



УДК 624.154.5

**Мирсаяпов И.Т.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [mirsayapov1@mail.ru](mailto:mirsayapov1@mail.ru)

**Шарафутдинов Р.А.** – студент

E-mail: [rushan.1992@mail.ru](mailto:rushan.1992@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **Несущая способность и осадки грунтового основания армированного вертикальными и горизонтальными элементами**

#### **Аннотация**

Приводятся результаты исследований влияния комбинированного вертикального и горизонтального армирования на напряженно-деформированное состояние, несущая способность и осадки армированного основания. При проведении лотковых испытаний определены деформации грунта в различных зонах основания, в вертикальных и горизонтальных армирующих элементах, осадки основания. На основании полученных результатов построены графики зависимости выше названных параметров от нагрузки. Приводится анализ полученных результатов, который показывает, что при комбинированном армировании увеличивается несущая способность и уменьшаются осадки.

**Ключевые слова:** вертикальные и горизонтальные армирующие элементы, комбинированное армирование, грунт, осадка, статические нагрузки, деформация, напряжение, несущая способность.

#### **Введение**

Одним из эффективных способов увеличения прочностных и деформативных свойств грунтов является применение комбинированного армированного грунта, который представляет собой комбинацию грунта, горизонтальных и вертикальных армирующих элементов.

Характеристики грунтов, которые обладают прочностью на сжатие и сдвиг, но не обладают прочностью на растяжение, могут быть значительно улучшены путем введения армирующих элементов, при этом армирующие элементы меняют условия деформирования основания, ограничивая деформации грунтов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, повышая несущую способность и уменьшая осадки.

В этом случае появляется возможность целенаправленно изменять свойства грунта, получать основания с заранее заданными жесткостными и прочностными характеристиками, без проведения трудоемких и длительных мероприятий по усилению всей толщи грунтов. В настоящее время вопросы несущей способности и осадок комбинированно-армированных оснований практически не изучены.

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.

#### **Основная часть**

Исследования проводились в металлическом лотке объемом со следующими размерами 1,0x1,0x1,0 м. Стенки и днища лотков изготовлены из листовой стали по ГОСТ 19903-74. Для сохранения грунтом заданной влажности между стенками лотка и грунтом была установлена пленка.

На выровненную поверхность грунта устанавливается квадратный жесткий штамп размерами 400x400x40 мм, армированный проволочной арматурой Ø3 Вр-I. Размер штампа для испытаний армированного грунта в лотке подбирался из условий зон распространения напряжений в массиве грунта под подошвой штампа для условий пространственной задачи

классической теории предельного состояния механики грунтов. Согласно этой теории, изолинии напряжений по глубине и по горизонтали,  $0,1P$  должны вписываться во внутреннюю полость лотка. Выполнение этого условия позволяет исключить влияние жестких вертикальных стенок и днища лотка на распространение напряжений в грунтовом массиве под штампом и тем самым, исключить искажение результатов испытания.

Вертикальная нагрузка на основание создавалась с помощью гидравлического домкрата. Величина прикладываемого усилия регулировалась при помощи манометра, соединенного к шлангу домкрата. Нагрузка прикладывалась ступенями по 100 кг, каждая ступень выдерживалась во времени до стабилизации деформации основания менее 0,01 мм за 20 минут.

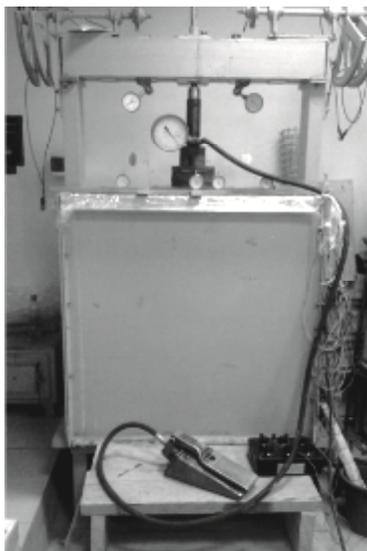


Рис. 1. Внешний вид испытательного стенда

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  $\rho=1,49$  кг/м<sup>3</sup>; влажность  $W=4$  %; угол внутреннего трения  $\varphi=23,8^\circ$ ;  $E_0=1,3$  МПа).

