

УДК 624.153.6

**Сиразиев Л.Ф.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [siraziev100@mail.ru](mailto:siraziev100@mail.ru)

**Сергеев Д.Н.** – студент

E-mail: [danilkudo007@mail.ru](mailto:danilkudo007@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **Экспериментальные исследования влияния напластования различных грунтов на напряженно-деформированное состояние слоистого грунтового основания плитного фундамента**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – выявить влияние неоднородных по глубине грунтов напряженно-деформированное состояние трехслойного грунтового основания плитного фундамента при жестком подстилающем слое.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в получении относительные деформации в массиве грунта и величин осадок каждого слоя. Результаты экспериментальных исследований получены в виде картины деформирования слоистого основания, графиков распределения сжимающих напряжений в грунте по глубине и в горизонтальной плоскости.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной области состоит в установлении взаимовлияния различных грунтов на напряженно-деформированное состояние слоистого основания плитного фундамента. Наличие плотного верхнего слоя в слоистом основании значительно увеличивает его распределительную способность. Распределение напряжений происходит пропорционально несущей способности отдельных слоев основания. На границе между слоями может происходить скачок сжимающих напряжений, который указывает на наличие сдвиговых деформаций в контактном слое.

**Ключевые слова:** слоистое грунговое основание, малосжимаемый подстилающий слой, плитный фундамент.

Актуальной проблемой современного городского строительства является качественное и надежное прогнозирование напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований. В принятых расчетных моделях должны наиболее полно отражаться реальные свойства грунтов, неоднородность слоистых оснований по глубине, которые влияют на процессы, происходящие в грунтовых основаниях при действии внешних нагрузок. Разработка надежной теории расчета грунтовых слоистых оснований приобретают особую актуальность в настоящее время, когда в современных крупных городах возникает необходимость строительства зданий повышенной этажности с плитными фундаментами [1-10] в неблагоприятных инженерно-геологических условиях.

Вследствие этого возникает необходимость получения экспериментальных данных о напряженно-деформированном состоянии слоистых оснований, которое станет основой для создания реальных моделей грунтового основания с различными прочностными и деформационными характеристиками. Для получения данных по напряженно-деформированному состоянию требуется провести экспериментальные исследования моделей плитных фундаментов на слоистых неоднородных основаниях.

Испытания проводились в объемных лабораторных металлических лотках размерами 100×100 см кафедры ОФДСиИГ КГАСУ, общий вид которых представлен на рис. 1, 2.

Модель слоистого грунтового основания сформирована тремя слоями грунтов с различными физико-механическими характеристиками, четвертый подстилающий слой является малосжимаемым. Высота трехслойного основания 60 см, а нижнего подстилающего слоя – 40 см.

Трехслойное основание в экспериментах состояло из следующих грунтов:

– супесь пластичная, непросадочная, со следующими характеристиками:  $\gamma=1,7 \text{ т/см}^3$ ,  $W=13 \%$ ,  $E=10,45 \text{ МПа}$ ,  $\varphi=12,88^\circ$ ,  $c=1 \text{ кПа}$ ;

– суглинок тугопластичный непросадочный со следующими характеристиками:  $\gamma=1,89 \text{ г/см}^3$ ,  $W=27 \%$ ,  $E=18,34 \text{ МПа}$ ,  $\varphi=10,21^\circ$ ,  $c=1 \text{ кПа}$ ;

– песок мелкий, средней плотности, малой степени водонасыщения со следующими характеристиками:  $\gamma=1,65 \text{ г/см}^3$ ,  $W=13 \%$ ,  $E=11,55 \text{ МПа}$ ,  $\varphi=14,11^\circ$ ,  $c=2,8 \text{ кПа}$ .

Во всех экспериментах в качестве подстилающего малосжимаемого слоя был использован суглинок полутвердый, непросадочный со следующими характеристиками:  $\gamma=2,05 \text{ г/см}^3$ ,  $W=24 \%$ ,  $E=38 \text{ МПа}$ ,  $\varphi=25,1^\circ$ ,  $c=28 \text{ кПа}$ .



