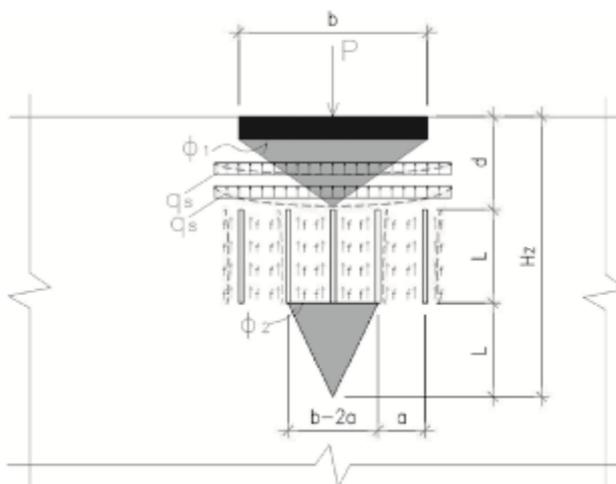


Рис. 3. Расчетная схема несущей способности армированного основания

Несущая способность зоны армированной горизонтальной сетки

Несущая способность горизонтальной зоны грунта может быть определена по аналогии с расчетом неармированного грунтового основания, причем безразмерные коэффициенты несущей способности грунтового основания N_b, N_c, N_d нужно умножить на поправочные коэффициенты k_b, k_c, k_d . Поправочные коэффициенты k_b, k_c, k_d рассчитываются как:

$$k_b = C \cdot k_{b,\delta} + 1, \quad (1.1)$$

$$k_c = C \cdot k_{c,\delta} + 1, \quad (1.2)$$

$$k_d = C \cdot k_{d,\delta} + 1, \quad (1.3)$$

где коэффициент C определяется по формуле:

$$C = \left[\frac{2}{\varphi'_k} \sqrt{40^\circ - \varphi'_{F,k}} \cdot \left(\frac{\varphi'_{F,k}}{\varphi'_k} \right)^{0.7} + 1 \right]^{-1}, \quad (2)$$

где $\varphi'_{F,k}$ – угол внутреннего трения грунта засыпки; φ'_k – угол внутреннего трения грунта основания.

Для грунтов засыпки, имеющих угол внутреннего трения $\varphi'_{F,k} > 40^\circ$, принимаем значение $C=1$.

Они необходимы для определения теоретической толщины подушки для нагрузки на фундамент, имеющий наклон $\delta \neq 0$:

$$t_{p,\delta} = \frac{\sin \vartheta_{a,\delta} \cdot \cos(\vartheta_{a,\delta} - \varphi'_{F,k})}{\cos \varphi'_{F,k}} \cdot b, \quad (3)$$

где угол поверхности скольжения клина разрушения $\vartheta_{a,\delta}$ определяется по формуле:

$$\vartheta_{a,\delta} = \arccot \left(\sqrt{(1 + tg^2) \varphi'_{F,k} \cdot \frac{tg \varphi'_{F,k} - tgb}{tg \varphi'_{F,k} + tgb}} - tg \varphi'_{F,k} \right), \quad (4)$$

где угол поверхности скольжения клина разрушения $\vartheta_{a,\delta}$, $t_{p,\delta}$ – теоретическая толщина подушки при угле нагрузки $\delta \neq 0$, t_p – теоретическая толщина подушки при угле нагрузки $\delta = 0$. $\varphi'_{F,k}$ нормативное значение угла внутреннего трения насыпного грунта фундаментной подушки; b – ширина фундамента.

