

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.11

УДК 624.154.51

Р.И. Шенкман, А.Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

ПЛАНИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА МОДЕЛЯХ ГРУНТОВЫХ СВАЙ В ОБОЛОЧКЕ ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены сведения о методе улучшения слабого глинистого грунтового основания с использованием грунтовых свай в оболочке из геосинтетического материала. Данная технология показала свою эффективность при строительстве насыпей на слабых водонасыщенных глинистых основаниях на более 30 проектах в Германии, Швеции, Голландии, Польше и Бразилии. Приведена краткая информация о данной технологии, о состоянии изученности данной тематики. Представлены материалы об актуальности изучения данной технологии для применения на территории Пермского края, которая характеризуется наличием оснований, представленных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами, которые расположены в зоне активной городской застройки. Представлен краткий обзор существующих экспериментальных исследований различных учёных по данной тематике и его анализ, что позволяет обозначить область актуального исследования и требующихся дополнительных экспериментальных исследований, которые позволяют применять данную технологию для улучшения слабых оснований для строительства фундаментов зданий и сооружений. Рассмотрена проблема планирования требующихся экспериментальных исследований грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов в лабораторных условиях. Данные эксперименты предполагают испытания моделей грунтовых свай, выполненных в лотке, заполненном глинистым грунтом, моделирующем типовое слабое основание города Перми. Также представлены разработанные экспериментальные схемы, оборудование, с помощью которого предполагается выполнять измерение интересующих параметров системы, и информация о схеме регистрации напряжений в грунтовом массиве. Сделаны выводы об актуальности целей планируемых экспериментальных исследований, их новизне.

Ключевые слова: грунтовые сваи, геосинтетическая оболочка, экспериментальные исследования, лабораторные эксперименты, планирование экспериментов, слабые грунты, глинистые грунты.

R.I. Shenkman, A.B. Ponomarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

PLANNING OF THE LABORATORY EXPERIMENTS ON GEOTEXTILE ENCASED STONE COLUMNS

The article provides information about improvement of the weak clay subgrade using geotextile encased stone columns. This technology has proven its effectiveness in the construction of embankments on soft clay saturated soils on more than 30 projects in Germany, Sweden, the Netherlands, Poland and Brazil. The article presents overview of the technology, the state of knowledge on this topic. Article present

materials about relevance of the study of this technology for applying in Perm region which is characterized by the presence of weak bases represented by water-saturated clay soils, which are located in the zone of active urban construction. The article presents an overview and analysis of existing experimental studies of various scholars on the subject, which allows to identify the area of the current study which aim is applying this technology to improve the weak bases of the foundations of buildings and structures. Also it considers the problem of planning of the experimental studies of geotextile encased stone columns in the laboratory conditions. These experiments suggest the test models of geotextile encased soil piles made in a tray filled with clay soil which is simulating typical weak foundation of the city of Perm. The paper presents the developed experimental scheme. The equipment by means of which is supposed to perform the measurement of parameters of interest system is presented. Conclusions on the relevance and novelty of the objectives of the planned experimental studies are made.

Keywords: ground piles, geotextile encased stone columns, experimental research, laboratory experiments, design of experiments, planning of experiments, weak soils, clay soils.

Введение

На территории Пермского края встречается большое количество участков со слабым грунтом основания, например поймы рек, торфяники, болота. Развитие экономики края заставляет осваивать и застраивать данные территории; кроме того, почти вся историческая центральная часть города расположена на надпойменной террасе реки Камы, характеризующейся наличием слабых водонасыщенных глинистых грунтов. Использование грунтовых свай для улучшения слабых оснований является способом, во многом доказавшим свою эффективность при строительстве насыпей на более 30 проектах в Германии, Швеции, Голландии, Польше и Бразилии. Геосинтетическая оболочка совместно с окружающими слабыми грунтами принимает на себя кольцевые растягивающие усилия, возникающие в свае под нагрузкой, и тем самым обеспечивает ее радиальную поддержку. В качестве заполнителя свай могут применяться щебень, гравий, песок, а в качестве геосинтетической оболочки – георешетки, геоткани или геокомпозиты.