На каждой ступени нагружения после наступления стабилизации фиксировались показания индикаторов часового типа ИЧ, прогибомеров 6 ПАО, а также напряжения в грунтовом основании и усилия возникающие в армирующих элементах.

Давление в грунте определялось с помощью датчиков давления. Датчики давления устанавливались в грунтовое основание по высоте исследуемого массива и подключались к тензометрической станции АИД – 4.

Для определения усилий в армирующих сетках на них были наклеены датчики сопротивления. В качестве клея использовался фенолформальдегидный клей БФ-2.

Проводились испытания по следующей программе:

Испытание № 1: без армирующего элемента;

Испытание № 2: 1 геосетка и вертикальное армирование;

Испытание № 3: 2 геосетки и вертикальное армирование;

Испытание № 4: 3 геосетки и вертикальное армирование;

Испытание № 5: вертикальное армирование и 0 геосеток;

Испытание № 6: 1 геосетка;

Испытание № 7: 2 геосетки;

Испытание № 8: 3 геосетки.

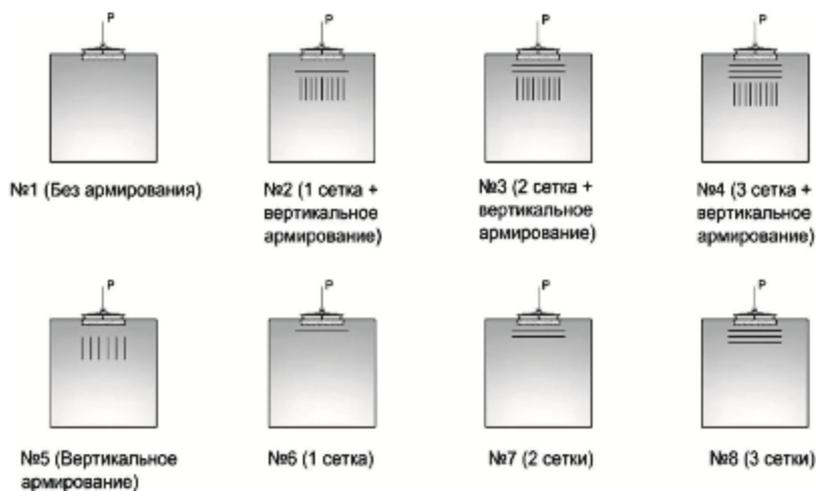


Рис. 2. Серии лотковых испытаний

За предельное состояние принималось достижение осадки штампа (плиты) величины 8 см

На рис. 3 приведены результаты экспериментальных исследований различных вариантов армированного основания и основания без армирования. Оценка влияния армирующих элементов на несущую способность и осадки армированных оснований проводилась путем сравнения с аналогичными характеристиками неармированного основания.

Экспериментальные исследования неармированного основания показали, что зависимость S-P меняется по мере возрастания нагрузки. До значения нагрузки 300 кгс зависимость линейная, затем становится криволинейной. Предельная нагрузка соответствующая осадке 8 см составляет 1500 кгс.