Если в результате расчета получается значение $t_p < t_{p,\delta}$, то в место коэффициента k_b, k_c, k_d нужно применять поправочные коэффициенты k'_b, k'_c, k'_d :

$$k'_b = 1 + (k_b - 1) \cdot \left(\frac{t_p}{t_{p,\delta}} \right), \quad (5.1)$$

$$k'_d = 1 + (k_d - 1) \cdot \left(\frac{t_p}{t_{p,\delta}} \right), \quad (5.2)$$

$$k'_c = 1 + (k_c - 1) \cdot \left(\frac{t_p}{t_{p,\delta}} \right). \quad (5.3)$$

Нормативное значение сопротивления грунтовой засыпки $R'_{n,k}$ при помощи поправочных коэффициентов k_b, k_c, k_d или k'_b, k'_c, k'_d может быть вычислено по формуле:

$$R'_{n,k} = b' \cdot l' (N_\gamma \cdot k_b \cdot b' \cdot \gamma_1 + N_q \cdot k_d \cdot \gamma_1' \cdot d + N_c \cdot k_c \cdot c_1) \times k_s, \quad (6)$$

где $k_s < 1,0$ – коэффициент учитывающий неполное использование прочности горизонтальных армирующих элементов, при количестве горизонтальных элементов $n > 2$.

Определение несущей способности армированного вертикального элементами грунтового основания

Сопротивление армированного вертикальными элементами грунта сжатию в средней части определяется по формуле:

$$N = \sigma_u \times A_f + \sigma_{aэ}^{max} \times A_{aэ1} \times n_1 [1], \quad (7)$$

A_f – площадь ядра сжатия грунта в зоне вертикальных армирующих элементов, м²;

$A_{aэ1}$ – площадь поперечного сечения одного вертикального армирующего элемента;

n_1 – количество армирующих элементов в ядре сжатия;

σ_u – предельное напряжение в грунте;

$$\sigma_u = \sigma_v * \frac{1}{\cos\alpha_1} * \cos\alpha_1 + \tau_v * \frac{1}{\cos\alpha_1} * \sin\alpha_1, \tag{8}$$

α_1, α_2 – углы наклона площадок предельного равновесия и сдвига;

σ_v – нормальные напряжения;

$$\sigma_v = \sigma_1 \times l \times l' + \sigma_2 \times m \times m' + \sigma_3 \times n \times n', \tag{9}$$

l, m, n – направляющие косинусы нормали к площадке предельного равновесия;

l', m', n' – направляющие косинусы нормали к площадке скольжения;

τ_v – касательные напряжения;

$$\tau_v = S \times \operatorname{tg}\varphi_0 + c_0, \tag{10}$$

φ_0 – переменный во времени угол внутреннего трения;

c_0 – переменное во времени удельное сцепление;

$$S = \sigma_1 \times l \times l' + \sigma_2 \times m \times m' + \sigma_3 \times n \times n', \tag{11}$$

σ_{az}^{max} – напряжения в армирующем элементе.

Определение несущей способности зоны грунтового основания под вертикальными армирующими элементами

Несущая способность зоны под вертикальными армирующими элементами записывается в виде:

$$N = \sigma_u \times A_{fl}, \tag{12}$$

σ_u – предельное напряжение в грунте; определяется по формулам 8, 9, 10, 11.

A_{fl} – площадь ядра сжатия грунта под вертикальными армирующими элементами, м²;

Определение осадок фундаментов на комбинированном армированном основании

Расчет осадок комбинированно армированных оснований производится по методу послойного суммирования исходя из пространственного напряженно-деформируемого состояния армированного грунтового массива.

Суммарная осадка армированного основания в условиях статического нагружения записывается следующим образом:

$$S = S_n + S_{az} + S_y, \tag{13}$$

где S_n – осадка грунтовой подушки с горизонтальным армированием; S_{az} – осадка в пределах вертикально армированной зоны; S_y – осадка ниже зоны армирования.

Осадка грунтовой подушки с горизонтальным армированием определяется методом послойного суммирования с учетом ограничения сжимаемой толщи мощностью грунтовой подушки:

$$S_n = \frac{0,8 \sum_{i=1}^m \sigma_{zp,i}^{cp} \cdot \Delta_{n,i}}{E_n}, \tag{14}$$

$\Delta_{n,i}$ – толщина элементарного слоя в пределах грунтовой подушки; m – количество элементарных слоев в пределах грунтовой подушки.

