

УДК 624.138.2

Клевко В.И. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: vlivkl@mail.ru

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29

Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния армированных грунтовых оснований в глинистых грунтах

Аннотация

В статье приведены результаты натурных штамповых испытаний армированных оснований. В качестве армирующего горизонтального элемента использовалась стеклоткань. В процессе испытаний измерялись вертикальные перемещения и напряжения в активной зоне грунтового основания, а также осадка штампа. Для определения эффективности применения армирования грунта были проведены контрольные испытания неармированного основания. Результаты испытаний показали высокую эффективность применения армирования для повышения несущей способности оснований в глинистых грунтах.

Ключевые слова: армированные основания, напряженно-деформированное состояние, полевые штамповые испытания, глинистые грунты.

Возведение фундаментов на территориях Урала и Западной Сибири представляет значительные сложности, так как их основания представляют собой переувлажненные глинистые грунты. Стоимость сооружения фундаментов зданий и сооружений в таких условиях могут достигать 30 % от общей общих затрат на строительство. Поэтому сокращение затрат на возведение фундаментов на таких грунтах является весьма актуальной задачей.

Одним из эффективных способов улучшения прочностных и деформативных свойств грунтов является его армирование горизонтальными геосинтетическими прослойками. Особенно привлекательным, с экономической точки зрения, является применения местных глинистых грунтов. На кафедре «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ был проведен значительный объем работ по изучению работы армированных оснований в глинистых грунтах [1-12].

Ранее проведенные исследования армированных оснований (АО) позволили выяснить качественную картину поведения армированных оснований, выявить рациональную область применения и их оптимальную конструкцию [2, 3, 5, 6, 8]. Рациональная область применения армирования – грунты тугопластичной и мягкопластичной консистенции (I_L от 0,4 до 0,6). Использование однослойных АО целесообразнее, чем двухслойных, т.к. их удельная несущая способность выше. В рассмотренной области более эффективно применение армирующих материалов, обладающих высокой линейной жесткостью [8]. На основе этих исследований были подобраны соответствующие грунтовые условия и параметры армирования для проведения натурных экспериментов.

Основной целью полевых штамповых испытаний было определение напряженно-деформированного состояния (НДС) армированных оснований для получения реальных количественных показателей. При проведении испытаний применялся круглый жесткий штамп диаметром 600 мм, выполненный из стали. В качестве армирующего материала использовалась стеклоткань, располагающаяся на глубине 150 мм и имеющая диаметр 1800 мм. Стеклоткань имела прочность на разрыв 45 кН/м и удлинение при разрыве 2%.

При проведении натурных экспериментов было запланировано установить закономерности развития осадок АО при различных степенях нагружения, определить их несущую способность, а также сравнить полученные результаты с неармированным грунтовым основанием. Следующей задачей было исследование НДС активной зоны АО, для этого измерялись вертикальные напряжения и деформации в активной зоне основания с использованием датчиков давления (мессдоз) и грунтовых марок.

Опыты проводились в полевых условиях на специально подготовленной площадке.

Конструкция упорного устройства состояла из стальных двутавровых балок высотой 600 мм, усиленных поперечными ребрами жесткости, которые закреплялись на анкерных сваях. В качестве анкерных свай использовались железобетонные призматические сваи длиной 8 м, сечением 300×300 мм. Общий вид упорной конструкции представлен на рис. 1.

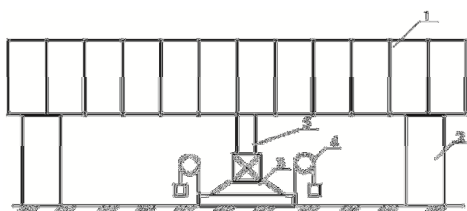


Рис. 1. Общий вид упорного устройства для штамповых испытаний на экспериментальной площадке:

1 – упорная балка, 2 – анкерная свая, 3 – жесткий штамп,
4 – прогибомеры, 5 – гидравлический домкрат

Нагрузка на штамп прикладывалась с помощью гидравлического домкрата ДГ-25, работающего с ручной насосной станцией. Величина нагрузки контролировалась по показаниям манометра.

Для изучения НДС активной зоны АО замерялись нормальные вертикальные напряжения с помощью датчиков давления (мессдоз) и вертикальные перемещения с помощью грунтовых марок. Схема установки мессдоз и грунтовых марок приведена на рис. 2.