Данный метод позволяет значительно снизить осадки и повысить несущую способность грунтов. В то же время он является механическим, а следовательно, наиболее эффективным в глинистых грунтах, которые распространены на территории Пермского края. Типовое слабое основание представлено суглинком текучепластичной консистенции, подстилаемым гравийным грунтом. Суглинки имеют осредненную толщину 8 м, гравийный грунт – 2 м. Ниже гравийного грунта залегают грунты верхнепермского возраста – аргиллит трещиноватый с прослойками алевролита. Использование грунтовых свай в геосинтетической оболочке наиболее эффективно именно в таких грунтовых условиях, по результатам существующих научных исследований. При-

менение современных геосинтетических материалов позволяет значительно повысить эксплуатационные качества грунтовых свай, а также избежать характерных для них недостатков, связанных с постоянством геометрии поперечного сечения, как во время производства, так и эксплуатации. Совокупность всех этих причин обуславливает актуальность применения грунтовых свай для улучшения слабых грунтов на территории Пермского края.

На сегодняшний день существует значительное количество исследований, доказывающих эффективность применения грунтовых свай в оболочке из геосинтетического материала. Они проведены такими учеными, как А.Б. Пономарев [1, 2], Н. Kempert [3], J. Gniel [4], U. Trunk [5], A. Paul [6], J.Castro [7] и др.

Для установки грунтовых свай в оболочке из геосинтетического материала используются два метода: метод виброзамещения и метод грунтозамещения. При методе виброзамещения стальная труба с закрытым наконечником помещается в мягкий грунт, после чего внутрь нее вставляются спитый геотекстиль и заполнитель. Наконечник открывается, и труба, вибрируя, поднимается на поверхность. Вибрация обеспечивает уплотнение заполнителя сваи (рис. 1). Преимуществами метода виброзамещения являются его быстрота, экономичность и эффект преднатяжения грунта [6, 8].

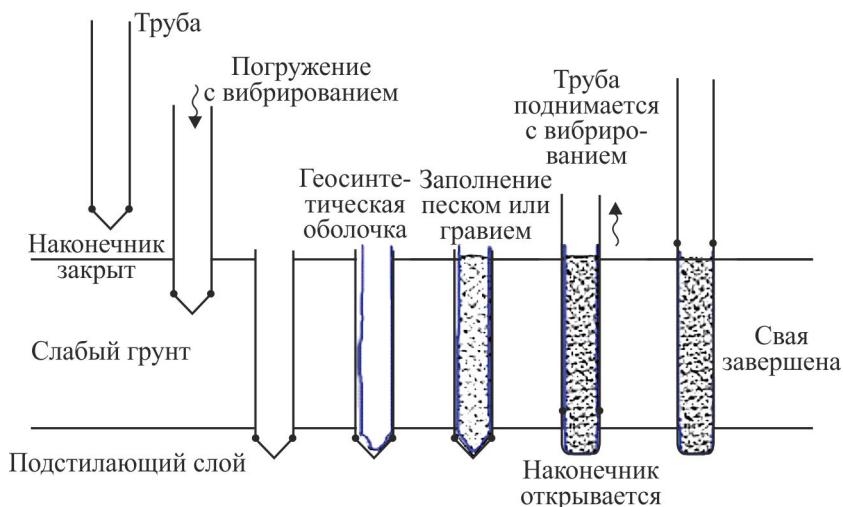


Рис. 1. Схема установки грунтовой сваи в оболочке из геосинтетического материала методом виброзамещения

При методе грунтозамещения открытая труба помещается в несущий грунт, который удаляется с помощью шнека (рис. 2). Метод применяется для грунтов с высокой устойчивостью к проникновению или, при необходимости, минимизации вибраций [6, 8].

