

УДК 624.154.51

М.М. Огаркова, Р.И. Шенкман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ГРУНТОВЫХ СВАЙ В ОБОЛОЧКЕ ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ГОРОДА ПЕРМИ

Одной из самых главных проблем современной геотехники является усиление слабых грунтов. Слабые грунты подвержены деформациям, поэтому строительство на основаниях, сложенных такими грунтами, без соответствующей их подготовки может привести к неблагоприятным последствиям, таким как неравномерная или слишком большая осадка фундамента, и, как следствие, разрушению конструкции. Целью данной статьи является обзор одного из способов улучшения оснований, сложенных слабыми грунтами, – применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов. Данный способ усиления грунта широко применяется за границей, но является слабо изученным и сложно применимым в рамках жесткой и устаревшей нормативной базы России. Для его успешного применения на практике требуется проведение дополнительных инженерных изысканий. В статье приводятся общие сведения о системе свай в оболочке из геосинтетических материалов, рассматривается проблема эффективности применения таких свай в геологических условиях города Перми в рамках существующей нормативной литературы. Представлен обзор некоторых исследований, связанных с эффективностью применения системы грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов за рубежом, краткое описание экспериментов и их результатов. Кратко приводится способ расчета конструкции сваи в оболочке из геосинтетического материала. Научная новизна данной работы заключается в исследовании возможности и результативности применения системы таких свай в условиях слабых грунтов в городе Перми. Обоснована актуальность выбранной темы, описаны недостатки существующих методов расчета оснований, улучшенных грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетического материала. На основании этого сформулированы основные цели для дальнейших исследований научной работы.

Ключевые слова: грунтовые сваи, геосинтетическая оболочка, слабые грунты, осадка, напряжения, растягивающие усилия, лабораторные испытания.

Введение

Геологические условия г. Перми достаточно сложные. Здесь широкое распространение имеют водонасыщенные глинистые грунты. Типовое слабое основание на территории г. Перми представлено суглинком текучепластичной консистенции, подстилаемым гравийным грунтом. Осредненная толщина суглинков, которые можно охарактеризовать как слабые, составляет 8 м, гравийного грунта – 2 м. Ниже гравийного грунта залегают грунты верхнепермского возраста: аргиллит трещиноватый с прослойками алевролита. Экономика края не стоит на месте, поэтому возникает необходимость в освоении и использовании слабых оснований, в том числе и для строительства зданий и сооружений. Конструкции, построенные на слабых основаниях, могут

испытывать такие проблемы, как чрезмерная осадка и неустойчивость грунтового основания. Поэтому строительство на слабых грунтах с низкими прочностными характеристиками невозможно без проведения специальных мероприятий по их улучшению.

Одним из способов улучшения оснований является применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов [1–4]. В его основе лежит уменьшение нагрузки на слабые грунты без существенного изменения их структуры. Геосинтетическая оболочка в сочетании с окружающими слабыми грунтами обеспечивает радиальную поддержку свай, принимая на себя кольцевые растягивающие усилия. Благодаря поддержке оболочки такие сваи могут применяться для очень слабых грунтов. Сваи могут быть заполнены гранулированным материалом (гравий, песок, щебень, дробленый гравий и т.д.). В качестве оболочки применяются геоткани, треугольные или прямоугольные георешетки или геокомпозиты. Обертывание свай производится с помощью специальных технологий (круговое плетение, сшивание, склеивание, сварка и др.). Выбор той или иной технологии зависит от диаметра свай, метода установки и применения данных конструкций. Увеличение диаметра свай в оболочке из геосинтетических материалов под нагрузкой приводит к деформациям и периферическим усилиям натяжения. Величина этих усилий определяется поведением геосинтетического материала и пропорциональна горизонтальным и радиальным деформациям свай. Эффективность данной системы (уменьшение осадки и увеличение общей устойчивости) и эффект разгрузки в мягких слоях грунта повышаются с увеличением соотношения площадей свай к неулучшенному грунту, осевой жесткости свай, прочности ее заполнителя и жесткости геосинтетической оболочки.

На практике применяются два способа установки свай: метод выемки грунта (рис. 1) и метод виброзамещения (рис. 2).