Модуль деформации армированного грунта E_n можно найти по [2], зная значения коэффициента влияния армирования K_r и модуля общей деформации E_0 :

$$E_n = K_r \cdot E_0, \tag{15}$$

где K_r – коэффициента влияния армирования:

$$K_r = E_n / E_0.$$

Таблица 2

Модуль деформации грунта, кПа	Жесткость армирующей прослойки G_{rf}				
	2000	1000	500	100	25
1000	1,757	1,736	1,679	1,558	1,446
5000	1,588	1,521	1,467	1,353	1,303
10000	1,459	1,366	1,338	1,251	1,207
15000	1,368	1,298	1,250	1,180	1,160

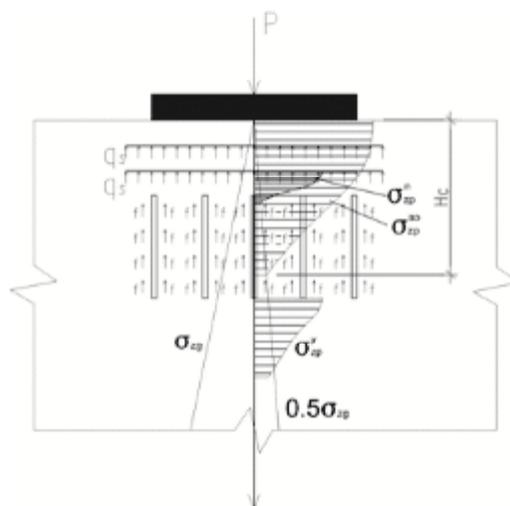


Рис. 4. Расчетная схема несущей способности армированного основания

Жесткость армирующей прослойки G_{rf} определяется по результатам его испытания на растяжение.

Осадка в пределах вертикальной армированной зоны S_{a3} и ниже зоны армирования S_y определяется по следующей методике.

Природное напряженное состояние от действия собственного веса грунта принимаем из условия одномерного уплотнения с коэффициентом бокового давления

$$\xi = \frac{K_v - 2G_v}{K_v + 4G_v}, \quad (16)$$

где K_v – модуль объемных деформаций грунта, G_v – модуль сдвига грунта.

Модуль объемных деформаций грунта в пределах армированной зоны определяется по формуле:

$$K_{v,zp}^{эке} = \left[\frac{K_{v,zp}(V_{zp} - V_a)(\gamma_{ei} + \gamma_{mi})}{V_{zp}} + \frac{(\gamma_{ei} + \gamma_{mi}) \sum f_i \cdot u_i \cdot l_i^{a3} \cdot \frac{a_k}{V_{zp}}}{\varepsilon_{v,zp}^{эке}} \right] \cdot \gamma_n, \quad (17)$$

$K_{v,zp}$ – модуль объемных деформаций грунта в пределах армированной зоны; V_{zp} – объем грунта в пределах армированной зоны; V_a – объем армирующих элементов в пределах армированной зоны; f_i – сопротивление сдвигу между армирующим элементом и грунтом; u_i – периметр поперечного сечения армирующего элемента; a_k – соотношение модулей деформации материала армирующего элемента и грунта; γ_n – коэффициент, учитывающий неупругие свойства армированного основания:

$$\gamma_{ei} = 1,6 + 0,3 \frac{l_{a3}}{H_s}, \quad \gamma_{mi} = 1,07 \frac{\mu_i - \mu_i}{\mu_i}, \quad (18)$$

где l_{a3} – длина армирующего элемента; H_s – высота сжимаемой толщи; μ_i – процент армирования грунтового основания.

При расчете осадки армированного массива в пределах армированной зоны за высоту сжимаемой толщи принимается высота армирующего элемента. Высота сжимаемой толщи ниже зоны армирования определена по нормативной методике:

$$H_s = Z; \quad \sigma_{zp} = 0,5\sigma_{zg}, \quad (19)$$

где H_s – высота сжимаемой толщи, по глубине Z ; σ_{zp} – вертикальное нормальное напряжение на глубине Z от дополнительной нагрузки на основание по оси сооружения; σ_{zg} – вертикальное нормальное напряжение от собственного веса грунта основания на глубине Z .

