DOI: 10.15593/2224-9826/2015.2.07

УДК 624.154.51

М.М. Огаркова, Р.И. Шенкман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАМЕНЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА НА ОСНОВАНИЕ, УЛУЧШЕННОЕ АРМИРОВАННЫМИ ГРУНТОВЫМИ СВАЯМИ

Усиление слабых грунтов является одной из самых главных проблем современной геотехники. Основания, сложенные слабыми грунтами, подвержены деформациям, поэтому для строительства здесь необходимы предварительная подготовка территории, проведение мероприятий по ее улучшению. В обратном случае может возникнуть ряд неблагоприятных последствий, таких как неравномерная или чрезмерная осадка фундамента и в дальнейшем разрушение конструкций. Одним из современных способов улучшения оснований является применение технологии грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов. Данная технология широко применяется за рубежом, но слабо изучена и практически не распространена на территории России. Отчасти это объясняется жесткой и устаревшей нормативной базой страны. Применение данного способа усиления слабых оснований под строительство зданий и сооружений требует дальнейшего тщательного изучения. В данной статье рассматривается возможность применения грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов для усиления слабого основания под существующее производственное здание, расположенное в Пермском крае. Типовое основание здесь представлено водонасыщенными глинистыми грунтами, подстилаемыми породами верхнепермского возраста. В соответствии с требованиями СНиПов произведен расчет осадки проектного свайного фундамента, конструирование и расчет осадки фундамента мелкого заложения, с помощью программы PLAXIS 3D выполнен расчет осадки фундамента на основании, усиленном грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетических материалов. Представлены результаты технико-экономического сравнения трех вариантов фундамента и сделан вывод о возможности использования технологии грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов для усиления слабого основания под строительство здания.

Ключевые слова: слабые грунты, грунтовые сваи, осадка, геосинтетическая оболочка, производственное здание, фундамент, PLAXIS 3D, технико-экономическое обоснование, расчет, нагрузка.

M.M. Ogarkova, R.I. Shenkman

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

ENGINEERING PROPOSALS ON THE REPLACEMENT OF CONCRETE PILE FOUNDATION FOR GEOSYNTHETIC ENCASED COLUMNS BASE

Amplification of soft soils is one of the main problems of modern Geotechnics. Soft soils foundations are subjected to deformations; therefore construction activities here require advance territory preparations and its improvement activities. Otherwise, it may be a number of adverse effects, such as

uneven or excessive foundation settlement and further structure destructions. One of the modern soft soils improving ways is using of geosynthetic encased columns. This technology is widely used abroad, but poorly studied and slightly common in Russia. In some measure it is explained by rigid and outdated country regulatory framework. Application of this way of ground reinforcement for purposes of building construction requires further close investigation. This paper deals with the possibility of using geosynthetic encased piles to improve soft soil foundation under the existing process building located in Perm krai. Typical foundation here is presented by water-saturated clay soils and underlied upperpermian primary rocks. In accordance with the requirements of normative documents project pile foundation settlement and shallow foundation settlement are calculated, settlement of foundation improved with geosynthetic encased columns with using of PLAXIS 3D is determined. Results of techno-economic justification of these foundations is presented, conclusion of the possibility of using geosynthetic encased piles to improve soft soils foundation for the construction of the building is made.

Keywords: soft soils, soil piles, settlement, geosynthetic encasement, process building, single footing, PLAXIS 3D, techno-economic justification, calculations, loading.

Введение

Геология г. Перми отличается довольно сложными условиями. Здесь достаточно широко распространены водонасыщенные глинистые грунты. Строительство на территориях, представленных такими грунтами, невозможно без их предварительной подготовки. В настоящее время существует большое количество различных способов усиления оснований, и одним из таких способов является применение технологии грунтовых свай в оболочке из геосинтетического материала.