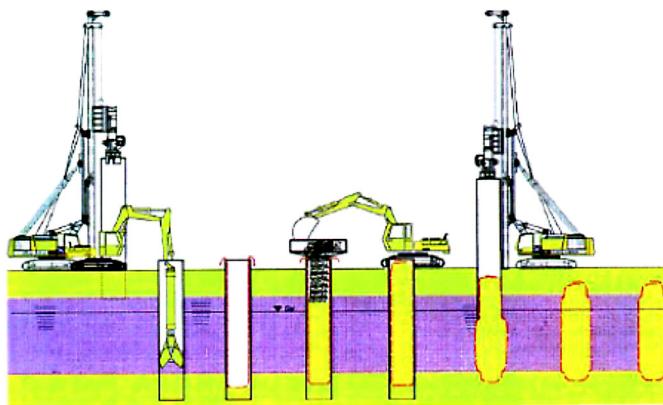


Рис. 2. Схема установки грунтовой сваи в оболочке из геосинтетического материала методом грунтозамещения

1. Постановка задач экспериментальных исследований

Существующие исследования в данной области делятся на две большие группы: исследования, связанные с численным моделированием, и экспериментальные исследования. Преобладают исследования, связанные с численным моделированием, ввиду большой популярности применения данных методов сегодня, а также относительной простоты постановки численных экспериментов. В то же время получить действительную картину работы грунтовых свай без учета различных допущений и упрощений математических моделей можно, поставив модельный или натурный эксперимент. С учетом этого два указанных направления исследований должны развиваться одновременно, только это позволит разработать адекватные математические модели и методы проектирования основания, улучшенного грунтовыми сваями, которые возможно в дальнейшем использовать в инженерной практике.

U. Trunk проводил исследования, связанные с испытанием сваи с различными минеральными наполнителями (песчано-гравийная смесь, уплотненная песчано-гравийная смесь, щебень, уплотненный щебень) в оболочке из геосинтетической решетки Secugrid на прочность. Общий вид экспериментальной модели показан на рис. 3 [5].



Рис. 3. Общий вид
экспериментальной модели

В результате, выдержав максимальную приложенную нагрузку 400 кН, наибольшую прочность показали сваи, заполненные уплотненным щебнем.

J. Gniel провел серию лабораторных испытаний модели свай в оболочке из геосинтетического материала с помощью одометра. При создании модели особое внимание уделялось таким параметрам, как соотношение диаметра и длины сваи, диаметра сваи и размера элементарной ячейки рассматриваемого грунта, диаметра сваи и расстояния между ячейками георешетки к общему размеру модели. Основной целью исследования было изучение работы группы свай в оболочке из геосинтетического материала и установление возможности достижения функциональности системы при обертывании геосинтетическим материалом только верхней части сваи. В качестве заполнителя сваи использовался песок, в качестве грунта – однородная глина. Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 4 [4, 9].

Нагрузка на модель подавалась с помощью пневматического поршня. Действие осуществлялось в два этапа. Сначала давление воздуха подавалось в верхнюю камеру, заставляя поршень опускаться вниз и консолидировать глину до очень мягкой консистенции. После разгрузки и установки свая и окружающая глина вновь загружались с использованием поршня, и таким образом создавались условия «элементарной ячейки». Схема данной модели показана на рис. 5 [4, 8].



Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки



Равномерно распределенная нагрузка прикладывается к жесткому основанию на каменных сваях

Зона действия сваи принимается за круг с той же площадью. Сваи и окружающий ее грунт образуют модель «элементарной ячейки»

Границы условия и фиксированное основание применяются к ячейке

Рис. 5. Модель «элементарной ячейки»

M. Raithel и др. проводили натурные экспериментальные исследования по нагружению основания улучшенного грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетических материалов. Данные экспериментальные исследования проводились с целью определения достоверности расчетных моделей, представленных в немецких нормах проектирования. По результатам экспериментов были сделаны выводы о возможности использования данных подходов проектирования для вычисления осадок данной системы улучшения. Общая модель экспериментов представлена на рис. 6 [10].