При методе выемки грунта открытая металлическая труба погружается в несущий слой, и его содержимое удаляется с помощью шнека. При методе виброзамещения стальная труба с двумя основными заслонками, вибрируя, погружается в несущий слой, вытесняя мягкий грунт. После извлечения трубы под действием вибрации в сваю в оболочке из геосинтетического материала помещается заполнитель. Метод выемки грунта рекомендуется применять для грунтов с высоким сопротивлением внедрению или при условии минимизации вибрационного эффекта на близлежащие здания и сооружения. преимуще-

ствами метода виброзамещения являются более быстрая и более экономичная установка свай и эффект дополнительного уплотнения межсвайного пространства [5].



Рис. 1. Установка сваи методом выемки грунта



Рис. 2. Установка сваи методом виброзамещения

Обзор последних источников исследований и публикаций

Существует значительное количество публикаций и исследований, подтверждающих эффективность грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов (M. Raithel, U. Trunk, H. Kempfert, M.S.S. Almeida, A. Paul и др.).

Результаты данных исследований доказали, что применение таких свай существенно снижает осадку основания, а также повышает экономическую эффективность строительства фундаментов.

U. Trunk в своих исследованиях испытывал на прочность сваи с оболочке из геосинтетической решетки Secugrid с различными минеральными наполнителями (песчано-гравийная смесь, щебень, уплотненная песчано-гравийная смесь и уплотненный щебень). Георешетка в форме сваи устанавливалась на металлическую плиту, играющую роль опорной поверхности, под которую помещался связный грунт или жесткая консистенция. Потом в георешетку помещали наполнитель. Чтобы не допустить его высыпания, внутрь георешетки помещали волокнистое полотно Secutex (рис. 3).

На верхушку сваи устанавливалась круглая металлическая пластина, к которой статически ступенями прикладывалась нагрузка (рис. 4).



Рис. 3. Общий вид модели



Рис. 4. Вид верхней части установки

В результате эксперимента наиболее прочными оказались сваи, заполненные уплотненным щебнем. Они выдержали максимальную приложенную нагрузку 400 кН [6].

Joel Gniel провел испытания модели свай в оболочке из геосинтетических материалов в лабораторных условиях с помощью одометра (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид экспериментальной установки

При создании модели особое внимание уделялось таким показателям, как соотношение диаметра и длины свай, диаметра сваи и размера элементарной ячейки рассматриваемого грунта, диаметра сваи и расстояния между ячейками георешетки к общему размеру модели. Основной целью исследования являлось изучение работы групп свай и установление возможности достижения функциональности при обертыивании геосинтетическим материалом лишь верхней части свай. В качестве грунта использовалась однородная глина, в качестве заполнителя свай – песок. Глина помещалась внутрь цилиндра высотой 550 мм и диаметров 155 мм. Цилиндр устанавливался на опорную плиту, включающую пористый камень и дренажный канал. Нагрузка на модель передавалась с использованием пневматического поршня. Действие происходило в два этапа. На первом этапе осуществлялась подача давления воздуха в верхнюю камеру, заставляя поршень опускаться вниз и консолидировать глину до очень мягкой консистенции. После разгрузки и установки свай свая и окружающая глина были вновь загружены с использованием поршня, тем самым создавались условия «элементарной ячейки» (рис. 6).

Нагрузочные тесты проводились для свай без оболочки и для свай, обернутых стекловолокном на 25, 50, 75 и 100 % своей длины. Результаты показали, что при использовании оболочки из геосинтети-

ческого материала нагрузки на основания частично переходят в нагрузки на оболочку, тем самым снижая нагрузку на сваю. Кроме того, снижается радиальная деформация сваи. Уменьшение вертикальных и радиальных деформаций тем существеннее, чем длиннее оболочка [7].