В основе данной технологии лежит уменьшение нагрузки на слабые грунты без существенного изменения их структуры. За счет восприятия геосинтетической оболочкой и окружающими грунтовую сваю слабыми грунтами кольцевых растягивающих усилий обеспечивается радиальная поддержка сваи. В качестве заполнителя для сваи может использоваться гранулированный материал (песок, щебень, гравий и пр.), в качестве материала оболочки – прямоугольные или треугольные георешетки, геоткани, геокомпозиты.

В настоящее время существует значительное количество исследований и публикаций, подтверждающих эффективность применения технологии грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов в качестве метода усиления слабых грунтов [1–10]. Применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетического материала позволяет значительно снизить осадку и повысить несущую способность слабых оснований, уменьшить возникающие в свае при ее нагрузке деформации, а также повысить экономическую эффективность строительства.

С целью изучения возможности применения данного способа усиления оснований для строительства зданий были разработаны технические решения по применению фундаментов на основании, улучшенном грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетического материала, для су-

существующего производственного здания на территории г. Перми. Каркас существующего здания выполнен из металлических конструкций: ферм, колонн, фахверковых стоек. Устойчивость каркаса обеспечивается поперечными рамами с шарнирными узлами крепления ферм к колоннам, жестким защемлением колонн в фундаменты и жестким диском покрытия. В продольном направлении устойчивость каркаса обеспечивается вертикальными связями по колоннам в середине каждого блока и распорками. Фермы покрытия пролетом $L = 24,0$ м, шаг ферм и колонн в продольном направлении 6,0 м. Жесткость блока покрытия обеспечивается прогонами по верхним поясам ферм с покрытием из профнастила, вертикальными связями между фермами в торцах зданий и в середине блока, а также распорками по нижним поясам ферм.

Слабое основание на месте строительства представлено суглинком и супесью, подстилаемыми грунтами верхнепермского возраста. Инженерно-геологический разрез по площадке строительства представлен на рис. 1.

Рис. 1. Геологические условия площадки строительства: ИГЭ-1 – суглинок тугопластичный с примесью органических веществ 7–8 % (aQ), мощность слоя 0,9–1,1 м; ИГЭ-2 – суглинок текучепластичный с примесью органических веществ 5–9 % (aQ), мощность слоя 2,7–4,8 м; ИГЭ-3 – супесь пластичная с примесью органических веществ 3–8 % (aQ), мощность слоя 0,4–2,5 м; ИГЭ-4 – супесь гравелистая пластичная (aQ), мощность слоя 0,6–3,3 м; ИГЭ-5 – суглинок полутвердый (eQ), мощность слоя 0,6–3,3 м; ИГЭ-6 – аргиллит очень низкой прочности, размягчаемый (P_1), мощность слоя 0,5–2,9 м; ИГЭ-7 – алевролит очень низкой прочности, размягчаемый (P_1), мощность слоя 0,4–2,2 м

Проектом для передачи нагрузки на основание предусмотрен железобетонный свайный фундамент. Сваи запроектированы сечением 300×300 мм по серии 1.011.1, глубина погружения свай – 8 м. В качестве основания для свайного фундамента принята супесь гравелистая пластичная (ИГЭ-4). Грунтовые воды находятся на отметке 1,1 м.

1. Вариантное проектирование фундаментов

Как уже было сказано выше, технология улучшения слабого глинистого основания грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетического материала является достаточно эффективной. При этом экономическая эффективность данной технологии для строительства зданий и сооружений достигается в определенных условиях:

- глубина заложения грунтов, способных воспринимать нагрузку, велика, при этом грунты, залегающие у поверхности, не могут выполнять функцию несущего основания для висячих свай ввиду их консолидации, т.е. необходимо использовать длинные висячие сваи (свай-стойки), опирающиеся на прочные грунты, даже для малонагруженных фундаментов;

- геометрические размеры фундамента мелкого заложения ввиду требований о давлении по подошве фундамента крайне велики.

Использование грунтовых свай позволяет снизить напряжения в слабом грунтовом массиве до допустимых величин, при этом размеры фундамента останутся в допустимых пределах.