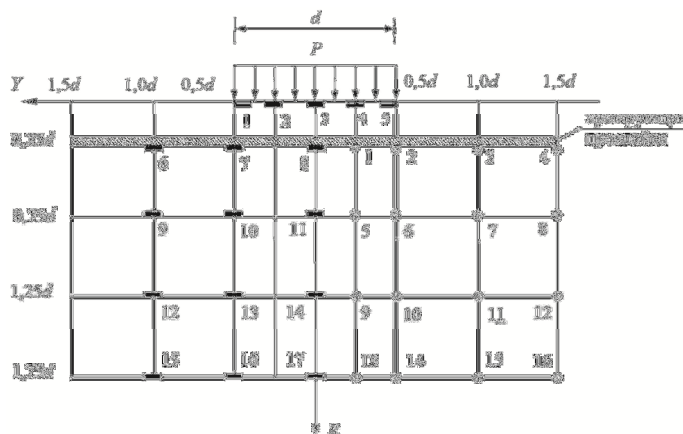


Рис. 2. Схема расположения мессдоз и марок (о – марки; ■ – мессдозы)

Вертикальное давление в грунтовом массиве измерялось тензорезисторными преобразователями давления с гидравлическим мультипликатором типа ПДП-70-11 и ПДМ-70-11 разработанные в ЦНИИСКА им. В.А. Кучеренко. Выходных сигналы тензорезисторов регистрировались измерительной тензометрической системой СИИТ-3.

Вертикальные деформаций в активной зоне грунтового массива замерялись с помощью грунтовых марок. Глубинная грунтовая марка выполнена в виде стального конуса с упругой зубчатой пластиной, который прикрепляется к прогибомеру с помощью стальной проволоки диаметром 0,3 мм, которая пропускалась через алюминиевую трубку диаметром 5 мм для предотвращения трения проволоки о грунт.

На опытной площадке инженерно-геологическими изысканиями установлено следующее напластование грунтов (сверху вниз):

- 1) глины мягкопластичной консистенции мощностью до 1,4 м;
- 2) глины от тугопластичной до мягкопластичной консистенции мощностью до 9,2 м;
- 3) суглинки иловатые от тугопластичной до мягкопластичной консистенции

мощностью до 6,2 м;

4) суглинки слюдистые от тугопластичной до мягкопластичной консистенции мощностью до 5,5 м.

Уровень грунтовых вод отмечен на глубине 0,7 м от дневной поверхности. Физико-механические характеристики грунтов основания приведены в табл.

Таблица

№	Мощность слоя, м	I_p , д.ед.	I_L , д.ед.	γ , кН/м ³	e , д.ед.	W , %	S_r , д. ед.	φ , град.	c , МПа	E , МПа
1	1,4	0,20	0,6	18,8	0,864	28,0	0,888	10	0,013	8,22
2	9,2	0,176	0,59	18,7	0,87	26,75	0,961	12	0,036	11,5
3	6,2	0,119	0,61	19,6	0,78	29,82	0,991	17	0,017	11,0

Для сопоставления с результатами испытаний АО попутно проводились испытания для неармированного грунтового основания. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 20276-99. Непосредственно из точек проведения штамповых испытаний были взяты пробы для уточнения физико-механических характеристик грунта.

Перед проведением испытаний АО верхний слой грунта снимался на глубину 150 мм, затем устанавливались мессдозы и грунтовые марки на глубину 150, 450, 750 и 1050 мм, после этого укладывалась армирующая прослойка. Далее снятый слой грунта укладывался сверху армирующей прослойки с уплотнением до природной плотности.

Первым этапом проведения исследований было определение зависимости осадки штампа от нагрузки, а затем определить НДС активной зоны армированных грунтовых оснований. По результатам испытаний получены графики зависимости осадки штампа от нагрузки и вертикальные напряжения и перемещения.

Графики зависимости осадки штампа от нагрузки для армированного и неармированного оснований представлены на рис. 3. Анализ этих графиков показывает, что на первоначальной стадии загрузки АО имеет большие осадки по сравнению с неармированным. Этот эффект был отмечен и при модельных испытаниях [9]. Испытательная нагрузка доводилась до нагрузки 150 кПа при которой наблюдался разрыв армирующей прослойки, т.е за несущую способность АО можно принять нагрузку 125 кПа, а не армированного основания – 90 кПа.