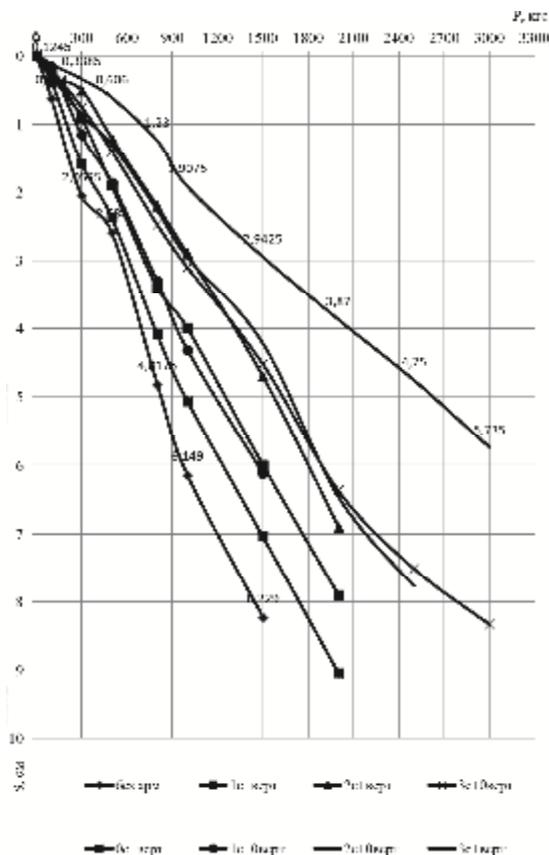


Рис. 3. Изменение осадок грунтового массива при различных типах армирования

Как видно из рис. 4а. распределение напряжений в грунте основания под железобетонным штампом подчиняется общеизвестным закономерностям.

