DOI: 10.15593/2224-9826/2015.2.05

УДК 624.15

Я.А. Пронозин¹, М.А. Степанов¹, Д.В. Волосюк²

¹Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
Тюмень, Россия

²Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир, Россия

ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОН ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОПРЕССОВАННОГО ГРУНТА ОСНОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЛЕНТОЧНЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Рассмотрено взаимодействие крупномасштабной модели комбинированного ленточного свайного фундамента с предварительно опрессованным глинистым грунтовым основанием в полевых условиях. Предварительная опрессовка грунтового основания позволяет существенно улучшить физико-механические свойства грунтов в пролетной части, уменьшить их сжимаемость в активном слое, создать дополнительное обжатие боковым давлением свай, что приводит к увеличению их несущей способности и, соответственно, уменьшению количества. При действии начальных ступеней эксплуатационной нагрузки предварительно опрессованное грунтовое основание в активном слое работает в соответствии с модулем разгрузки E_e .

Натурные исследования выполнялись на экспериментальной площадке, расположенной на надпойменной террасе р. Тура. Абсолютные отметки поверхности 76,40–77,00 м. Рельеф площадки спокойный. В геологическом строении изучаемого разреза площадки принимали участие отложения верхнечетвертичного и современного возраста, представленные суглинками различного генезиса, состава, состояния и насыпной грунт мощностью 0,75 м, состоящий из суглинка, песка и строительного мусора. Уровень грунтовых вод был зафиксирован на глубине 2,6 м от поверхности земли. Воды безнапорные и приурочены к прослоям песка в суглинистой толще. Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Отбор проб грунта производился под центром исследуемого фундамента, глубина отбора проб – 0,25; 0,7; 1,15; 1,6; 2,05; 2,5; 2,95 м.

В статье представлены результаты изменения физических и механических характеристик грунтового основания до опрессовки и после произведенного нагружения. Отмечено существенное улучшение строительных свойств грунта в пролетной части фундамента.

Ключевые слова: комбинированный фундамент, ленточный фундамент, свая, крупномасштабная модель, опрессовка, грунтовое основание, экспериментальные исследования, физические характеристики, механические характеристики.

Ia.A. Pronozin¹, M.A. Stepanov¹, D.V. Volosiuk²

¹Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering,
Tyumen, Russian Federation

²Vladimir State University named after Alexandr and Nikolay Stoletovs,
Vladimir, Russian Federation

PRE-PRESSING SOIL PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES ESTIMATE OF COMBINED STRIP PILES FOUNDATIONS GROUND BASE

The article discusses the interaction between large-scale model of combined strip pile foundations with pre-pressed loam ground base in field condition. The ground base pre-pressing improves physical-mechanical soil properties between pile strips, decreases soil compressibility effect in active zone and makes additional lateral pressure on the piles. It increases pile bearing capacity and consequently scales back the number of piles. And on the primary stage of operation load, pre-pressed active zone soil works in according with unloading modulus E_u .

The in situ testing site situates on the Tura river upland fringe. Absolute height is 76,40–77,00m. The surface relief is naked. In terms of geological aspects, the testing site consists of Upper Quaternary and recent deposits. It were loam with different genesis, structure, conditions and 0,75 m of man-made ground consisting of loam, sand and construction waste. A Groundwater level is on the 2,6 m below the surface. The ground water is non-artesian and coordinates with sand layer into loam soil. Inflow seepage is made by atmospheric condensation.

Soil samples were from the 0,25; 0,7; 1,15; 1,6; 2,05; 2,5; 2,95 m depth under the centre of experimental foundation. The article presents the results of physical and mechanical ground base characteristics changes before pre-pressing and after loading. The soil structural properties between strip pile were improved.

Keywords: combined foundation, strip foundation, pile, large-scale model, pressing, ground base, experimental research, physical properties, mechanical properties.

Наличие слабых подстилающих грунтов на территории Тюменской области вызывает ряд трудностей проектного и производственного характера при строительстве высотных и повышенной этажности зданий [1, 2]. Для обеспечения требования непревышения предельно допустимых осадок разработан комбинированный ленточный свайный фундамент (КЛСФ) с предварительной опрессовкой грунтового основания, выполняемой за счет нагнетания под давлением растворной смеси (рис. 1) [3].

Данный вид фундаментов существенно отличается от известных комбинированных фундаментов, которые в настоящее время широко применяются во всем мире и исследованию которых посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых [4–10]. Предварительная опрессовка грунтового основания позволяет существенно улучшить

строительные свойства грунтов в пролетной части, уменьшить их сжимаемость в активном слое, создать дополнительное обжатие боковым давлением свай, что приводит к увеличению их несущей способности и, соответственно, уменьшению количества. При действии начальных ступеней эксплуатационной нагрузки предварительно опрессованное грунтовое основание в активном слое работает в соответствии с модулем разгрузки E_e [11].