Анализ графиков «осадка-нагрузка» показывает, что армирующая прослойка начинает работать только при достижении сравнительно больших осадок (более 70 мм) Поэтому АО с однослойным армированием рационально применять для сооружений, не критичными к величине осадок.

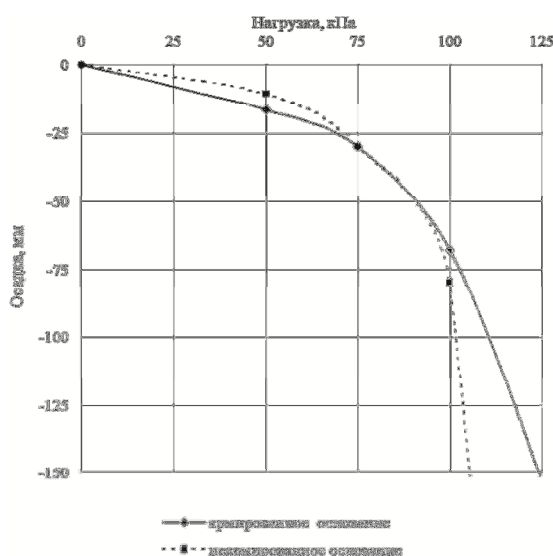


Рис. 3. Графики зависимости осадки от нагрузки для армированного и неармированного оснований

При проведении полевых штамповых испытаний делались замеры величины нормальных вертикальных напряжений в активной зоне оснований. Для сопоставления результатов на различных стадиях загрузки были построены эпюры при нагрузке 50 кПа и 125 кПа, которые приведены соответственно на рис. 4 и 5. Анализ полученных эпюр напряжений показывает значительное различие в поведении армированных и неармированных оснований, особенно в зоне расположения армирующей прослойки.

На уровне расположения армирующей прослойки (глубина $0,25d$), при нагрузках 50 кПа (рис. 4, а) и 125 кПа (рис. 5, а) эпюры вертикальных напряжений имеют седлообразный вид. Максимальные напряжения в неармированном основании немного больше, чем в АО при нагрузке 50 кПа, но уже при нагрузке 125 кПа величина напряжений в неармированном основании значительно больше, чем в АО.

На глубине 450 мм ($0,75d$) эпюры напряжений при нагрузках как 50 кПа (рис. 4, б), так и при 125 кПа (рис. 5, б) трансформируются из седлообразного вида в выпуклый вид. Величина напряжений в АО становится немного больше, чем в неармированном при нагрузке 50 кПа (рис. 4, б), а при нагрузке 125 кПа (рис. 5, б) в АО существенно ниже, чем в неармированном, т.е. армирующая прослойка существенно перераспределяет напряжения.

На глубине 750 мм ($1,25d$) при нагрузке 50 кПа (рис. 4, в) величина вертикальных напряжений неармированного основания остается ниже, чем АО, а при нагрузке 125 кПа (рис. 5, в) величина и распределения напряжений для АО и неармированного оснований практически совпадают.

Величины вертикальных напряжений на глубине 1050 мм ($1,75d$) при нагрузке 50 кПа (рис. 4, г) и 125 кПа (рис. 5, г) имеют такое же поведение, как и на глубине $1,25d$.

Кроме замеров вертикальных напряжений при проведении полевых штамповых испытаний, также проводились замеры величины вертикальных перемещений марок в активной зоне оснований. Результаты замеров приведены на графиках рис. 6 и 7.