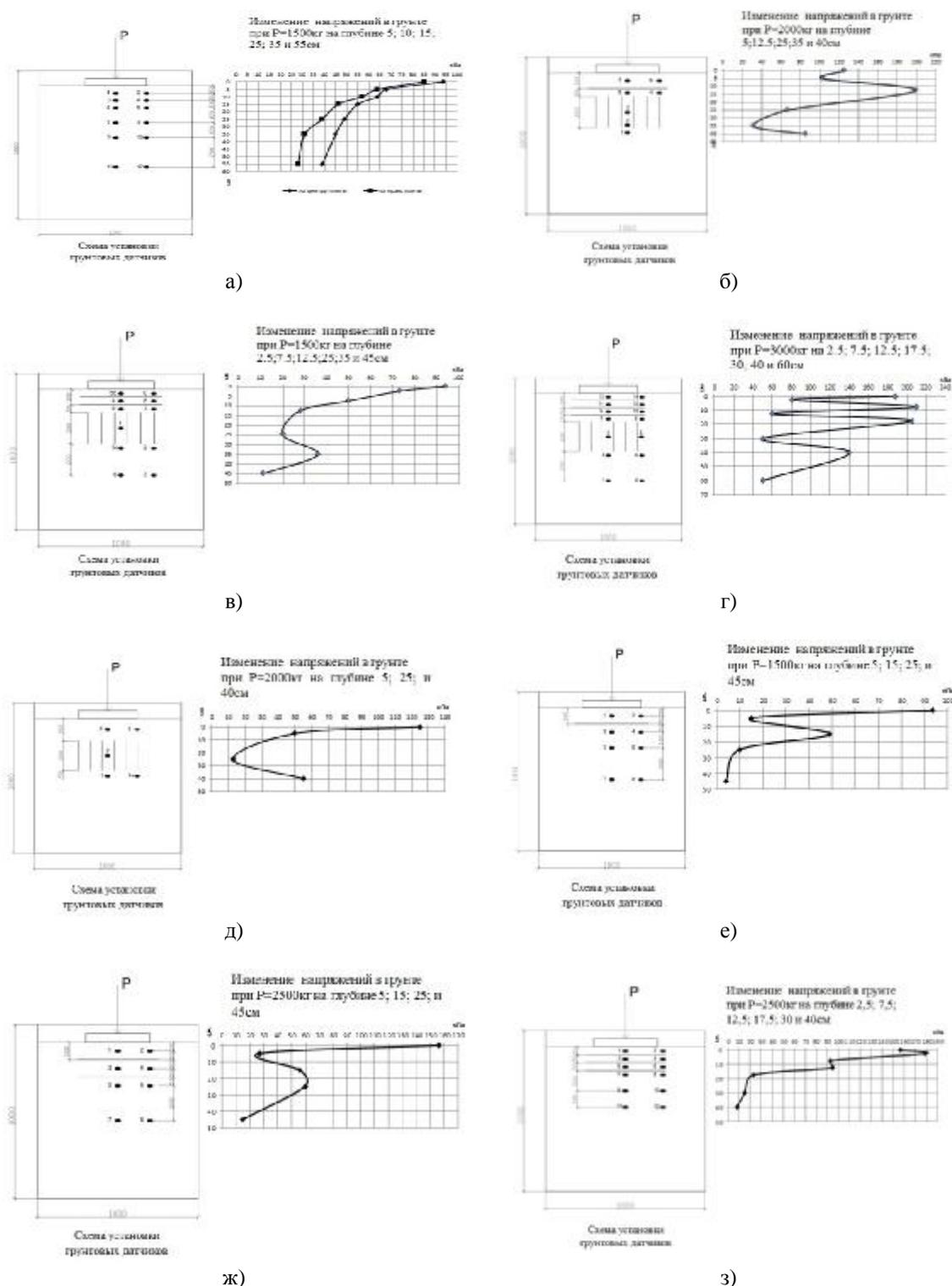


Рис. 4. Эпюры напряжений в грунте при различных типах армирования:  
 а – неармированный грунт; б – армирование 1-й сеткой и вертикальными элементами;  
 в – армирование 2-мя сетками и вертикальными элементами;  
 г – армирование 3-мя сетками и вертикальными элементами;  
 д – армирование только вертикальными элементами; е – армирование 1-й сеткой;  
 ж – армирование 2-мя сетками; з – армирование 3-мя сетками

Результаты экспериментальных исследований показывают, что горизонтальное и вертикальное армирование изменяет характер распределения давления в грунте в основании железобетонного штампа (рис. 4). При этом установлено, что напряжения концентрируются в зоне размещения сеток горизонтального армирования и на уровне плоскости, проходящей по острию вертикально армирующих элементов. Максимальные усилия в вертикальных армирующих элементах в нижней зоне.

Несущая способность основания, армированного горизонтальными элементами в разы больше чем несущая способность неармированного основания, осадки при этом уменьшаются 1,5-2,0 раза по сравнению с неармированным основанием. Комбинированное армированное основание увеличивает несущую способность основания на 1,5-3,4 раза, уменьшает осадки основания по сравнению с неармированным основанием.

График зависимости P-S для комбинированного и горизонтального армирования становится практически линейным на всех этапах нагружения (рис. 3.). Штамповой модуль деформации армированного основания до 2-3,2 раза выше штампového модуля неармированного основания (табл. 1).

Таблица 1

Модуль деформации основания, МПа			
Без арм.	1 сетка+верт.арм.	2 сетка+верт.арм	3 сетка+верт.арм.
1,3	4	5,8	8,57
Вертик. арм.	1 сетка (без верт. армирования)	2 сетки (без верт. армирования)	3 сетки (без верт. армирования)
3,46	2,67	3,75	6

Таблица 2

#### Осадки при различных вариантах армирования

Номер эксперимента	при 1000 кг		При 1500 кг	
	Без армирования		Без армирования	
№ 1	Без армирования	6,2 см	Без армирования	8,3 см
№ 2	1 сетка + верт.	4 см	1 сетка + верт.	6 см
№ 3	2 сетки + верт.	2,8 см	2 сетки + верт.	4,7 см
№ 4	3 сетки + верт.	1,8 см	3 сетки + верт.	2,9 см
№ 5	0 сеток + верт.	5,1 см	0 сеток + верт.	7,1 см
№ 6	1 сетка + 0 верт.	4,3 см	1 сетка + 0 верт.	6,1 см
№ 7	2 сетки + 0 верт.	2,9 см	2 сетки + 0 верт.	4,2 см
№ 8	3 сетки + 0 верт.	3,1 см	3 сетки + 0 верт.	4,5 см

#### Заключение

Комбинированное армирование грунтового основания горизонтальными и вертикальными элементами изменяет напряженно-деформированное состояние и условия деформирования основания, ограничивая деформации грунтов, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Совместное деформирование всех элементов системы приводит к перераспределению усилий между ними и как следствие увеличивается несущая способность 2-4 раза, уменьшаются осадки 1,5-3,4 раза по сравнению с неармированным основанием (табл. 2).