Рис. 1. Внешний вид испытательного лотка

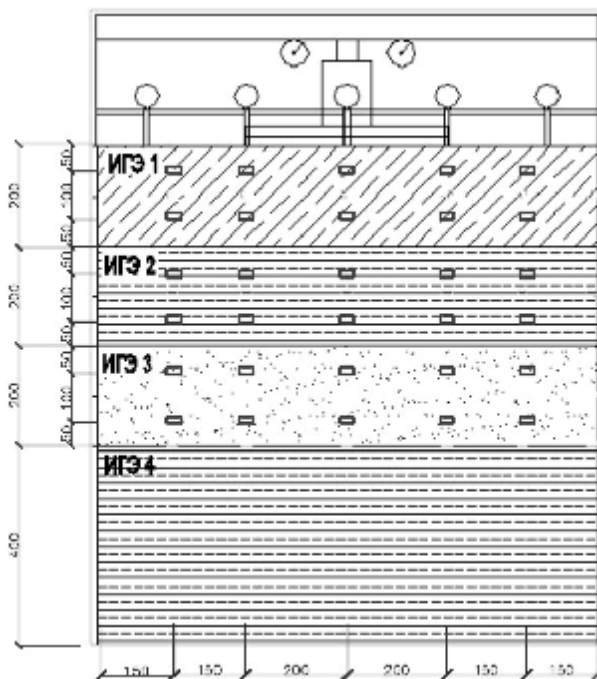


Рис. 2. Схема испытания и расположения приборов

Были проведены четыре эксперимента, моделирующие совместную работу плитного фундамента и трехслойного грунтового основания на малосжимаемом подстилающем слое:

1-й эксперимент – расположение слоев описано выше;

2-й эксперимент:

- песок мелкий, средней плотности;
- супесь пластичная, непросадочная;
- суглинок тугопластичный непросадочный.

3-й эксперимент:

- суглинок тугопластичный непросадочный.

- песок мелкий, средней плотности;
- супесь пластичная, непросадочная.

4-й эксперимент:

- песок мелкий, средней плотности;
- суглинок тугопластичный непросадочный;
- супесь пластичная, непросадочная.

Грунт в испытательный лоток засыпался слоями толщиной 5 см, затем каждый слой тщательно разравнивался и уплотнялся прямоугольной трамбовкой до определенного значения плотности. Из каждого слоя мощностью 5 см отбирались пробы грунтов и определялись физико-механические характеристики.

На подготовленную поверхность устанавливается модель плитного фундамента, представляющую собой железобетонную плиту размерами 400x400x40 мм. Нагрузку модели плиты производилось с помощью гидравлического домкрата.

Напряжения в грунтовом основании в течении экспериментов определялись с помощью грунтовых датчиков, расположенных в два ряда в каждом слое под центром плиты в плане (рис. 2). Показания с грунтовых датчиков снимались с помощью тензометрической станции АИД-4.

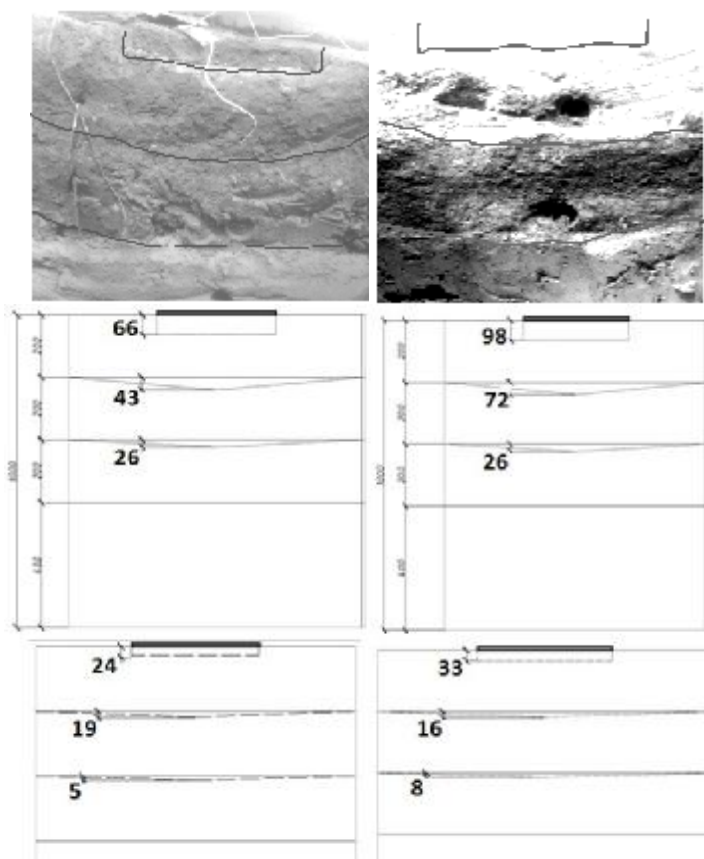


Рис. 3. Разрез трехслойного основания посередине модели плиты и форма деформирования слоистого основания в 4-х экспериментах

При сравнении осадки плиты полученной по 4-м экспериментам (рис. 3, 4) видно, что минимальная осадка получена в 3 эксперименте и составляет 24 мм, максимальная во 2-м эксперименте – 98 мм, в 3-м и 4-м экспериментах значения осадок различаются не намного и равны 24 и 33 мм соответственно. Наибольшие осадки модели фундаментной плиты произошли при наличии мелкого песка или супеси в качестве подстилающего слоя. Важное значение имеет расположение более прочного слоя – тугопластичного суглинка: чем ближе к поверхности он расположен, тем меньше осадка, т.е. плотный верхний слой в слоистом основании значительно увеличивает распределительную способность последнего.