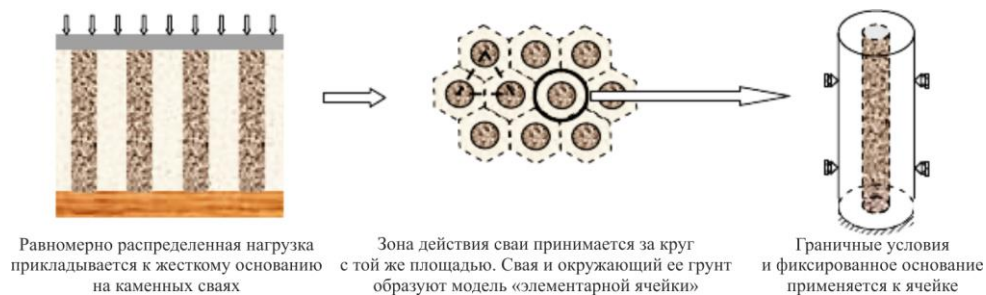


Рис. 6. Модель «элементарной ячейки»

M.S.S. Almeida представил в своей статье численную оценку по методу конечных элементов с учетом симметричной относительно оси модели и использованием концепции элементарной ячейки свай в оболочке из геосинтетических материалов. Численный анализ выполнялся для долгосрочных условий с целью оценить влияние нагрузки на осадку основания, распределение напряжений в сваях и межсвайном пространстве, а также усилия в геосинтетическом материале. Вначале принятая модель проверялась аналитически, а затем численная модель и аналитическое решение путем изменения некоторых параметров сравнивались для исследования изменения нагрузок и осадки в обоих методах. В численной модели, используемой в данном исследовании, ось симметрии совпадает с центром сваи, горизонтальные смещения ограничены по оси сваи, а также в поперечном направлении (рис. 7, а). На рис. 7, б представлены граничные условия и основные используемые материалы: свая, мягкий грунт и геосинтетическая оболочка.

Основание сваи опирается на жесткий слой: горизонтальная и вертикальная устойчивость используется в нижней части сваи. Элементарная ячейка системы свай в оболочке из геосинтетического материала диаметром 2 м в слоях мягкой глины с различной толщиной нагружалась 6-метровой насыпью. Толщина грунта варьировалась от 5 до 20 м, а жесткость геосинтетического материала в пределах 0–4000 кН/м. Результаты аналитического метода и метода конечных элементов получились различными по ряду факторов. Результаты показали, что для сваи

без оболочки из геосинтетического материала распределение напряжений не зависит от толщины слабого слоя грунта, тогда как для сваи в геосинтетической оболочке напряжения в свае повышаются с увеличением жесткости оболочки и снижаются в толще слабого грунта [8].

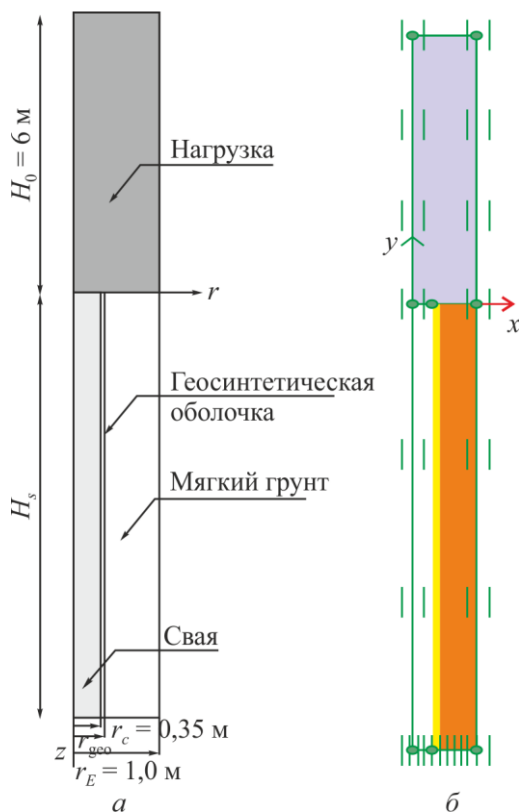


Рис. 7. Симметричная относительно оси модель метода конечного элемента сваи в оболочке из геосинтетического материала в концепции элементарной ячейки: а – схема, принятая в численном анализе; б – граничные условия и сетка метода конечного элемента

Рассмотрим подробно способ расчета конструкции свай в оболочке из геосинтетического материала, представленный в зарубежной нормативной литературе [9]. Расчетная схема по данному методу представлена на рис. 8.