#### Список библиографических ссылок

1. Бартоломей, А.А. Механика грунтов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – С. 138-143.
2. Джоунс, К.Д. Сооружения из армированного грунта. Под ред. д-ра техн. Наук В.Г. Мельника. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
3. Крутов, В.И. Основания и фундаменты на насыпных грунтах. – М.: Стройиздат, 1988. – 223 с.
4. Тимофеева Л.М. Армирование грунтов (теория и практика применения); Перм. политех, ин-т. Пермь, 1991. – 478 с.
5. Тимофеева, Л.М. Исследование длительной прочности армированного грунта с глинистой матрицей. Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: Межвуз. сб. научн. тр. Перм. политехи, ин-т. – Пермь, 1981. – С. 131-134.

6. Татьянников Д.А., Клевеко 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.
7. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 728 с.
8. Методические рекомендации по применению нетканых синтетических материалов при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах. СоюзДорНИИ. – М., 1981. – 64 с.

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

E-mail: [mirsayapov1@mail.ru](mailto:mirsayapov1@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

**Sharafutdinov R.A.** – student

E-mail: [rushan.1992@mail.ru](mailto:rushan.1992@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **Bearing capacity and precipitation of soil foundations reinforced by vertical and horizontal elements**

#### **Resume**

The results of researches of influence of combined vertical and horizontal reinforcement on the stress-strain state, carrying capacity and draught reinforced base. The modeling work of the Foundation soil under laboratory conditions was carried out in a bulk tray beneath a square rigid concrete slab. When testing we used a model of geosynthetic nets and plastic tubing. When conducting trough tests identified strain of the soil in different areas of the base, in vertical and horizontal reinforcing elements, precipitation of the base. On the basis of the results obtained, plots of the above mentioned parameters of the load. The analysis of the obtained results, which shows that the combined reinforcement increases the bearing capacity and reduced precipitation. The combined reinforcement of the Foundation soil horizontal and vertical elements changes the stress-strain state and deformation conditions of the base, limiting the deformation of soil in the vertical and in the horizontal direction.

**Keywords:** vertical and horizontal reinforcing elements, combined reinforcement, soil, sediment, static loading, deformation, stress, bearing capacity.

#### **Reference list**

1. Bartholomey A.A. Soil Mechanics. – М.: Publishing House of the DIA, 2003. – P. 138-143.
2. Jones K.D. Constructions of reinforced soil. Ed. Dr. tehn. Sciences V.G. Miller. – М.: Stroyizdat, 1989. – 268 p.
3. Krutov V.I. Foundations in the bulk soil. – М.: Stroyizdat, 1988. – 223 p.
4. Timofeev L.M. The research work of textile reinforcing layer in the ground array. Synthetic textile materials in the construction of highways (SoyuzDorNII Proceedings). – М., 1983. – P. 38-44.
5. Timofeev L.M. Reinforcement of soil (the theory and practice of application); Perm. Polytechnic University, Inst. – Perm, 1991. – 478 p.
6. Timofeev L.M. Research long-term strength of reinforced soil with a clay matrix. Foundations in the geological conditions of the Urals: Hi. Sat. Scien. tr. Perm. Polytechnical Inst. – Perm, 1981. – P. 131-134.
7. Tatyannikov D.A., Kleveko V.I., Ponomarev A.B. The research work of the sandy nature of the base reinforced by different geosynthetic materials on the basis of die model tests // Geotechnics. Theory and Practice: Hi. themes. Sat. Tr. – SPb., 2013. – P. 33-42.
8. Manual geotechnics. Grounds, foundations and underground structures. Under the general editorship. V.A. Ilicheva and R.A. Mangusheva. – М.: ASV, 2014. – 728 p.
9. Guidelines on the application of non-woven synthetic materials in the construction of roads on soft soils. SoyuzDorNII – М., 1981. – 64 p.