



УДК 624.154.1

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

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

**Алюшев И.И.** – студент

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

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### Экспериментальные исследования моделей армированных горизонтальными сетками оснований при циклическом нагружении

#### Аннотация

В данной работе описаны результаты экспериментальных исследований моделей грунтовых оснований, армированных с помощью горизонтальных полимерных сеток типа а40, на действие циклической нагрузки. Проведение лотковых испытаний позволило определить осадки армированного основания, напряжения и деформации в грунте и в элементах сеток армирования. Результаты экспериментальных исследований представлены в виде графиков зависимости осадок и деформаций от количества циклов нагружения. Установлены основные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния горизонтально армированного массива.

Анализ графических зависимостей показывает, что деформации в грунте и в горизонтальных сетках армирования увеличиваются в процессе циклического нагружения.

**Ключевые слова:** циклические нагружения, горизонтальное армирование, осадки, напряжения, грунт, деформации.

В современных условиях актуальной проблемой при строительстве зданий и сооружений является улучшение свойств слабых грунтов с целью увеличения несущей способности и ограничения осадок оснований фундаментов. Усиление оснований горизонтальными армирующими геосинтетическими материалами является одним из способов решения этой проблемы, так как позволяет обеспечить необходимую надежность и экономичность проектируемых оснований.

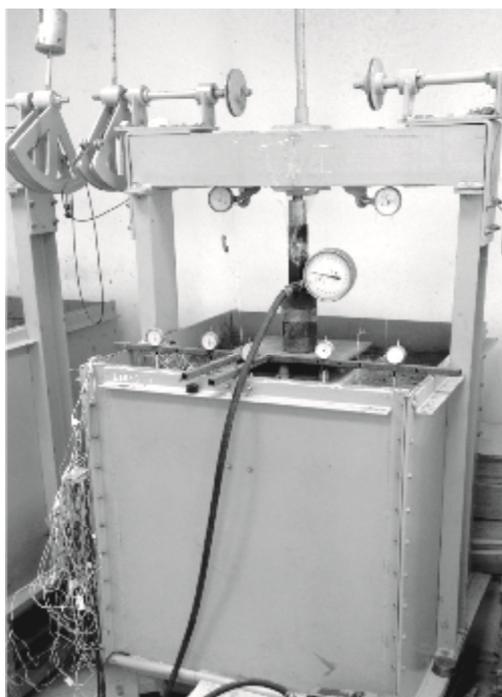


Рис. 1. Испытательный стенд

Исследование армированных горизонтальными элементами оснований, в основном, ограничивается выявлением основных закономерностей поведения при кратковременном статическом нагружении. Наряду со статическими нагрузками основания, армированные горизонтальными элементами, подвергаются воздействию циклических нагрузок, которые в ряде случаев являются основными, определяющими безопасность зданий и сооружений в процессе эксплуатации.

Вследствие этого возникает необходимость в изучении работы армированных оснований при циклическом нагружении.

Для исследования работы грунтовых оснований, армированных горизонтальными сетками, были проведены испытания на действие циклической нагрузки в лабораторных условиях.

Моделирование работы армированного грунтового основания в лабораторных условиях осуществлялось с помощью объемного металлического лотка с размерами 100x100 см (рис. 1). В качестве плитного фундамента использовалась железобетонная плита с размерами 40x40x4 см, армированная проволочной арматурой класса В500 диаметром 3 мм. Горизонтальным элементом армирования служила геосетка типа а40. Грунтом основания являлся песок (плотность  $\rho=1,40$  г/см<sup>3</sup>, влажность  $W=3$  %, угол внутреннего трения  $\varphi=24^{\circ}$ , модуль общих деформаций  $E=5,22$  МПа).