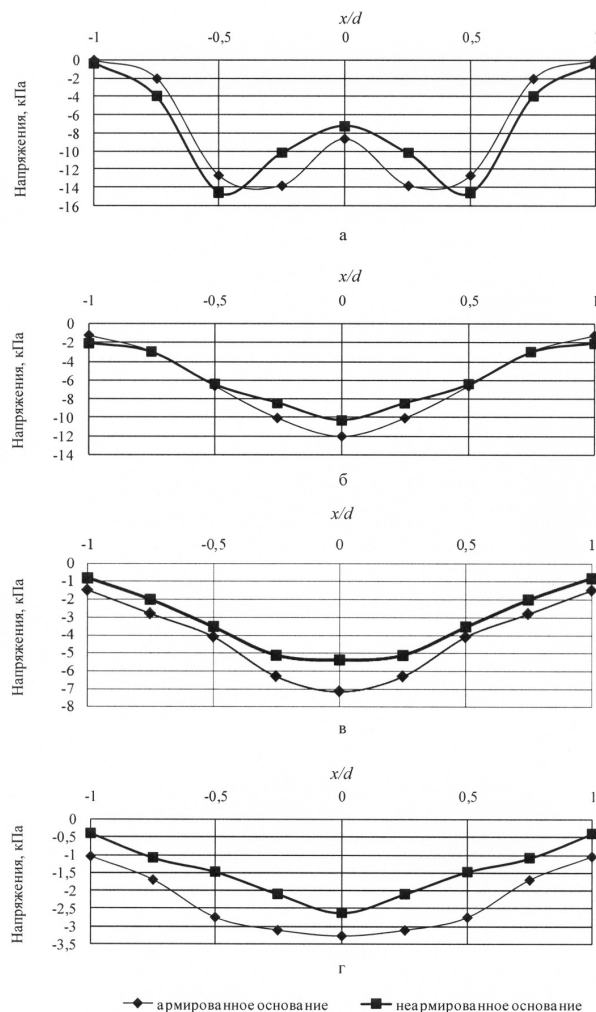


Рис.4. Экспериментальные значения вертикальных напряжений в грунте при нагрузке 50 кПа: а – на глубине $0,25 d$; б – на глубине $0,75d$; в – на глубине $1,25d$; г – на глубине $1,75d$