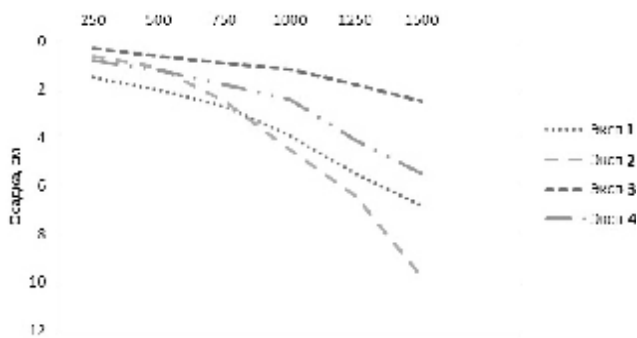


Рис. 4. График зависимости осадки плиты от нагрузки

Во всех экспериментах (рис. 5, 6) в верхних двух слоях на всех этапах нагружения эпюра распределения напряжений в грунтах по горизонтали имеет классический вид распределения, а именно седлообразную форму, в третьем слое более глубоком эпюра напряжений преимущественно имеет параболическую форму, и только в эксперименте № 3, когда слои расположены сверху вниз от наиболее прочного к менее прочным эпюра из седлообразной формы переходит в параболическую.

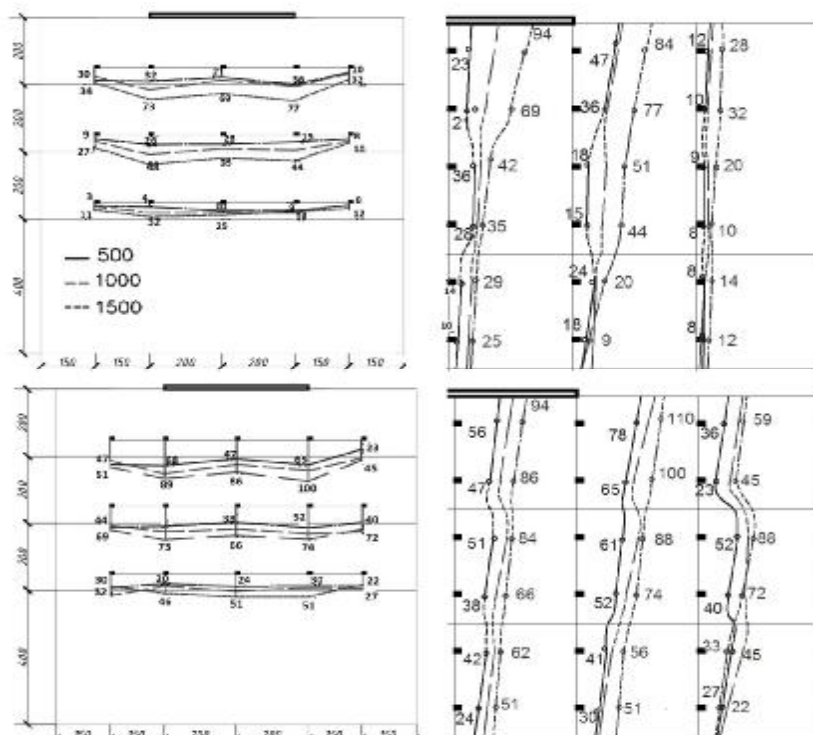


Рис. 5. Эпюры напряжений по горизонтали и вертикали в грунтах под моделью фундаментной плиты в 1 и 2 экспериментах

Анализируя картину деформирования (рис. 3) и эпюры напряжений всех 4-х экспериментов (рис. 5, 6), пришли к следующим выводам: наибольшие напряжения до 140 кПа возникают в подстилающем слое фундаментной плиты, если им является наименее деформативный грунт – суглинок (эксперимент № 3), в этом случае трехслойного основания высокий уровень напряжений и в других слоях до 113 кПа и до 110 кПа. В эксперименте № 4, в котором осадка была также небольшой, максимальные напряжения в слоях составляли сверху вниз: 122 кПа, 137 кПа, 90 кПа. В экспериментах № 1 и № 2, в которых осадка была в 2ч3 раза больше, максимальные напряжения в слоях были меньше (сверху вниз по слоям): на 55 % (84 кПа) и 18 % (110 кПа), на 145 % (51 кПа) и 42 % (88 кПа), на 212 % (32 кПа) и 79 % (56 кПа).