Также ранее авторы проводили полунатурные экспериментальные исследования свай в оболочке из геосинтетических материалов. Эксперименты выполнялись в условиях слабых водонасыщенных глинистых грунтов на строительной площадке в пос. Култаево Пермского края. В геологическом строении по данным бурения скважин, в пределах исследованных глубин (до 14,0 м) принимают участие аллювиальные отло-



Рис. 6. Общий вид экспериментальной модели

жения современного отдела четвертичной системы (aQ_{IV}). С поверхности повсеместно развит почвенно-растительный слой мощностью 0,1 м. Далее на площадке залегают аллювиальные грунты современного отдела четвертичной системы – aQ_{IV} , представленные суглинками светло-коричневыми, легкими пылеватыми, тяжелыми пылеватыми текучепластичными, мощностью 0,8–11,8 м, подстилаемые – гравийным и галечниковым грунтом. Предварительно для проведения испытаний на экспериментальном участке был удален почвенно-растительный слой и устроен шурф глубиной 2 м до суглинка текучепластичного. Для определения однородности грунтового основания на площадке испытаний перед вскрытием шурфа были проведены контрольные статические зондирования при помощи установки Geomil LWC-100/100 XS. По полученным результатам зондирования можно утверждать, что суглинки имеют распространение на глубину до 11 м. Значения модуля деформации суглинка стабильны и изменяются в пределах от 4 до 6 МПа. В процессе выполнения эксперимента были проведены испытания маломасштабных моделей грунтовых свай из щебня фракции 0–20 известковых горных пород, обернутого сеткой ССНП 50/50-25. Целью проведенных испытаний было выявление эффективности применения данной технологии в грунтовых условиях Пермского края и определение наиболее эффективной методики устройства свай для дальнейшего применения в качестве улучшенного основания фундаментов зданий и сооружений. Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 7. Схемы экспериментов представлены на рис. 8 [11].



Рис. 7. Общий вид экспериментальной установки

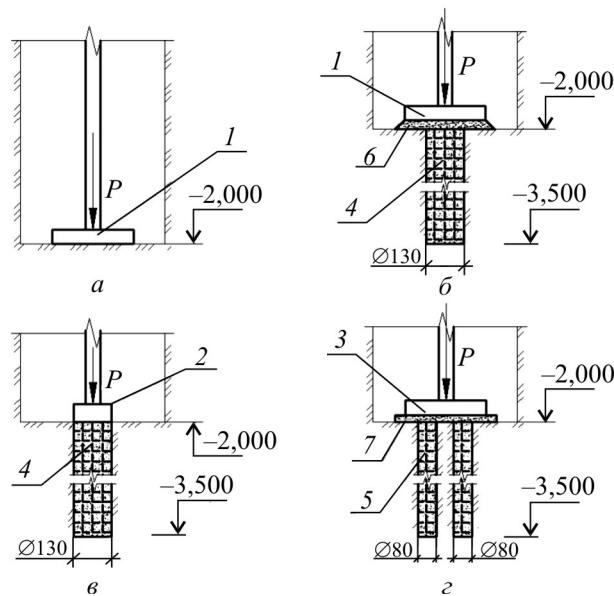


Рис. 8. Схемы экспериментальных испытаний: *а* – штамповые испытания грунта естественного сложения; *б* – штамповые испытания массива грунта, улучшенного одиночной грунтовой сваей в геосинтетической оболочке; *в* – штамповые испытания непосредственно грунтовой сваи в геосинтетической оболочке; *г* – штамповые испытания массива грунта, улучшенного группой свай (3 шт.)

По результатам выполненных нами экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы [11]:

1. При проектировании улучшенного основания при помощи свай из щебня в оболочке из геосинтетического материала необходимо учитывать дополнительную осадку фундаментов, связанную с технологией включения грунтовых свай в работу (предварительное уплотнение, использование щебеночных прослоек с механическим уплотнением).

2. Установлено, что грунтовые сваи в геосинтетической оболочке эффективно использовать в слабых водонасыщенных грунтах Пермского края, при опирании на грунты малосжимаемые верхнепермских пород. Это обусловлено низкой деформативностью конструкций свай от действующих нагрузок.

3. Эффективность улучшения основания во многом зависит от включения грунтовых свай в работу, т.е. от технологии устройства улучшенного грунтового основания. Поэтому в дальнейшем необходимо провести экспериментальные исследования грунтовых свай, устраиваемых по схеме, близкой к возможному их реальному исполнению.