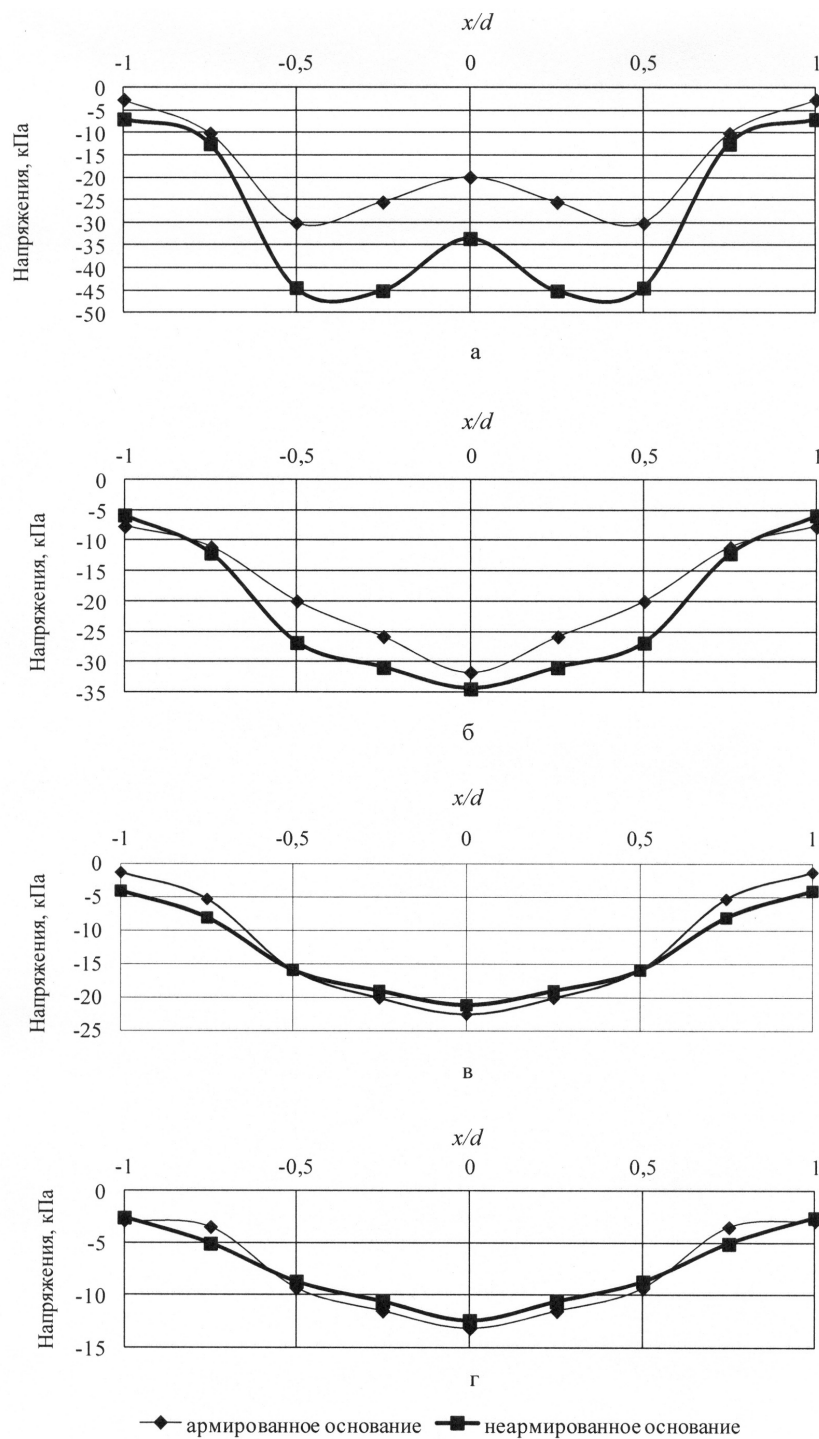


Рис. 5. Экспериментальные значения вертикальных напряжений в грунте при нагрузке 125 кПа: а – на глубине $0,25d$; б – на глубине $0,75d$; в – на глубине $1,25d$; г – на глубине $1,75d$

Вертикальные перемещения на глубине $1,75d$ для АО и неармированного основания практически совпадают и поэтому не приведены.

Характер поведения перемещения грунтовых марок в активной зоне грунтового основания соответствует характеру поведения вертикальных напряжений.