Данная аналитическая модель симметрична относительно оси и выполнена в соответствии с «концепцией элементарной ячейки», при использовании которой элементарная ячейка грунта вырезается из

улучшенного основания и рассматривается независимо от остального массива.

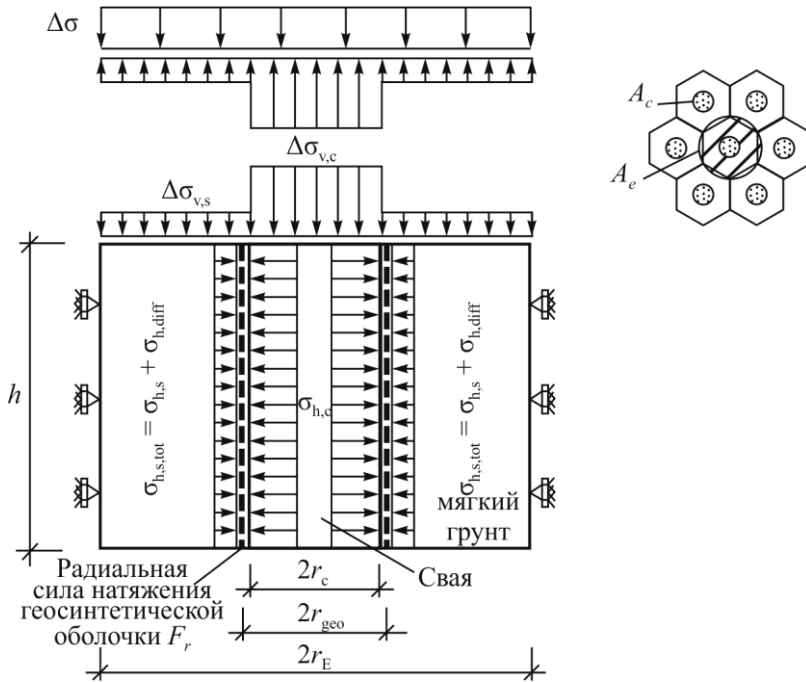


Рис. 8. Аналитическая модель конструкции и анализа системы свай в оболочке из геосинтетических материалов [10]

Помимо граничных условий, в полученной аналитической модели рассматриваются следующие предположения:

- равномерная осадка сваи в слабом грунте;
- незначительная осадка несущего слоя под основанием сваи;
- внутри сваи принимается коэффициент активного давления

$$\text{грунта } K_{a,c} = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right);$$

– давление грунта в состоянии покоя ($K_3 = K_{0,3} = 1 - \sin \varphi$) принимается при условии, что в качестве метода установки используется метод замещения, а при использовании метода вытеснения используется увеличенный коэффициент давления грунта $K_3 = K_{0,3}$, связанный с дополнительным уплотнением межсвайного пространства;

- линейно-пластичное поведение геосинтетической оболочки;
- для анализа и конструкции основания решающим является дренированное (конечное) состояние, так как оно дает максимальную

осадку и радиальные растягивающие напряжения в геосинтетической оболочке.

В представленной модели рассматривается равновесие всех действующих в данной системе сил. При этом сумма горизонтальных напряжений непосредственно вблизи оболочки вызывает разницу напряжений $\Delta\sigma_{h,diff}$, которая воздействует на мягкий грунт и приводит к горизонтальной деформации, действующей до тех пор, пока соответствующее дополнительное давление грунта не мобилизуется (частичная мобилизация пассивного давления грунта) в мягких слоях грунта для приведения горизонтальных напряжений в равновесие. Разница напряжений приводит к боковому расширению свай. Эта горизонтальная деформация Δr_c и осадка мягкого слоя грунта S_3 могут быть вычислены с использованием уравнений для радиально и продольно нагруженного полого цилиндра, полученных Ghionna и Jamiolkowski. С учетом данного положения и при условии постоянного объема материала сваи может быть сформулировано соотношение между вертикальной осадкой и боковым расширением свай, которые возможно решить итерационно с использованием компьютерных программ.