При разработке технических решений было рассмотрено три варианта фундамента:

- проектное решение, реализованное на строительной площадке;
- фундамент мелкого заложения;
- фундамент на улучшенном основании.

Расчет осадки фундаментов был выполнен с использованием методики, представленной в действующей нормативной технической литературе – СНиП 2.02.01–83* «Основания зданий и сооружений». Геометрические размеры фундаментов выбирались исходя из конструктивных требований действующих норм. Осадка фундамента на улучшенном основании определялась с использованием программного комплекса Plaxis 3d, основанном на методе конечных элементов. Характеристики грунта основания принимались с учетом данных инженерно-геологических изысканий на площадке строительства. Грунт моделиро-

вался с использованием упругопластической модели Кулона – Мора. Фундамент здания моделировался как объемное тело с упругими характеристиками железобетона. Оболочка грунтовой сваи моделировалась элементом типа «пластина». Общий вид модели, выполненной в программном комплексе Plaxis, представлен на рис. 2.

Рис. 2. Общий вид модели основания, усиленного грунтовыми сваями в оболочке из геосинтетического материала, в программном комплексе PLAXIS 3D

Путем расчетов в программном комплексе PLAXIS 3D была подобрана грунтовая свая диаметром 600 мм, длиной 4,5 м и с жесткостью геосинтетической оболочки 200 кН/м. Геометрические размеры и параметры улучшения вычислены с учетом оптимизации данных параметров, рассмотренных в одной из предыдущих работ авторов. Шаг свай – 1 м. Глубина заложения сваи выбрана таким образом, чтобы жесткие элементы находились в пределах глубины сжимаемой толщи рассматриваемого фундамента. Также были учтены конструктивные особенности выполнения усиления, например, ширина рулонов геосинтетического материала 4,75 м. Для уменьшения стоимости выполнения работ проектирование сваи длиной более 4,75 м нежелательно ввиду необходимости соединения материала оболочки по длине. Поля распределения осадок фундамента по результатам численного моделирования представлены на рис. 3. В качестве материала обертывания принимался геосинтетический материал Secugrid 40/40 Q1 с характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики Secugrid 40/40 Q1

№ п/п	Параметры	Значение
1	Размер рулона, м	4,75*100
2	Прочность на разрыв в поперечном направлении, кН/м	$\geq 40/40$
3	Относительное удлинение при максимальном растягивающем усилии, %	$\leq 8/\leq 8$
4	Растягивающие усилия при 2 % удлинении md/cmd*, кН/м	16/16
5	Растягивающие усилия при 5 % удлинении md/cmd*, кН/м	32/32
6	Ширина пор, md $\times$ cmd*, мм·мм	32 $\times$ 32

* md – в продольном направлении; cmd – в поперечном направлении.

Рис. 3. Деформации основания ($\times 10^{-3}$ м)

Из расчетов видно, что осадка основания, улучшенного армированными геосинтетической оболочкой грунтовыми сваями, составляет 7 см.

Результаты вариантного проектирования фундаментов представлены в табл. 2.

по результатам численного моделирования, можно определить осадку фундамента на естественном основании при условии, что по его подошве будет действовать данное вычисленное среднее давление. Осадка фундамента в данном случае составит 3,3 см.

Поля распределения вертикальных напряжений в грунтовом массиве по результатам численного моделирования представлены на рис. 4.

Рис. 4. Распределение напряжений по подошве фундамента (кН/м^2)

Максимальные вертикальные напряжения в межсвайном пространстве составляют 120 кПа, в грунтовых сваях – 420 кПа. Поля распределения растягивающих усилий в геосинтетическом материале представлены на рис. 5. Максимальное значение растягивающего усилия 24 кН/м, при максимально допустимом для данного типа геосинтетика 40 кН/м.

Растягивающие напряжения в геосинтетической оболочке на отметке низа грунтовой сваи близки к нулю, что свидетельствует о предельной величине погружения свай, т.е. при дальнейшем увеличении длины свай геосинтетическая оболочка не будет включаться в работу.