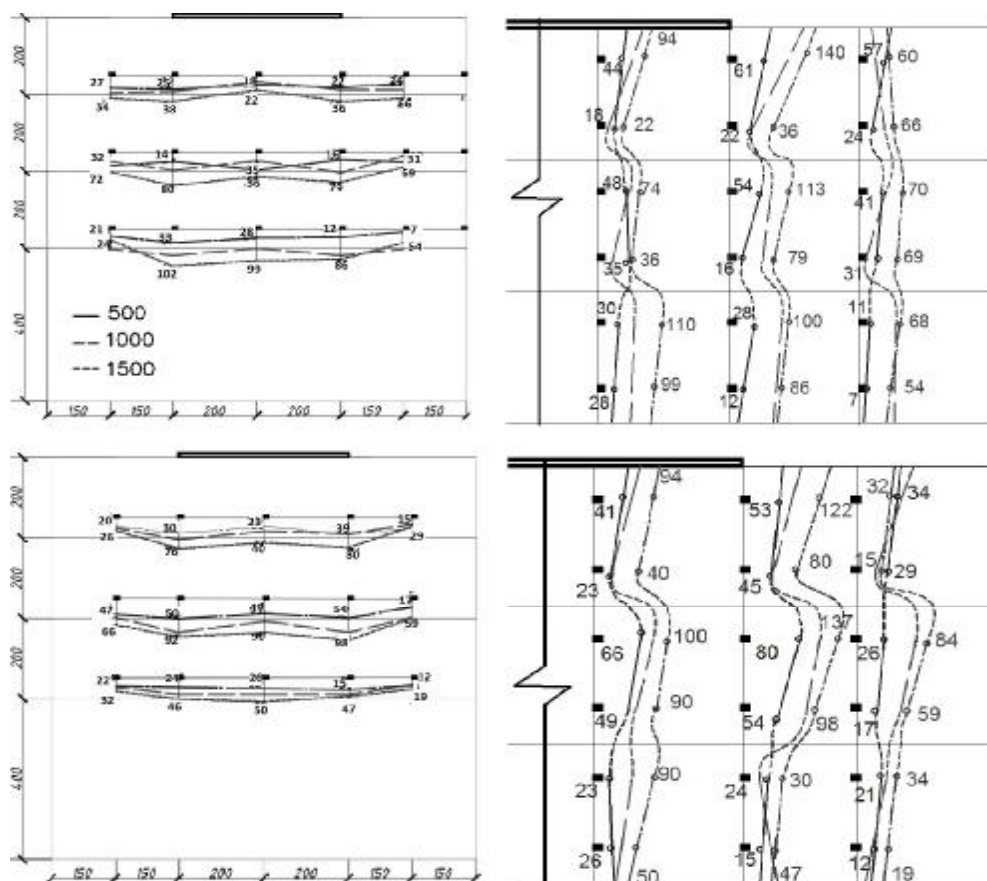


Рис. 6. Эпюры напряжений по горизонтали и вертикали в грунтах под моделью фундаментной плиты в 3 и 4 экспериментах

По характеру распределения сжимающих напряжений (рис. 5, 6) видно, что в каждом геологическом слое по глубине напряжения уменьшаются, а в нижележащем слое в большинстве экспериментов наблюдается увеличение напряжений по сравнению с вышележащим слоем, т.е. на границе между слоями происходит скачок, перепад напряжений, который указывает на наличие сдвиговых деформаций в контактном слое. Причем эти деформации тем больше, чем выше расположен контактный слой и чем эффективнее происходит перераспределение сжимающих напряжений в слоистом основании, которое выражается в меньших осадках модели плитного фундамента. В эксперименте № 1 (осадка составляет 66 мм) сжимающие напряжения изменяются по всем трем слоям практически по линейному закону. В эксперименте № 2 (осадка – 93 мм) напряжения под центром и по краю плиты на всю глубину основания изменяются по линейному закону, а за пределами плиты происходит перепад напряжений в первом и втором слоях практически в 2 раза. В эксперименте № 3 (осадка – 24 мм) скачок напряжений происходит в двух контактных слоях по центру и по краю плиты в 3,05 и 3,36 раз и 1,27 и 1,14 раза соответственно, за пределами плиты перепад напряжений не происходит. В эксперименте № 4 (осадка – 33 мм) скачок напряжений наблюдается только между первым и вторым слоем в 1,71 и 2,9 раза по всей линии контакта.