Актуальность применения на территории Пермского края и направления дальнейших исследований

Применение грунтовых свай в основном связано с возведением насыпей на слабых основаниях. В нашем случае интересно рассмотреть применение таких свай для возведения фундаментов промышленных и гражданских зданий.

Поскольку на грунтовые сваи предполагается передача больших нагрузок от конструкций, важное значение имеет выбор геосинтетического материала. Грунтовая свая является деформируемой системой, ее жесткость обеспечивается геосинтетическим материалом. Наиболее эффективной является установка таких свай по схеме свай-стойки с опиранием на малосжимаемые несущие грунты, что подходит для геологических условий г. Перми: осредненная толщина слабого слоя грунтов здесь 10 м.

Существующие методы расчета оснований, улучшенных грунтовыми сваями, очень сложны для применения в инженерной практике и имеют в своем основании огромное количество допущений, не позволяющих получить точные результаты при проектировании. В то же время

все они имеют относительно большие различия как между собой, так и с результатами численных и натурных экспериментов. Единственным возможным эффективным вариантом проведения расчетов данных типов оснований является использование методов конечных элементов и специальных геотехнических комплексов типа PLAXIS, MIDASGTS и т.д., поскольку только они позволяют вести проектирование с учетом многочисленных факторов, действующих на слабое водонасыщенное основание (консолидация грунта, фильтрационные процессы, ползучесть и т.д.). Но использование метода конечных элементов требует грамотной постановки решаемой задачи, а также формулирования граничных условий данных задач и формирования адекватной численной модели. Для решения данных проблем предлагается произвести лабораторные исследования моделей улучшенного слабого водонасыщенного глинистого основания в приборах трехосного сжатия с целью более точного определения напряженно-деформированного состояния улучшенного грунтового массива и возможного определения характеристик более сложных моделей грунтов, применяемых в современных компьютерных программах. Это, возможно, позволит облегчить процесс проектирования и, соответственно, использования грунтовых свай в геосинтетической оболочке в строительной практике.

Таким образом, можно сформулировать основные цели для дальнейших исследований по данной методике следующим образом:

1. Упрощение существующих методов расчета для применения их в инженерной и строительной практике.
2. Адаптация существующих методов расчета к применению грунтовых свай в геосинтетической оболочке для строительства фундаментов зданий и сооружений.
3. Определение адекватных численных моделей улучшенного грунтового основания для использования в компьютерном моделировании.
4. Более тщательное изучение напряженно-деформированного состояния грунтовых свай в геосинтетической оболочке.

Библиографический список

1. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов в геологических условиях города Перми для возведения фундаментов зданий и сооружений // Вестник Перм. нац. исслед. политех. ун-та. Урбанистика. – 2012. – № 2 (6). – С. 28–36.

2. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б. Экспериментальные исследования армированных оснований при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2. – С. 91–94.

3. Пономарев А.Б., Золотозубов Д.Г. Влияние глубины заложения армирующего материала на несущую способность основания при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2 (23). – С. 100–104.

4. Пономарев А.Б., Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Определение линейной жесткости геосинтетических материалов [Электронный ресурс] // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2013. – Вып. 2(27). – URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2(27).pdf).

5. Foundation of Constructions on Very Soft Soils with Geotextile Encased Columns / M. Raithel, A. Kirchner, C. Schade, E. Leusink // State of Art. Innovations in Grouting and Soil Improvement. – P. 1–11.

6. Geogrid wrapped vibro stone columns / U.Trunk, G. Heerten, A. Paul, E. Reuter // Materials of eurogeo 3 conference, 2004. – P. 289–294.

7. J.Gniel. Model tests on geogrid encased stone columns / J.Gniel, A. Bouazza // Materials of eurogeo 4 conference. – 2008. – Paper №150. – P. 1–8.

8. M.S.S. Almeida, Hosseinpour I., Riccio M. Performance of a geosynthetic-encased column (GEC) in soft ground: numerical and analytical studies // Geosynthetics International. – 2013. – №. 4. – P. 252–262.

9. Kempfert H., Gebreselassie B. Excavations and Foundations in Soft Soil. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 591 p.