Рис. 5. Растягивающие усилия в геосинтетическом материале

2. Техничко-экономическое сравнение

Для выполнения технико-экономического сравнения материалов был выполнен расчет локальных смет на выполнение строительно-монтажных работ по возведению фундаментов рассматриваемого здания. Сравнение стоимости работ, произведенное с помощью расчета смет по ТЕР в базисном уровне цен 2001 г., представлено ниже.

Проектный свайный фундамент	1 960 793 руб.
Фундамент мелкого заложения на естественном основании	4 026 127 руб.
Фундамент мелкого заложения на улучшенном основании	1 648 912 руб.

Можно сделать вывод о том, что применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетического материала дает экономическую выгоду 16 % по сравнению с применением свайного фундамента и 59 % по сравнению с фундаментом мелкого заложения. Вместе с тем это позволит выполнить фундамент, который будет удовлетворять действующим нормам проектирования.

Библиографический список

1. 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.
2. Geogrid wrapped vibro stone columns / U. Trunk, G. Heerten, A. Paul, E. Reuter // *Materials of Eurogeo 3 conference*. – 2004. – P. 289–294.
3. Gniel J., Bouazza A. Model tests on geogrid encased stone columns // *Materials of Eurogeo 4 conference*. – 2008. – Paper №150. – P. 1–8.
4. Almeida M.S.S., Hosseinpour I., Riccio M. Performance of Geosynthetic-encased column (GEC) in soft ground: numerical and analytical studies // *Geosynthetics international* 20. – 2013. – № 4. – P. 252–262.
5. Kempfert H.G., Gebreselassie B. Excavations and foundations in soft soils. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 591 p.
6. Raithel M., Kempfert H. Calculation models for dam foundations with geotextile coated sand columns // *Proc. International conference on Geotechnical & Geological Engineering GeoEng. Melbourne*.
7. 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. – С. 82–89.
8. 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*. – 2012. – С. 89–94.
9. Paul A., Ponomaryov A. The bearing behavior of geogrid reinforced, crushed stone columns in comparison to nonreinforced concrete pile foundations // *Proceedings of the Eurogeo 3*. – Munich, 2004. – Vol. II. – P. 285–289.
10. 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.

References

1. 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.

2. Trunk U., Heerten G., Paul A., Reuter E. Geogrid wrapped vibro stone columns. *Materials of Eurogeo 3 conference*, 2004, pp. 289-294.
3. Gniel J., Bouazza A. Model tests on geogrid encased stone columns. *Materials of Eurogeo 4 conference*, 2008, paper № 150, pp. 1-8.
4. Almeida M.S.S., Hosseinpour I., Riccio M. Performance of Geosynthetic-encased column (GEC) in soft ground: numerical and analytical studies. *Geosynthetics international* 20, 2013, no. 4, pp. 252-262.
5. Kempfert H.G., Gebreselassie B. Excavations and foundations in soft soils. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 591 p.
6. Raithel M., Kempfert H. Calculation models for dam foundations with geotextile coated sand columns. *Proc. International conference on Geotechnical & Geological Engineering GeoEng*. Melbourne,
7. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Podbor geosinteticheskoi obolochki dlia gruntovyikh svai i effektivnost' ikh primeneniia v geologicheskikh usloviyakh goroda Permi []. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2013, no. 1, pp. 82-89.
8. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Effektivnost' primeneniia gruntovyikh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov v geologicheskikh usloviyakh goroda Permi []. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, pp. 89-94.
9. Paul A., Ponomaryov A. The bearing behavior of geogrid reinforced, crushed stone columns in comparison to nonreinforced concrete pile foundations. *Proceedings of the Eurogeo 3*. Munich, 2004, vol. II, pp. 285-289.
10. 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.

Получено 10.04.2015

Об авторах

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

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).

About the authors

Mariia M. Ogarkova (Perm, Russian Federation) – Master student, Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: spstf@pstu.ru).

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).