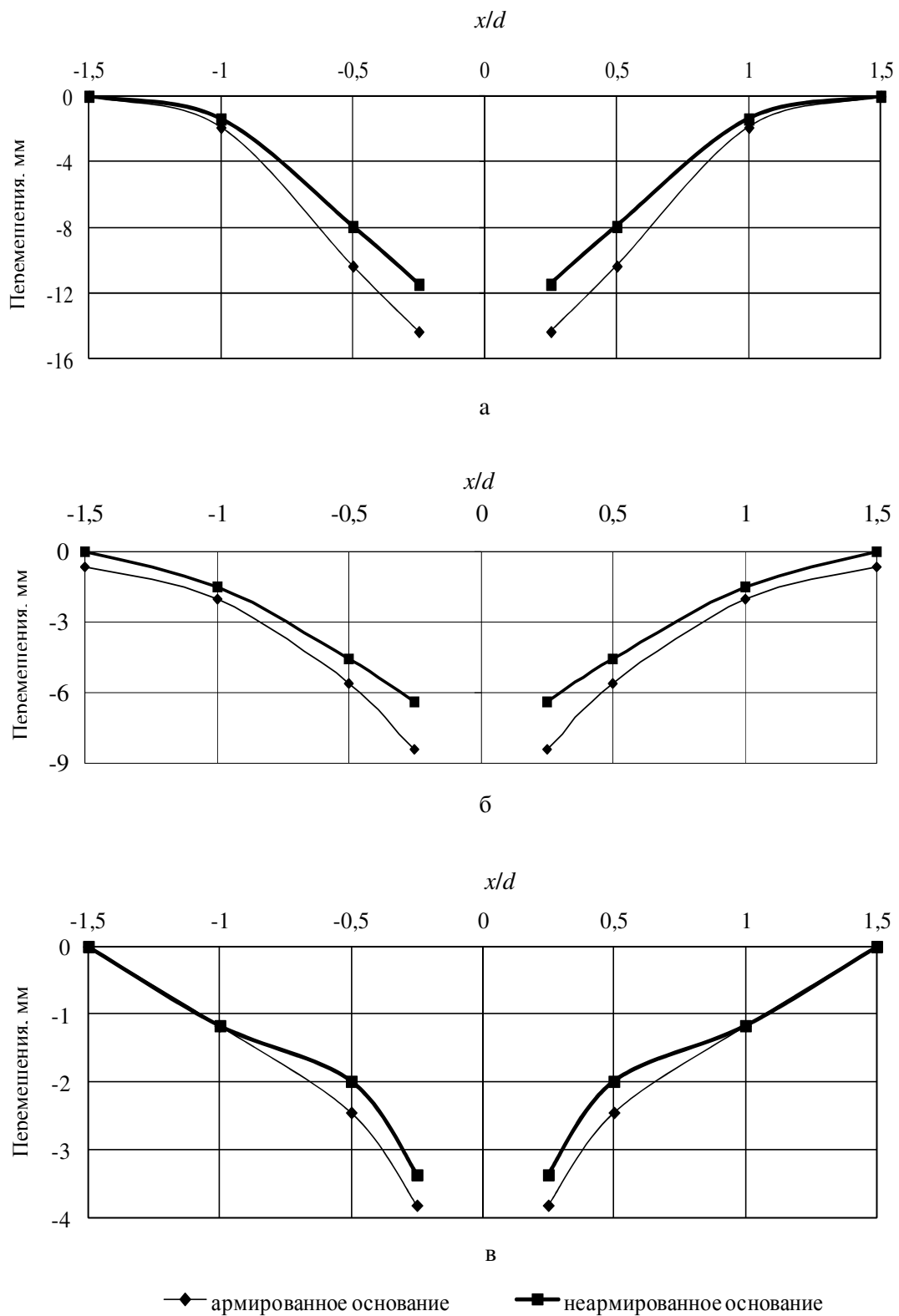


Рис. 6. Экспериментальные значения вертикальных перемещений марок при нагрузке 50 кПа: а – на глубине 0,25d; б – на глубине 0,75d; в – на глубине 1,25d