Большая часть существующих исследований предполагает строительство земляных насыпей на улучшенном основании; при этом предполагается, что свая будет испытывать относительно однородные растягивающие напряжения ввиду большой площади передачи нагрузки и малой толщины слабого слоя, который она прорезает. Для нас более актуальным будет являться использование свай по «висячей» схеме, т.е. без прорезания всей толщи слабого грунта, поскольку при строительстве фундаментов на естественном основании достаточно вводить элементы улучшения лишь в пределах сжимаемой толщи, что подтверждается нашими предыдущими исследованиями [11, 12].

Таким образом, на обобщении данных исследований были сделаны выводы о необходимости проведения дополнительных экспериментальных исследований с фиксацией напряженно-деформированного состояния грунтового основания при строительстве фундаментов мелкого заложения на основании, улучшенном грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетического материала.

2. Планирование экспериментов

Экспериментальные исследования планируется выполнять на базе лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника»

Пермского национального исследовательского политехнического университета. Крупномасштабные эксперименты предполагается выполнять в лотке размером $0,4 \times 1 \times 1$ (h) м. Будут испытываться модели фундаментов на основании, улучшенном грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетических материалов. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 9.

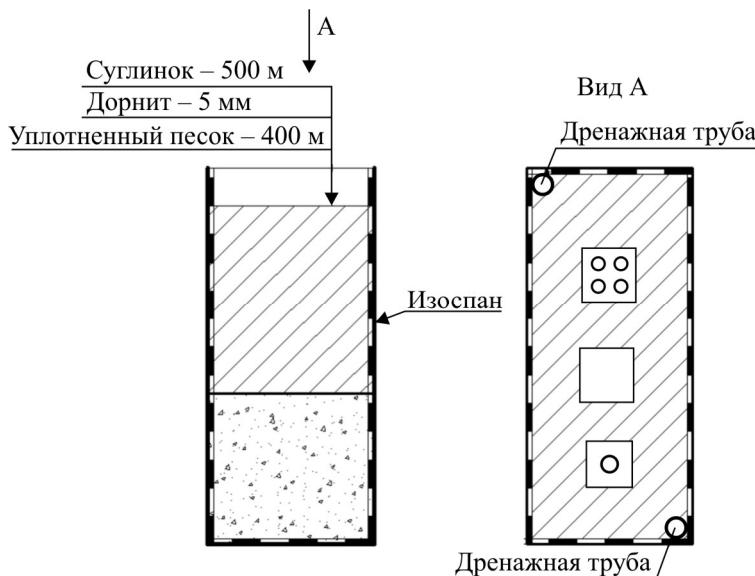


Рис. 9. Схема экспериментального стенда

В процессе экспериментальных лабораторных исследований предполагается провести серию испытаний моделей фундаментов на естественном слабом глинистом основании, улучшенном грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетических материалов, выполненных по «висячей» схеме; длина свай выбирается с учетом глубины сжимаемой толщи под жестким штампом. В процессе экспериментов будет фиксироваться напряженное состояние грунтового массива, а также осадок жесткого штампа. Нагружение штампа выполняется с использованием пневматического цилиндра; производится фиксация перемещений с использованием специальной системы, входящей в комплект оборудования для проведения штамповых испытаний ШВ60 ЗАО «Геотест». Фиксация напряжений будет происходить при помощи месдоз собственного изготовления (рис. 10).