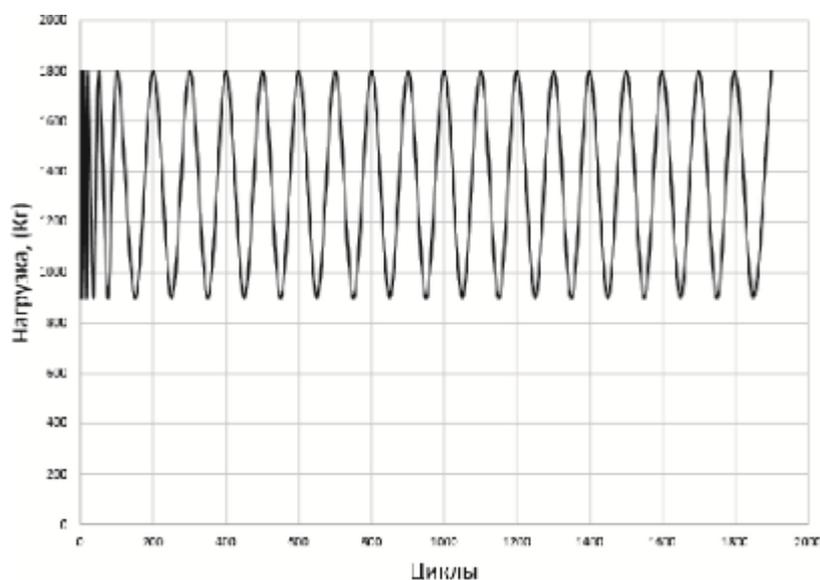


Рис. 2. Режим нагружения

Рис. 2 иллюстрирует режимы нагружений армированного основания. Величины осадок основания на всех ступенях нагружения фиксировались по показаниям индикаторов часового типа ИЧ10 (находившихся на поверхности грунта) и прогибомеров (измеряющих осадки на двух гранях плиты). Также определялись значения напряжений и деформаций в грунте основания и в моделях армирующих элементов.

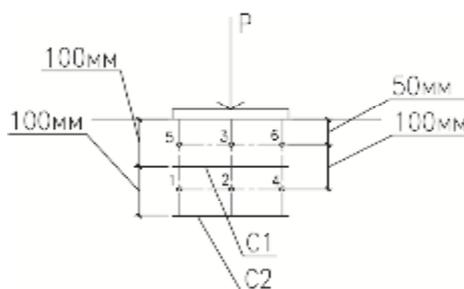


Рис. 3. Схема расположения датчиков в грунтовом массиве

Тензорезисторы, наклеенные по длине горизонтальных сеток, определяли значения деформаций и усилий моделей армирующих элементов. Датчики давления устанавливали напряжения и деформации грунта в различных точках основания.

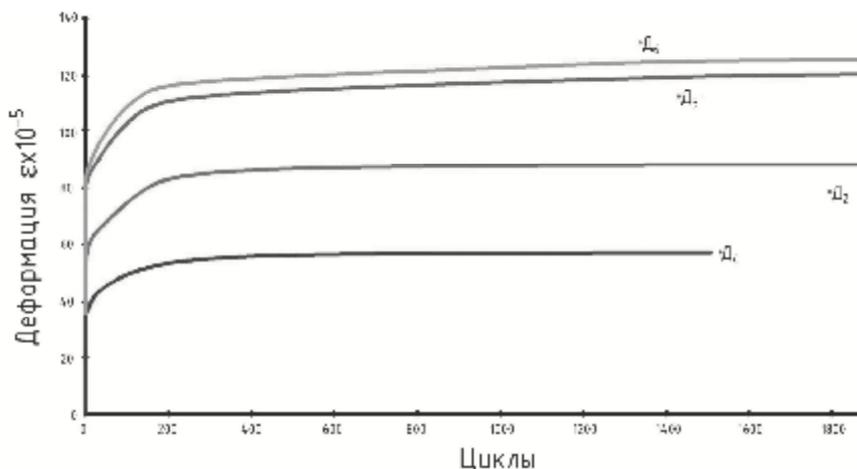


Рис. 4. Деформации в сетках при максимальной нагрузке (1800 кг):  
D<sub>3</sub> и D<sub>6</sub> на глубине 5 см, D<sub>2</sub> и D<sub>4</sub> на глубине 15 см

На рис. 4 приведены графики изменения деформаций грунта в пределах сжимаемой толщи основания. По графикам можно увидеть, что происходит увеличение деформаций в грунте во всех зонах сжимаемой толщи по мере увеличения количества циклов нагружения до 200...300 цикла. При дальнейшем увеличении количества циклов нагружения деформации в грунте стабилизируются. При этом необходимо отметить, что наибольшее увеличение деформаций происходит под плитным фундаментом (штампом) и уменьшаются по глубине. Так, например, в верхней зоне сжимающей толщи на уровне 50 мм от плиты на 1-ом цикле относительная деформация составляет  $80 \cdot 10^{-5}$ , на 200-ом цикле  $118 \cdot 10^{-5}$ , далее происходит стабилизация деформаций и в конце испытаний относительная деформация составляет  $130 \cdot 10^{-5}$ .