Рис. 1. Фрагмент КЛСФ с предварительной опрессовкой грунтового основания: 1 – пологая армированная оболочка; 2 – криволинейное искусственное основание с нагнетенным раствором (после твердения раствора – плита переменной жесткости); 3 – ленточный ростверк; 4 – свая; 5 – несущие стены; 6 – пленка; 7 – армирующая сетка оболочки; 8 – перфорированный инъектор; 9 – предварительно опрессованное естественное основание

Для качественной оценки изменения физико-механических свойств грунтового основания в ранее не нагруженной пролетной части после его опрессовки под давлением цементным раствором, статического нагружения и разгрузки фундамента [3] были отобраны пробы грунта для комплексных лабораторных исследований.

В геоморфологическом отношении площадка располагалась на надпойменной террасе р. Тура. Абсолютные отметки поверхности 76,40–77,00 м. Рельеф площадки спокойный. В геологическом строении изучаемого разреза площадки принимали участие отложения верхнечетвертичного и современного возраста, представленные суглинками различного генезиса, состава, состояния, и насыпной грунт мощностью 0,75 м, состоящий из суглинка, песка и строительного мусора.

Первым слоем естественного сложения на глубине 0,75–1,45 м являлась глина тугопластичная желтая ожеженная. Ниже залегал слой суглинка желтого ожеженного тугопластичной консистенции мощностью 0,45 м. Далее находились два слоя серожелтого суглинка текучепластичного с включением гнезд и конкреций ожежения,

мощность каждого слоя 0,45 м. Ниже на глубине 2,8–3,7 м залегал суглинок мягкопластичный желтый ожелезненный мощностью 0,9 м. Ниже до глубины 6,15 м залегал суглинок серый ожелезненный тугопластичной консистенции.

Уровень грунтовых вод был зафиксирован на глубине 2,6 м от поверхности земли. Воды безнапорные и приурочены к прослоям песка в суглинистой толще. Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Отбор проб грунта производился под центром исследуемого фундамента, глубина отбора проб – 0,25; 0,7; 1,15; 1,6; 2,05; 2,5; 2,95 м (рис. 2–5). Лабораторные исследования грунтов с целью определения физико-механических свойств были выполнены согласно ГОСТ 5180–84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик», ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости», ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация».

Камеральная обработка полученных материалов была выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация», ГОСТ 20522–2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний», СП 11-105–97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства». После этого было произведено сравнение физико-механических характеристик грунтового основания до опрессовки и после произведенного нагружения грунтового основания. Полученные результаты сведены в таблицу.

Рис. 2. Разработка грунта вдоль исследуемого фундамента

Рис. 3. Откопка исследуемого КЛСФ на экспериментальной площадке

Рис. 4. Откопанный КЛСФ (вид снизу). Сформировавшаяся нижняя поверхность объединяющей плиты переменной жесткости, сваи фундамента

Рис. 5. Линии отбора проб грунта под центром исследуемого фундамента

Сравнение значений физико-механических характеристик слоев грунта под центром фундамента до опрессовки и после произведенного нагружения

Характеристика грунта	1-й слой (глубина 0,75–1,45 м)			2-й слой (глубина 1,45–1,9 м)		
	До опрессовки	После опрессовки и нагружения	Δ	До опрессовки	После опрессовки и нагружения	Δ
Вид грунта	Глина тугопластичная	Глина полутвердая	–	Суглинок тугопластич	Суглинок полутвердый	–
$W, \%$	25	22	↓12 %	26	20	↓23 %
$W_L, \%$	39	39	–	34	30	↓11,8 %
$W_P, \%$	19	20	↑5 %	21	19	↓9,5 %
$I_P, \%$	20	19	–	13	10	–
$I_L, \text{д.ед.}$	0,3	0,11	–	0,38	0,1	–
$\gamma, \text{кН/м}^3$	18,2	19,1	↑4,7 %	18,9	19,3	↑2,1 %
$\gamma_d, \text{кН/м}^3$	14,6	15,7	↑7 %	15,0	16,1	↑6,8 %
$\gamma_s, \text{кН/м}^3$	27,0	27,0	–	26,9	26,8	–
$e, \text{д.ед.}$	0,85	0,72	↓15,3 %	0,79	0,67	↓15,2 %
$Sr, \text{д.ед.}$	0,80	0,83	–	0,88	0,81	–
$\varphi'', \text{град}$	19	20	↑5 %	10	15	↑33,3 %
$c'', \text{кПа}$	28	37,5	↑25 %	13	23,5	↑44,6 %