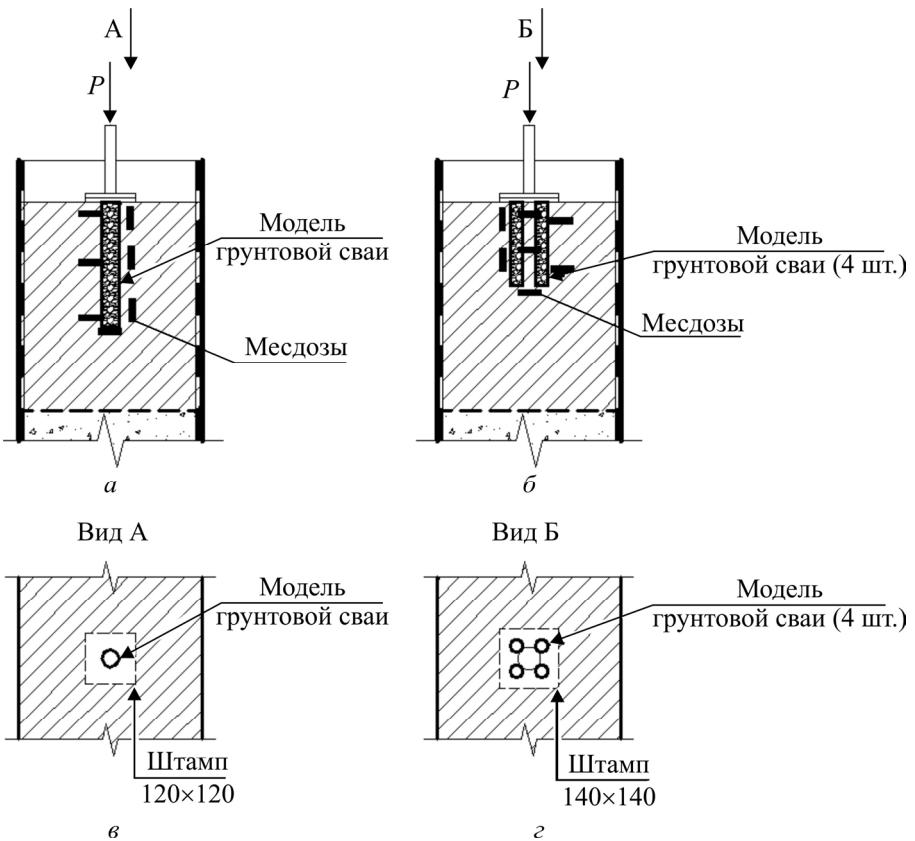


Рис. 10. Схемы планируемых экспериментов: *а* – моделирование фундамента на естественном основании, улучшенном одинарной сваей; *б* – моделирование фундамента на естественном основании, улучшенном группой свай

Изготовление месдоз выполнялось с использованием специальных корпусов, а также мембранны и тензорезисторов. Мембранны месдоз вырезались из бериллиевой бронзы. Тензорезисторы наклеивались на мембранны с использованием клея БФ-2 с термической обработкой. Тарировка месдоз осуществляется с использованием камеры прибора трехосного сжатия. В качестве регистрации показаний месдоз используется прибор ТЕРЕМ 4.1 ОАО «Интерприбор» с адаптером для регистрации тензометрических данных. Тензорезисторы в схеме подключаются по полумостовой схеме с термокомпенсацией, балансировка мостов осуществляется регулировочными реостатами адаптера. Общий вид составных частей месдозы, а также месдоза в собранном виде представлены на рис. 11. Общий вид системы фиксации показаний приведен на рис. 12.



Рис. 11. Общий вид составных частей месдозы, готовых к экспериментальным исследованиям



Рис. 12. Общий вид системы фиксации показаний месдоз Терем 4.1

Эксперимент планируется как простой однофакторный, в котором изменяемыми входными данными будет вертикальная нагрузка, прикладываемая к штампу; при этом в процессе эксперимента будут фиксироваться вертикальные перемещения штампа и напряжения в грунтовом основании. Математическое описание экспериментов принимается на основе существующей аналитической методики расчета грунтовых свай, разработанной Н. Kempfert и представленной в немецких нормах проектирования EBGEO [3]. Общий вид данной расчетной схемы представлен на рис. 13 [3].