### Список библиографических ссылок

1. Тетиор А. Н. Фундаменты. М. : Академия, 2010. 400 с.
2. Цытович Н. А. Механика грунтов (краткий курс). М. : Высшая школа, 2011. 272 с.
3. Сиразиев Л. Ф., Богданов Р. Р. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния двухслойного грунтового основания плитного фундамента при жестком подстилающем слое // Известия КГАСУ. 2012. № 1 (19). С. 67–73.

4. Тезисы докладов : сб. научных трудов 68-й Всероссийской научной конференции, Казань. 357 с.
5. Тезисы докладов : сб. научных трудов 69-й Международной научной конференции, Казань. 396 с.
6. Андреев В. И., Барменкова Е. В. Расчет двухслойной плиты на упругом основании с учетом собственного веса : сб. трудов XIX Рос.-пол.-слов. семинара «Теор. основы стр-ва». Жилина. 2010. С. 39–44.
7. Ширунов Г. Н. Метод начальных функций в модели упругого многослойного основания под действием нормальной локальной нагрузки // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 1. С. 91–96.
8. Kim C. K., Hwang M. H. Non-linear analysis of skew thin plate by finite difference method // Journal of mechanical science and technology. 2012. Vol. 26. № 4. P. 1127—1132.
9. Malekzadeh K., Khalili S. M. R., Abbaspour P. Vibration of non-ideal simply supported laminated plate on an elastic foundation subjected to in-plane stresses., Composite Structures, 2010, P. 1478-1484.
10. Kotrasova K., Kormanikova E. The ground plate on the Winkler foundation In: Modelling in mechanics. Ostrava. 2010. № 92. P. 1–6.

**Siraziev L.F.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [siraziev100@mail.ru](mailto:siraziev100@mail.ru)

**Sergeev D.N.** – student

E-mail: [danilkudo007@mail.ru](mailto:danilkudo007@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **Experimental studies of the influence of the bedding of various soils on the stress-strain state of a layered subsoil base of the slab foundation**

#### **Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to reveal the effect of the stress-strain state of the three-layer soil base of the slab foundation with a rigid underlying layer, which is inhomogeneous in the depth of the ground.

*Results.* The main results of the study are to obtain relative deformations in the soil massif and the sediment values of each layer. The results of experimental studies are obtained in the form of a deformation pattern of a layered base, graphs of the distribution of compressive stresses in the soil in depth and in a horizontal plane.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction area is to establish the mutual influence of various soils on the stress-strain state of the laminate basement of the slab foundation. The presence of a dense top layer in a laminate base significantly increases its distribution ability. The stress distribution is proportional to the load-carrying capacity of the individual base layers. On the boundary between the layers, a jump in the compressive stresses may occur, which indicates the presence of shear deformations in the contact layer.

**Keywords:** layered ground basis, rigid underlay, slab foundation.

#### **References**

1. Tetior A. N. Foundations. M. : Academy, 2010. 400 p.
2. Tsytoovich N. A. Soil mechanics (short course). M. : Higher School, 2011. 272 p.
3. Siraziev L. F., Bogdanov R. R. Experimental researches of deflected mode of double layered soil basis of lab foundation with rigid underlay // Izvestiya KGASU. 2012. № 1 (19). P. 67–73.

4. Theses of reports: proceedings of the 68<sup>th</sup> All-Russian scientific conference, Kazan, 2016. 357 p.
5. Theses of reports: proceedings of the 69<sup>th</sup> International scientific conference, Kazan, 2017. 396 p.
6. Andreev V. I., Barmenkova E. V. Calculation of a two-layer slab on an elastic foundation with allowance for its own weight: Proceedings of the 19<sup>th</sup> Ros.-Pol.-Words. Seminar «Theor. Basis of the page». Zilina. 2010. P. 39–44.
7. Shirunov G. N. Method of initial functions in model of compression linearly deformable layered foundation under normal local load // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2015. № 1. С. 91–96.
8. Kim C. K., Hwang M. H. Non-linear analysis of skew thin plate by finite difference method // Journal of mechanical science and technology. 2012. Vol. 26. № 4. P. 1127–1132.
9. Malekzadeh K., Khalili S. M. R., Abbaspour P. Vibration of non-ideal simply supported laminated plate on an elastic foundation subjected to in-plane stresses. Composite Structures, 2010. P. 1478–1484.
10. Kotrasova K., Kormanikova E. The ground plate on the Winkler foundation In: Modelling in mechanics. Ostrava. 2010. № 92. P. 1–6.