Продолжение таблицы

Характеристика грунта	3-й слой (глубина 1,9–2,35 м)			4-й слой (глубина 2,35–2,8 м)		
	До опрессовки	После опрессовки и нагружения	Δ	До опрессовки	После опрессовки и нагружения	Δ
Вид грунта	Суглинок текучепластичный	Суглинок тугопластичный	–	Суглинок текучепластичный	Суглинок текучепластичный	–
W , %	34	29	↓15 %	33	32	↓3 %
W_L , %	35	34	↓2,8 %	36	35	↓3 %
W_P , %	20	19	↓5 %	21	20	↓5 %
I_P , %	15	15	–	15	15	–
I_L , д.ед.	0,93	0,47	–	0,8	0,8	–
γ , кН/м ³	18,6	19,0	↑2,6 %	18,7	18,8	↑1 %
γ_d , кН/м ³	13,9	14,5	↑4 %	14,1	14,5	↑3 %
γ_s , кН/м ³	26,8	26,8	–	26,9	26,8	–
e , д.ед.	0,93	0,84	↓10 %	0,90	0,84	↓7 %
Sr , д.ед.	0,98	0,93	–	0,98	0,97	–
ϕ'' , град	12	16	↑25 %	14	13	–
c'' , кПа	19	25,8	↑26,3 %	21	21	–

Окончание таблицы

Характеристика грунта	5-й слой (глубина 2,8–3,7 м)		
	До опрессовки	После опрессовки и нагружения	Δ
Вид грунта	Суглинок мягкопластичный	Суглинок мягкопластичный	–
W , %	30	29	↓3 %
W_L , %	35	33	↓6 %
W_P , %	19	19	–
I_P , %	16	14	–
I_L , д.ед.	0,69	0,71	–
γ , кН/м ³	18,8	19,1	↑1,5 %
γ_d , кН/м ³	14,5	14,8	↑2 %
γ_s , кН/м ³	26,9	26,9	–
e , д.ед.	0,85	0,82	↓3,5 %
Sr , д.ед.	0,94	0,94	–
ϕ'' , град	17	16	–
c'' , кПа	18	19	–

Анализ изменения физических характеристик грунтового основания до опрессовки и после произведенного нагружения основания показал, что максимальное уплотнение произошло в слое грунта непо-

средственно под подошвой плиты переменной жесткости, объединяющей ленточные свайные фундаменты. Удельный вес грунта γ данного слоя увеличился на 4,7 %; удельный вес скелета грунта γ_d – на 7 %; коэффициент пористости e уменьшился на 15,3 %. В соответствии с изменением показателя текучести грунт изменил консистенцию – из тугопластичной перешел в полутвердую глину. Также сильное уплотнение зафиксировано во 2-м слое, там природная влажность W уменьшилась на 23 %, грунт изменил консистенцию с тугопластичного суглинка до полутвердого. Сравнение физических характеристик ниже залегающих слоев грунта показало, что уплотнение произошло и в них, но в несколько меньшей степени (удельный вес грунта увеличился на 1–3 %; коэффициент пористости уменьшился на 3–10 %).

Анализ изменения механических характеристик показал, что деформируемость всех залегающих под подошвой усиленного фундамента слоев грунта существенно уменьшилась. Об уплотнении свидетельствует повышение значения модуля деформации $E_{\text{компр}}$ (для слоя, находящегося непосредственно под подошвой фундамента, – в 2 раза); удельное сцепление c также увеличилось в результате произведенного уплотнения грунтового основания.

Таким образом, напряжение грунта опрессовкой искусственного основания оболочки позволяет существенно улучшить строительные свойства грунтов в пролетной части, тем самым снизив сжимаемость в активном слое, а также повысить несущую способность свай за счет дополнительного обжатия боковым давлением свай.

Библиографический список

1. Тетиор А.Н. Прогрессивные конструкции фундаментов для условий Урала и Тюменской области. – Свердловск: Средне-Урал. Изд-во, 1971. – 91 с.
2. Ким Б.Г., Пронозин Я.А., Волосюк Д.В. Устройство ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками // Механизация строительства. – 2014. – № 9. – С. 9–14.
3. Тер-Мартиросян З.Г., Пронозин Я.А., Степанов М.А. Обоснование использования свайно-оболочечных фундаментов с предварительно напряженным грунтовым основанием // Основания, фундаменты и механика грунтов. Сер.: Механика грунтов. – 2012. – № 4. – С. 2–5.

4. Готман Н.З. Расчет свайно-плитных фундаментов из забивных свай с учетом образования карстового провала: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 348 с.

5. Шулятьев О.А. Фундаменты высотных зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 203–245. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.4.19>

6. Эль-Моссалами Й. Устройство фундаментов высотных зданий на сжимаемых грунтовых основаниях // Международный журнал «Геотехника». – 2010. – № 4. – С. 21–41.

7. Hanisch J., Katzenbach R., König G. Kombinierte Pfahl-Plattengründung // In Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis «Pfähle» der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). – Ernst & Sohn, 2002.