10. Raithel M., Kempfert H. Calculation models for dam foundations with geotextile coated sand columns // Proc. International conference on Geotechnical & Geological Engineering GeoEng. – Melbourne.

References

1. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. *Primenenie gruntovykh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov v geologicheskikh usloviyakh goroda Permi dlia vozvedeniia fundamentov zdaniy i sooruzhenii* [Application of soil stilts in a shell from geosynthetic materials in geological conditions of a city of Perm for erection of the bases of buildings and structures]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'stkogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 2 (6), pp. 28–36.

2. Zolotozubov D.G., Ponomarev A.B. Eksperimental'nye issledovaniia armi-rovannykh osnovanii pri provalakh grunta [Experimental researches of the reinforced bases at under fall in ground mass]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2009, no. 2, pp. 91–94.

3. Ponomarev A.B., Zolotozubov D.G. Vliianie glubiny zalozheniia armiruiushche-go materiala na nesushchuiu sposobnost' osnovaniia pri provalakh grunta [Influence of depth of a contour interval of a reinforcing material on a base capacity at under fall in ground mass]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2010, no. 2 (23), pp. 100–104.

4. Ponomarev A. B., Tat'iannikov D. A., Kleveko V. I. Opredelenie lineinoi zhestkosti geosinteticheskikh materialov [Definition of linear stiffness of geosynthetic materials]. *Internet-vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Politematicheskaya*. 2013, no. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2(27).pdf).

6. Raithel M., Kirchner A., Schade C., Leusink E. Foundation of Constructions on Very Soft Soils with Geotextile Encased Columns. *State of Art. Innovations in Grouting and Soil Improvement*, pp. 1–11.

7. Trunk U., Heerten G., Paul A., Reuter E. Geogrid wrapped vibro stone columns. *Materials of Eurogeo 3 conference*, 2004, pp. 289–294.

8. Gniel J., Bouazza A. Model tests on geogrid encased stone columns. *Materials of Eurogeo 4 conference*, 2008, no. 150, pp. 1–8.

9. Almeida M.S.S., Hosseinpour I., Riccio M. Performance of a geosynthetic-encased column (GEC) in soft ground: numerical and analytical studies. *Geosynthetics International*, 2013, no. 4, pp. 252–262.

10. Kempfert H., Gebreselassie B. Excavations and Foundations in Soft Soil. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, 591 p.

10. Raithel M., Kempfert H.. Calculation models for dam foundations with geotextile coated sand columns. *Proc. International conference on Geotechnical & Geological Engineering GeoEng*. Melbourne, 2000.

M.M. Ogarkova, R.I. Shenkman

**APPLICATION OF GEOSYNTHETIC ENCASED PILES
IN GEOLOGICAL CONDITIONS OF PERM**

Amplification of soft soils is one of the main problems of modern geotechnics. Soft soils are subjected to deformations; therefore construction on foundations consisting of such soils can lead to adverse consequences such as differential or too big foundation settlement and, hence, to structural failure. The purpose of this paper is to overview one of the ways of soft soils improving – using of geosynthetic encased piles. This way of ground reinforcement is widely used abroad, but poorly studied and difficult applicable within the rigid and outdated regulatory framework in Russia. For its successful application in practice further engineering researches are required. This paper provides general information about geosynthetic encased piles system. The problem of the applying of geotextile encased columns in the geological conditions of Perm region in the framework of the existing normative literature is considered. There is an overview of several studies related to the effectiveness of using of geosynthetic encased piles abroad, brief describing of analytical calculation approach of geosynthetic encased piles design. Scientific novelty of this paper work is in possibility and effectiveness of application of such piles in soft soil conditions in the city of Perm. In this paper the relevance of the chosen theme is established; disadvantages of existing calculation methods of foundations improved with geosynthetic encased piles are described. On this basis, the main purposes for further research scientific work are formulated.

Keywords: soil piles, geosynthetic cover, soft soils, settlement, stresses, tensile forces, laboratory tests.

Сведения об авторах

Огаркова Мария Михайловна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

Шенкман Роман Игоревич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

About the authors

Ogarkova Mariya Mikhailovna – Graduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Shenkman Roman Igorevich (Perm, Russia) – Postgraduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Получено 25.12.2013