В данной модели рассматривается равновесие всех действующих в системе сил. При этом сумма горизонтальных напряжений вблизи

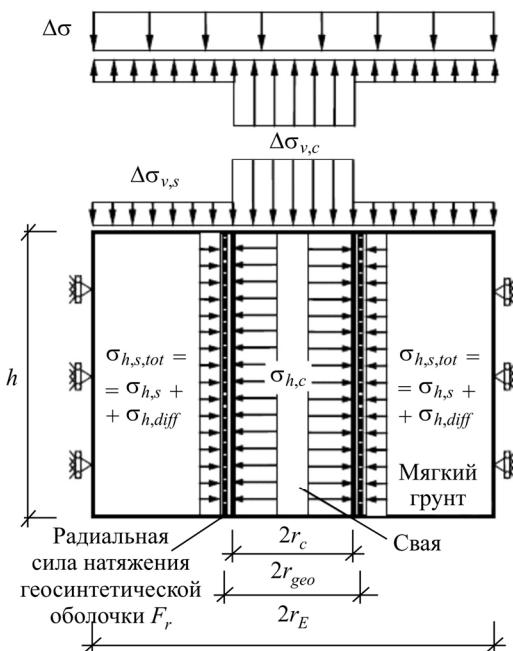


Рис. 13. Аналитическая модель системы свай в оболочке из геосинтетических материалов

оболочки вызывает разницу напряжений, которая воздействует на слабый грунт и приводит к горизонтальной деформации, действующей до момента мобилизации соответствующего пассивного давления грунта для приведения горизонтальных напряжений в равновесие. Разница напряжений вызывает боковое расширение сваи.

Выводы

Планируемые эксперименты позволят изучить напряженно-деформированное состояние грунтового основания и обозначить границы применимости существующего метода расчета либо модифицировать его для использования в целях строительства фундаментов зданий и сооружений. Новизна данных экспериментов будет заключаться в использовании для моделирования глинистого грунта, а также устройства свай по «висячей» схеме. Результаты планируемых исследований могут быть сопоставлены с численным моделированием этих же условий в различных программных комплексах, основанных на методе конечных элементов, что позволит найти наиболее точные приемы и методы моделирования данной технологии улучшения грунтов.

Библиографический список

1. Пономарев А.Б., Кислов С.М. Исследование несущей способности грунтовой колонны в оболочке из геосинтетической решетки // Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Архангельск, 2003. – С. 131–133.
2. Пономарев А.Б., Пауль А. О некоторых теоретических подходах к расчету свай из щебня в георешетке // Сборник научных трудов междунар. конф. по механике грунтов. – Пермь, 2004. – С. 248–256.
3. Kempfert H., Gebreselassie B. Excavations and Foundations in Soft Soil. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 591 р.
4. Gniel J., Bouazza A. Improvement of soft soils using geogrid encased stone columns // Geotextiles and Geomembranes. – 2009. – №. 27. – Р. 167–175.
5. Geogrid wrapped vibro stone columns / U. Trunk, G. Heerten, A. Paul, E. Reuter // Materials of Eurogeo 3rd conference. – 2004. – P. 289–294.
6. Paul A., Ponomarev A. The bearing behavior of geogrid reinforced, crushed stone columns in comparison to non-reinforced concrete pile foundations // Proceedings of the Eurogeo 3. – Munich, 2004. – Vol. II. – P. 285–289.
7. Castro J., Sagaseta C. Deformation and consolidation around encased stone columns // Geotextiles and Geomembranes. – 2011. – №. 29. – Р. 268–276.
8. Alexiew D., Raithel M., Kuster V. 15 years of experience with geotextile encased granular columns as foundation system // ISSMGE – TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI, Brussels 31 May – 1 June. – Brussels, 2012. – IV3–IV20.
9. Gniel J., Bouazza A. Construction of geogrid encased stone columns: A new proposal based on laboratory testing // Geotextiles and Geomembranes. – 2010. – № 28. – P. 108–118.
10. Raithel M., Alexiew D., Kuster V. Loading test on a group of geotextile encased columns and analysis of the bearing and deformation behaviour and global stability // Proceedings of the International Conference on Ground Improvement and Ground Control. – Wolongong, 2012. – Р. 703–708.
11. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Полунатурные экспериментальные исследования грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 1. – С. 54–60.

12. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Подбор геосинтетической оболочки для грунтовых свай и эффективность их применения в геологических условиях г. Перми // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 1 (36). – С. 82–89.
13. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов в геологических условиях г. Перми для возведения фундаментов зданий и сооружений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. –2012. – № 2. – С. 28–36.
14. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Эффективность применения грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов в геологических условиях г. Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 89–94.
15. Огаркова М.М., Шенкман Р.И. Применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов в геологических условиях города Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 1. – С. 187–199. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.1.16>

References

1. Ponomarev A.B., Kislov S.M. Issledovanie nesushchei sposobnosti gruntovoi kolonny v obolochke iz geosinteticheskoi reshetki [A study of bearing capacity of soil column in the shell of geosynthetic grid]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Arkhangelsk, 2003. pp. 131-133.
2. Ponomarev A.B., Paul A. O nekotorykh teoreticheskikh podkhodakh k rashchetu svai iz shhebniia v georeshetke [Some of the theoretical approaches to the calculation of the piles of rubble in the geogrid]. *Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoi konferentsii po mekhanike gruntov*. Perm, 2004, pp. 248-256.
3. Kempfert H., Gebreselassie B. Excavations and Foundations in Soft Soil. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 591 p.
4. Gniel J., Bouazza A. Improvement of soft soils using geogrid encased stone columns. *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, no. 27, pp. 167-175.
5. Trunk U., Heerten G., Paul A., Reuter E. Geogrid wrapped vibro stone columns. *Materials of Eurogeo 3rd conference*, 2004, pp. 289-294.

6. Paul A., Ponomarev A. The bearing behavior of geogrid reinforced, crushed stone columns in comparison to non-reinforced concrete pile foundations. *Proceedings of the Eurogeo 3.* Munich, 2004, vol. II, pp. 285-289.
7. Castro J., Sagaseta C. Deformation and consolidation around encased stone columns. *Geotextiles and Geomembranes*, 2011, no. 29, pp. 268-276.
8. Alexiew D., Raithel M., Kuster V. 15 years of experience with geotextile encased granular columns as foundation system. *ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI.* Brussels, 2012. IV3-IV20.
9. Gniel J., Bouazza A. Construction of geogrid encased stone columns: A new proposal based on laboratory testing. *Geotextiles and Geomembranes*, 2010, no. 28, pp. 108-118.
10. Raithel M., Alexiew D., Kuster V. Loading test on a group of geotextile encased columns and analysis of the bearing and deformation behaviour and global stability. *Proceedings of the International Conference on Ground Improvement and Ground Control.* Wolongong, 2012, pp. 703-708.
11. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Polunatural'nye eksperimental'nye issledovaniia gruntovykh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov [Semi-natural pilot investigations of soil piles in geosynthetic casing]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2014, no. 1, pp. 54-60.
12. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Podbor geosinteticheskoi obolochki dlia gruntovykh svai i effektivnost' ikh primeneniia v geologicheskikh usloviakh goroda Permi [Selection of geosynthetic casing for soil piles and their effectiveness in application in the geological conditions of Perm]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2013, no. 1 (36), pp. 82-89.
13. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Primeneniie gruntovykh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov v geologicheskikh usloviyakh goroda Permi dlia vozvedeniia fundamentov zdaniii i sooruzhenii [Soil piles in the shell of geosynthetic materials in geological conditions in Perm for the construction of foundations of buildings and structures]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 2, pp. 28-36.
14. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Effektivnost' primeneniia gruntovykh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov v geologicheskikh usloviakh goroda Permi [The effectiveness of application of geosynthetic encased piles in geological conditions of Perm]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2011, no. 1, pp. 82-89.

15. Ogarkova M.M., Shenkman R.I. Primenenie gruntovykh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov v geologicheskikh usloviakh goroda Permi [Application of geosynthetic encased piles in geological conditions of Perm]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 1, pp. 187-199. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.1.16>.

Получено 26.01.2015

Сведения об авторах

Шенкман Роман Игоревич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).

About the authors

Roman I. Shenkman (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: spstf@pstu.ru).

Andrei B. Ponomarev (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komso-molsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).