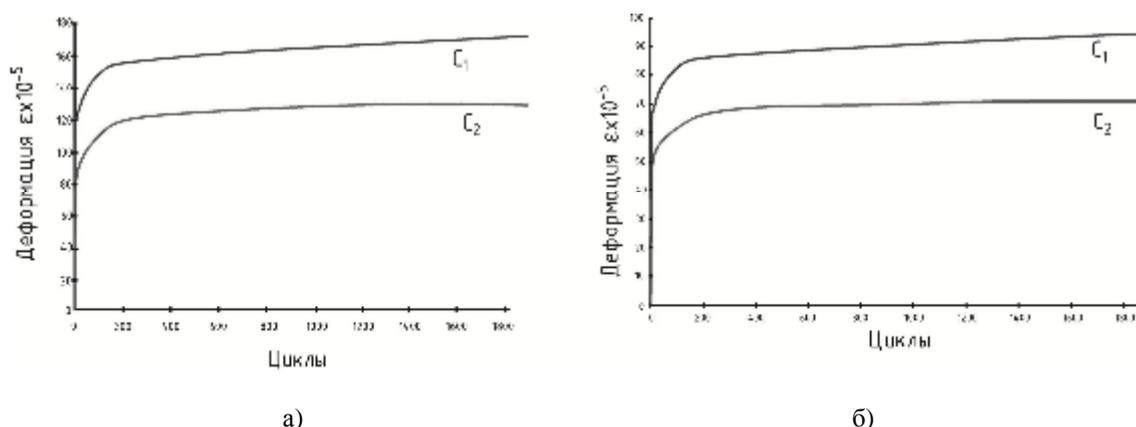


Рис. 5. Деформации в сетках C<sub>1</sub> и C<sub>2</sub> (C<sub>1</sub> на глубине 10 см, C<sub>2</sub> на глубине 20 см):  
а) при максимальной нагрузке (1800 кг); б) при минимальной нагрузке (900 кг)

На рис. 5 отображено изменение деформаций в горизонтальных сетках армирования, расположенных в характерных зонах сжимаемой толщи основания плитного фундамента. Как видно из рис. 5, циклическое нагружение приводит к увеличению деформаций растяжения в элементах сеток. При этом значительные деформации в сетках происходят на первых циклах нагружения до 200-300 цикла. При дальнейшем нагружении происходит стабилизация деформаций в сетках. Наибольшие деформации происходят в верхней сетке на расстоянии 10 см от подошвы фундамента.

Так, например, в верхней сетке на 1-ом цикле относительная деформация растяжения равна  $140 \cdot 10^{-5}$ , далее деформация стабилизируется и в конце испытания относительная деформация составляет  $160 \cdot 10^{-5}$ .

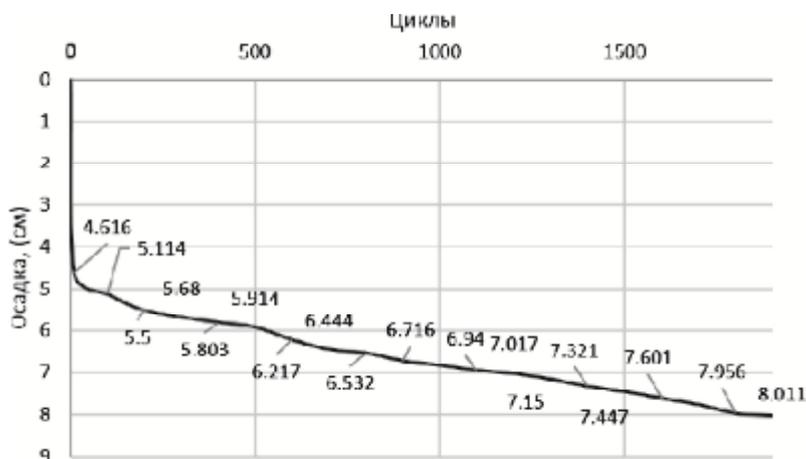


Рис. 6. Развитие осадок горизонтально армированного грунтового массива при циклическом нагружении

Графики развития осадок армированного горизонтальными элементами грунтового массива при циклическом нагружении показаны на рис. 6. Как видно из рисунка, в начальной стадии циклического нагружения, примерно до 500 циклов, происходит интенсивное увеличение осадок. При дальнейшем нагружении интенсивность развития осадок уменьшается, но полной стабилизации осадок не происходит. Так, например, на первом цикле нагружения осадка основания составила 4,616 см, при 500-ом цикле – 5,914 см, на 1900-ом цикле – 8,011 см.

Такой характер развития осадок объясняется тем, что в начальной стадии нагружения практически во всех зонах сжимаемой толщи реализуются деформации уплотнения. Приращение деформаций уплотнения по 500 циклов практически прекращаются, что вызвало уменьшение интенсивности развития осадок. Дальнейшее развитие осадок, видимо, связано с деформациями сдвига грунта ниже зоны армирования.