Значения горизонтальных составляющих напряжений по центральной оси могут быть определены из решений теории упругости. Следует отметить, что для центральной оси вертикальные и горизонтальные напряжения являются главными.

Зная компоненты вертикальных напряжений в различных точках основания можно определить среднее напряжение и интенсивность напряжений:

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}, \quad (20)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}. \quad (20.1)$$

По значениям среднего напряжения и интенсивности напряжений определяется приращение инвариантов тензора деформаций: приращение объемной деформации и интенсивности деформаций.

Переход от интервалов тензора деформаций к осевой деформации ε_z в случае расчета деформаций по центральной оси фундамента, с учетом совпадения осей главных напряжений деформаций с центральной осью фундамента, можно осуществить:

- при совпадении главных напряжений и деформаций с центральной осью штампа:

$$\begin{cases} \varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \\ \varepsilon_i = \frac{2}{3}(\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \end{cases}, \quad (21)$$

- в иных случаях используем условие соосности тензоров приращений напряжений и деформаций:

$$\frac{\Delta(\varepsilon_x - \varepsilon_y)}{\Delta(\sigma_x - \sigma_y)} = \frac{\Delta(\varepsilon_y - \varepsilon_z)}{\Delta(\sigma_y - \sigma_z)} = \frac{\Delta(\varepsilon_z - \varepsilon_x)}{\Delta(\sigma_z - \sigma_x)} = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta\sigma_i} = x. \quad (22)$$

Определяем условные модули, характеризующие переход из природного состояния основания после приложения местной нагрузки:

$$K_v = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_v} \cdot G_v = \frac{\Delta\sigma_i}{3\Delta\varepsilon_i}. \quad (23)$$

В последней формуле модули возможно представление параметров закона Гука в приращениях напряжений и деформаций для этапа нагружения.

Отсюда следует, что приращение осевой деформации полученное из закона Гука в приращениях:

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z}{G_v} - \Delta\sigma \cdot \frac{3K_v - G_v}{3K_v \cdot G_v}. \quad (24)$$

Полученные значения приращений деформаций для центральной оси и под угловой точкой являются следствием действия местной нагрузки как догружения основания, обусловленного собственным весом грунта.

Осадка основания армированного вертикальными элементами и зоны ниже вертикальных элементов, разделенного на равные слои до условной глубины сжимаемой толщи вычисляется по формуле:

$$S_{aэ,(y)} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{zi} \cdot h_i. \quad (25)$$

Важно отметить, при определении осадок в зоне ниже армирования вертикальными элементами, модуль деформации принимается равным модулю деформации естественного основания залегающего в этой зоне.

По выше приведенным методикам были рассчитаны несущая способность и осадки комбинированно армированных оснований. В табл. 3 приведен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных.

Таблица 3

Сравнение результатов расчетных и экспериментальных данных

№ эксперимента	Несущая способность			Осадка		
	N _{эксп.} , кг	N _{расч.} , кг	N _{расч./N_{эксп.}}	S _{эксп.} , мм	S _{расч.} , мм	S _{расч./S_{эксп.}}
№ 1	300	262	0,87	20,5	13	0,63
№ 2	800	682	0,85	9	6,8	0,75
№ 3	1300	891	0,68	5	4,3	0,86
№ 4	3000	1890	0,63	3,3	2,7	0,81

Выводы

Разработанные расчетные модели для расчета несущей способности и осадок армированного грунтового основания вертикальными и горизонтальными элементами при статическом нагружении, включая выражения для определения сопротивления комбинированного армированного грунтового массива в зоне армированного горизонтальными элементами, в зоне армированного вертикальными элементами и в зоне под вертикальными армирующими элементами. Результаты расчета несущей способности и осадок комбинированного армированного основания по предложенным моделям хорошо согласуются с данными полученными после проведения лотковых испытаний (отклонение составляет 15-25 %).