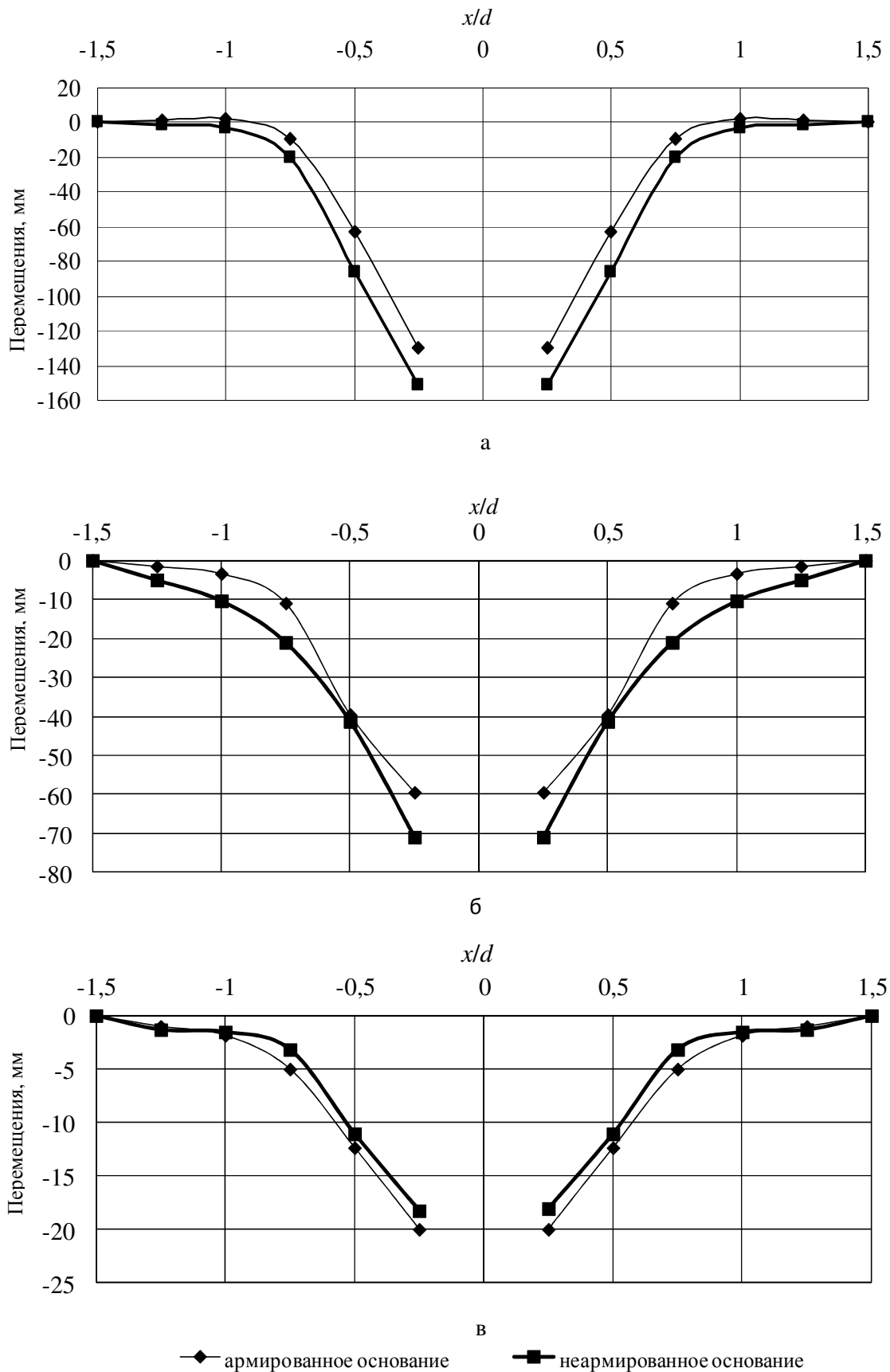


Рис. 7. Экспериментальные значения вертикальных перемещений марок при нагрузке 125 кПа: а – на глубине $0,25d$; б – на глубине $0,75d$; в – на глубине $1,25d$

Выводы

Анализ результатов натуральных штамповых исследований в глинистых грунтах позволяет сделать следующие выводы:

1. Армирование основания приводит к повышению несущей способности основания. Эффективность применения армированных оснований повышается при увеличении осадки сооружения.

2. НДС армированного основания заметно отличается от НДС неармированного основания. Введение армирующего элемента трансформирует распределение напряжений в активной зоне основания. Напряжения концентрируются в зоне расположения армирующей прослойки и уменьшаются в области ниже ее.

3. Зона активного перераспределения вертикальных напряжений в АО составляет по глубине величину $1,0-1,25d$ от подошвы штампа, а по ширине на величину до $1,0 d$ от оси штампа.

Список библиографических ссылок

1. Bartolomey A.A., Kleveko V.I., Ofrikhter V.G., Ponomaryov A.B., Bogomolov A.N. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals // Geotechnical engineering for transportation infrastructure. Proceedings of the 12th European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Amsterdam, June 1999. Netherlands. – Amsterdam, 1999, Vol. 2. – P. 1197-1202.
2. Kleveko V.I. Research of the clay soil reinforced bases work // Proceedings 5-th European Geosynthetics Congress. – Valencia, 2012, Vol. 4. – P. 317-321.
3. Клевеко В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния армированных оснований в пылевато-глинистых грунтах: дис. канд. техн. наук / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2002. – 152 с.
4. Клевеко В.И. Применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве в условиях Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура, 2013, № 1. – С. 114-123.
5. Клевеко В.И. Влияние глубины заделки и модуля деформации армирующей прослойки на несущую способность армированных грунтовых оснований // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала, 2001, № 1. – С. 71-76.
6. Клевеко В.И. Исследование работы армированных глинистых оснований. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура, 2014, № 4. – С. 101-110.
7. Татьянников Д.А., Клевеко В.И., Пономарев А.Б. Анализ работы армированного песчаного основания на основе штамповых модельных испытаний // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика, 2012, № 4 (8). – С. 92-102.
8. Клевеко В.И. Влияние глубины заделки и модуля деформации армирующей прослойки на несущую способность армированных грунтовых оснований // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала, 2001, № 1. – С. 71-76.
9. Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Влияние сжимаемости армирующего материала на осадку фундамента при штамповых модельных испытаниях на примере геокомпозита // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура, 2013, № 2. – С. 124-132.
10. Пономарев А.Б., Кузнецова А.С., Богомоллова О.А. Результаты исследований фиброармированного песка // В сборнике: Актуальные проблемы геотехники. Сборник статей, посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомоллова. Редакторы: Богомоллов А.Н., Пономарев А.Б. – Волгоград, 2014. – С. 140-147.
11. Пономарев А.Б., Золотозубов Д.Г., Нестратов М.Ю. Методика расчета армированного грунтового основания при возникновении провалов в грунтовой массе // В сборнике: Актуальные проблемы геотехники. Сборник статей,

посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомолова. Редакторы: Богомолов А.Н., Пономарев А.Б. – Волгоград, 2014. – С.180-187.