8. Poulos H.G. Piled-raft foundations – design and applications // Geotechnique. – 2001. – Vol. 50, № 2. – P. 95–113.

9. El-Mossallamy Y. Economic Design of Piled Raft Foundations for high-rise buildings and bridge foundations // International Conference on Geotechnical Engineering. – Beirut, 2004.

10. Lutz B., Morauf D., Scheffler J. Kombinierte Pfahl-Plattengründungen Modellversuche und Berechnungen // FGeoBAU. – Berlin, 2010. – Bd. 1. – P. 107–115.

11. Тер-Мартirosян З.Г., Абдул Малек, Алла Саид Мухамед Напряженно-деформированное состояние преобразованного основания // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 6. – С. 8–11.

References

1. Tetior A.N. Progressivnye konstruktzii fundamentov dlia uslovii Urala i Tiumenskoj oblasti [Progressive construction of foundations for the conditions of the Urals and Tyumen region]. Sverdlovsk: Sredne-Ural'skoe izdatel'stvo, 1971. 91 p.

2. Kim B.G., Pronozin Ia.A., Volosiuk D.V. Ustroistvo lentochnykh fundamentov melkogo zalozeniia, ob'edinennykh pologimi obolochkami [Construction of the strip foundations combined by shallow shell]. *Mekhanizatsiia stroitel'stva*, 2014, no. 9, pp. 9-14.

3. Ter-Martirosian Z.G., Pronozin Ia.A., Stepanov M.A. Obosnovanie ispol'zovaniia svaino-obolocheknykh fundamentov s predvaritel'no napriazhennym gruntovym osnovaniem [Rationale for the use of pile-shell

foundations with prestressed ground base]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov. Seriya "Mekhanika gruntov"*, 2012, no. 4, 2012, pp. 2-5.

4. Gotman N.Z. Raschet svaino-plitnykh fundamentov iz zabivnykh svai s uchetom obrazovaniia karstovogo provala [Calculation of pile-slab foundation of driven piles considering karst formation failure]. Thesis of Doctor's degree dissertation, Moscow, 2004. 348 p.

5. Shuliat'ev O.A. Fundamenty vysotnykh zdaniy [Foundations of high-rise buildings]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 203-245. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.4.19>

6. El'-Mossalami I. Ustroistvo fundamentov vysotnykh zdaniy na szhimaemykh gruntovykh osnovaniiax [The foundations of high-rise buildings on compressible ground soil]. *Mezhdunarodnyi zhurnal "Geotekhnika"*, 2010, no. 4, pp. 21-41.

7. Hanisch J., Katzenbach R., Konig G. Kombinierte Pfahl-Plattengründung. In *Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis «Pfahle» der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT)*. Ernst & Sohn, 2002.

8. Poulos H.G. Piled-raft foundations – design and applications. *Geotechnique*, 2001, vol. 50, no. 2, pp. 95-113.

9. El-Mossallamy Y. Economic Design of Piled Raft Foundations for high-rise buildings and bridge foundations. *International Conference on Geotechnical Engineering*. Beirut, 2004.

10. Lutz B., Morauf D., Scheffler J. Kombinierte Pfahl-Plattengründungen Modellversuche und Berechnungen. *FGeoBAU*. Berlin, 2010, bd. 1, pp. 107-115.

11. Ter-Martirosian Z.G., Abdul Malek, Alla Said Muhamed Napriazhenno-deformirovannoe sostoianie preobrazovannogo sostoianiia [The stress-strain state of the transformed base]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2007, no. 6, pp. 8-11.

Получено 06.04.2015

Об авторах

Пронозин Яков Александрович (Тюмень, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехника» Тюменского государственного архитектурно-строительного университета (625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, e-mail: pronozin@tgasu.ru).

Степанов Максим Андреевич (Тюмень, Россия) – ассистент кафедры «Геотехника» Тюменского государственного архитектурно-строительного университета (625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, e-mail: maxim_stepanov@inbox.ru).

Волосюк Денис Викторович (Тюмень, Россия) – аспирант кафедры «Строительное производство» Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, e-mail: volosyuk_dv@tgasu.ru).

About the authors

Iakov A. Pronozin (Tyumen, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Geotechnics, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering (2, Lunacharsky st., Tyumen, Russian Federation, 625001, e-mail: pronozin@tgasu.ru).

Maksim A. Stepanov (Tyumen, Russian Federation) – Assistant, Department of Geotechnics, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering (2, Lunacharsky st., Tyumen, Russian Federation, 625001, e-mail: maxim_stepanov@inbox.ru).

Denis V. Volosiuk (Vladimir, Russian Federation) – Ph.D student, Department of Construction Technology, Vladimir State University named after Alexandr and Nikolay Stoletovs (87, Gorky st., Vladimir, Russian Federation, 600000, e-mail: volosyuk_dv@tgasu.ru).