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Расчетная модель несущей способности и деформаций армированных оснований при циклическом нагружении. // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура, 2014, № 4.
2. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 728 с.
3. Мирсаяпов И.Т., Попов А.О. Оценка прочности и деформативности армированных грунтовых оснований // Геотехника, 2010, № 4. – С. 58-67.
4. Бартоломей А.А. Механика грунтов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – С. 138-143.
5. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
6. Крутов В.И. Основания и фундаменты на насыпных грунтах. – М.: Стройиздат, 1988. – 223 с.
7. Тимофеева Л.М. Исследование работы армирующей текстильной прослойки в грунтовом массиве. Синтетические текстильные материалы в конструкциях автомобильных дорог (Труды СоюзДорНИИ). – М., 1983. – С. 38-44.
8. Тимофеева Л.М. Исследование длительной прочности армированного грунта с глинистой матрицей. Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. – Пермь. Межвуз. сб. научн. тр. Перм. политехи, ин-т, 1981. – С. 131-134.
9. Татьянников Д.А., Клевко В.И., Пономарев А.Б. Исследование характера работы песчаного основания армированного разными геосинтетическими материалами на основе штамповых модельных испытаний. // Геотехника. Теория и практика: межвуз. тем. сб. тр. – СПб., 2013. – С. 33-42.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Sharafutdinov R.A. – student

E-mail: rushan.1992@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The computational model of bearing capacity and foundation of soil sediment, reinforced by vertical and horizontal elements**Resume**

It is proposed a calculation model to assess the bearing capacity and settlement of reinforced vertical and horizontal elements of the Foundation soil, based on the results of experimental studies and on the hypothesis that the bearing capacity of slab Foundation consists of the resistance zone of reinforced horizontal elements in the zone of the reinforced vertical elements and in the zone of soil under the vertical reinforcing elements.

Based on the gutter of experiments was developed the method of calculating the bearing capacity of reinforced soil Foundation, including expressions to determine: the resistance of the reinforced soil mass in the area of horizontal reinforcement elements in the zone of reinforcement of the vertical elements and in the area of the vertically reinforcing elements. The proposed method allows to reliably calculate the bearing capacity of reinforced Foundation at all stages of loading, taking account of the joint deformation of the reinforcing elements and the soil.

Also based on the gutter of experiments have been developed improved methods of settlement of the reinforced soil foundation reinforced with vertical and horizontal elements, allowing to consider joint deformation of the soil and reinforcing elements. The proposed method allows to more accurately predict the magnitude of precipitation in combination with reinforced soil Foundation.

The developed method of calculation of the bearing capacity and settlement of reinforced vertical and horizontal elements, soil bases is in good agreement with the test results.

Keywords: calculation model, load capacity, precipitation, static load.

Reference list

1. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. The computational model of bearing capacity and deformation of reinforced foundations under cyclic loading. // Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arhitektura, 2014, № 4.
2. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. – M.: ASV, 2014. – 728 p.
3. Mirsayapov I.T., Popov A.O. Estimation of stability and deformability of reinforced ground bases. // Geotechnical Engineering, 2010, № 4. – P. 58-67.
4. Bartolomey A.A. Soil mechanics. – M.: ACB, 2003. – P. 138-143.
5. Jones K.D. Structures of reinforced soil. – M.: Strojizdat, 1983. – 268 p.
6. Krutov V.I. Bases and foundations on an filled soil. – M.: Strojizdat, 1988. – 223 p.
7. Timofeeva L.M. Study of the textile reinforcing layer in a soil massif. Synthetic textile materials in designs of highways. – M., 1983. – P. 38-44.
8. Timofeeva L.M. Study of the long-term strength of reinforced soil with clayey matrix. Of the Bases and foundations in the geological conditions of the Urals. – Perm, 1981. – P. 131-134.
9. Tatyannikov D.A., Kleveko V.I., Ponomarev A.B. Study of the nature of the sandy base reinforced by different geosynthetic materials based with punching model tests. // Geotekhnika. Teoriya i praktika: mezhhvuz. tem. sb. tr. – SPb., 2013. – P. 33-42.