### Заключение

При циклическом нагружении происходит увеличение деформаций грунта в пределах сжимаемой толщи и в элементах сеток горизонтального армирования, а также осадок основания с различной интенсивностью на всем протяжении испытаний. Наиболее интенсивное развитие деформаций грунта, сеток горизонтального армирования и осадок основания происходило в начальном этапе нагружения до 200...500 циклов, в дальнейшем происходила относительная стабилизация всех показателей.

### Список библиографических ссылок

1. Мирсяпов И.Т., Королева И.В. Прочность и деформируемость глинистых грунтов при различных режимах трехосного нагружения с учетом трещинообразования // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2016, № 1. – С. 5-10.
2. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения // Под общей редакцией В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
3. Мирсяпов И.Т., Королева И.В. Расчетная модель несущей способности армированного основания при циклическом нагружении // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2014, № 4. – С. 12-17.
4. Мирсяпов И.Т., Ибрагимов К.В. Экспериментальные исследования моделей плитно-свайных фундаментов при режимном циклическом нагружении // Известия КГАСУ, 2014, № 4 (30). – С. 198-204.

5. Клари Х.Х., Ветторело П.В. Механическое поведение рыхлого песка, усиленного синтетическими волокнами // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2016, № 1. – С. 11-15.
6. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В., Иванова О.А. Малоцикловая выносливость и деформации глинистых грунтов при трехосном циклическом нагружении // Жилищное строительство, 2012, № 9. – С. 6-8.
7. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading // Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics: Proc. intern. symp. Kyoto, Japan, 22\_25 September 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 742-747.
8. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Особенности деформирования глинистых грунтов при циклическом трехосном сжатии // Международный журнал Геотехника, 2010, № 6. – С. 64-67.

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

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

**Alyushev I.I.** – student

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

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **Experimental studies of basements' models reinforced by horizontal grid under the cyclic loading**

#### **Resume**

To study the soil foundations, reinforced by horizontal polymer grids under cyclic loading tests in the laboratory were carried out. The article shows the results of experimental studies of models of soil basements, horizontal reinforced polymer grids such as the a40, on the effect of cyclic loading.

Experimental tests have allowed establishing basic patterns of change in the stress-strain state grounds, reinforced by horizontal grids.

Deformations of the soil and the elements of the horizontal reinforcement grids within the compressible thickness at the base increases under the cyclic loading. Deformities with varying intensity have evolved throughout the test. The most intensive development of ground deformations and horizontal grid reinforcement occurred at the initial stage of loading up to 200 ... 500 cycles. In the future there is a relative stabilization of these indicators. The action of cyclic loads is an increase in the horizontal grid reinforced base. In the initial stage of cyclic loading up to about 500 cycles, there is an intensive increase in sediment. With further development of the pellet loading rate is reduced, but complete stabilization occurs. The experimental results are presented in the form of graphs of settlement and strain on the number of load cycles. The basic laws of stress-strain state of reinforced horizontal array.

Analysis of plots shows that the strain in the soil and in the horizontal reinforcement grids increases during cyclic loading.

**Keywords:** cyclic loading, horizontal reinforcement, settlements, stress, ground, deformation.

#### **Reference list**

1. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. The strength and deformability of clay soils under the regime of spatial stress state in view of cracking // Osnovaniya, Fundamenti i Mekhanika Gruntov, 2016, № 1. – P. 5-10.
2. Geotechnics directory. Osnovaniya, fundamenti i podzemnie sooruzheniya // Edited by V.A. Ilichev and R.A. Mangushev. – M.: Publisher ASV, 2014. – 728 p.

3. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. The computational model bearing capacity of the reinforced foundation under cyclic loading // *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 2014, № 4. – P. 12-17.
4. Mirsayapov I.T., Ibragimov K.V. Experimental studies of models of plate-pile foundations under cyclic loading regime // *Izvestiya KGASU*, 2014, № 4 (30). – P. 198-204.
5. Clary H.H., Vettorelo P.V. Mechanical behavior of loose sand, reinforced with synthetic fibers // *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 2016, № 1. – P. 11-15.
6. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V., Ivanova O.A. Low-Cycle Endurance and Deformations of Clay Soils in the Course of Three-Axial Cyclic Loading // *Zhilishchnoye stroitelstvo*, 2012, № 9. – P. 6-8.
7. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading // *Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics: Proc. intern. symp, Kyoto, Japan, 22-25 September, 2014.* – Lieden: Balkema, 2014. – P. 742-747.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Features deformation of clayey soils under cyclic triaxial compression // *International Journal Geotechnics*, 2010, № 6. – P. 64-67.