12. Пономарев А.Б., Золотозубов Д.Г. Влияние глубины заложения армирующего материала на несущую способность основания при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров, 2010, № 2. – С. 100-103.

Kleveko V.I. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: vlivkl@mail.ru

Perm National Research Polytechnic University

The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky prospekt, 29

Experimental studies of the stress-strain state of reinforced bases in clay soils

Resume

The article presents the results of field testing of die-reinforced bases. Glass fiber was used as the reinforcing horizontal member. During the tests, measured vertical displacements and stresses in the core of the subgrade and sediment stamp. To determine the effectiveness of soil reinforcement were conducted pilot tests reinforced base. The tests revealed that the single layer reinforcing clay base results in an increase in bearing capacity of 1.35 times the base. Effectiveness of reinforced bases increases with increasing precipitation structures. Stress-strain state reinforced base is markedly different from the stress-strain state of reinforced base. Introduction reinforcing element transforms the stress distribution in the core base. Stresses concentrate in an area of the reinforcing layer and decrease in the area below it. Redistribution of the active area in the vertical stress is reinforced based on depth amount 1,0 - 1,25 d from the base of the stamp, and in width by up to 1,0 d from the axis of the die. The test results showed high efficiency of reinforcement to increase the bearing capacity of foundations in clay soils.

Keywords: reinforced bases, the stress-strain state, punching field tests, clay soils

Reference list

1. Bartolomey A.A., Kleveko V.I., Ofrikhter V.G., Ponomaryov A.B., Bogomolov A.N. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals // Geotechnical engineering for transportation infrastructure. Proceedings of the 12th European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Amsterdam, June 1999. Netherlands. – Amsterdam, 1999, Vol. 2. – P. 1197-1202.
2. Kleveko V.I. Research of the clay soil reinforced bases work // Proceedings 5-th European Geosynthetics Congress. – Valencia, 2012, Vol. 4. – P. 317-321.
3. Kleveko V.I. Evaluation of stress-strain state of reinforced bases in silty clay soils: dis. Candidate. tehn. Science / Perm State Technical University, Perm, 2002. – 152 p.
4. Kleveko V.I. Application of geosynthetics in road construction under the Perm Territory // Bulletin Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture, 2013, № 1. – P. 114-123.
5. Kleveko V.I. Effect of planting depth and modulus of deformation of the reinforcing layer on the bearing capacity of reinforced soil foundations // Foundations in the geological conditions of the Urals, 2001, № 1. – P. 71-76.
6. Kleveko V.I. Study of clay reinforced bases. // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture, 2014, № 4. – P. 101-110.
7. Tatyannikov D.A., Kleveko V.I., Ponomarev A.B. Analysis of reinforced sand foundation based on model tests of die // Vestnik Perm National Research Polytechnic University. Urbanistics, 2012, № 4 (8). – P. 92-102.
8. Kleveko V.I. Effect of planting depth and modulus of deformation of the reinforcing layer on the bearing capacity of reinforced soil foundations // Foundations in the geological conditions of the Urals, 2001, № 1. – P. 71-76.

9. Tatyannikov D.A., Kleveko V.I. Effect of compressibility of the reinforcing material to foundation settlement of die model tests in the example geocomposite // Bulletin Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture, 2013, № 2. – P. 124-132.
10. Ponomarev A.B., Kuznetsova A.S., Bogomolov A.N. Research results fiber reinforced sand // In: Actual problems of geotechnics. Collection of papers dedicated to the 60th anniversary of Professor A.N. Bogomolov. Editors: A.N. Bogomolov, A.B. Ponomarev. – Volgograd, 2014. – P. 140-147.
11. Ponomarev A.B., Zolotozubov D.G., Nestratov M.Y. Methods of calculating reinforced subgrade in the event of failures in the soil array // In: Actual problems of geotechnics. Collection of papers dedicated to the 60th anniversary of Professor A.N. Bogomolov. Editors: A.N. Bogomolov, A.B. Ponomarev. – Volgograd, 2014. – P. 180-187.
12. Ponomarev A.B., Zolotozubov D.G. Influence of the depth of the reinforcing material on the bearing capacity of the foundation soil in failures // Bulletin of Civil Engineers, 2010, № 2. – P. 100-103.