УДК 624.154

В.С. Глухов, О.В. Хрянина, М.В. Глухова

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
Пенза, Россия

СВАЙНО-ПЛИТНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ НА КОМБИНИРОВАННОМ ОСНОВАНИИ

В статье представлены результаты исследования влияния свайно-плитного фундамента на осадку свай с уширением, на основе которых сделан вывод о целесообразности и экономической выгоде учета работы плит по грунтовому основанию.

Ключевые слова: свайно-плитный фундамент, комбинированное основание, сваи в пробитых скважинах, несущая способность, осадка.

V.S. Glukhov, O.V. Hryanina, M.V. Glukhova

Penza State University of Architecture and Building, Penza, Russian Federation

PILE-SLAB FOUNDATION ON THE COMBINED BASIS

The article presents the results of studies of the effect of pile-foundation slab on piles upset with the broadening on the basis of which concluded the feasibility and economic benefits of registration plates on the subgrade.

Keywords: pile-slab foundation, combined basis, punched holes in piles, bearing capacity, settlement.

Одной из актуальных проблем современного фундаментостроения является выбор надежного варианта фундаментов высотных зданий, от которых в пределах пятна застройки здания на грунтовое основание передается давление порядка 400–600 кПа. Традиционными видами фундаментов многоэтажных зданий при указанных нагрузках на грунты являются фундаментная плита или сваи в виде сплошного свайного поля. Однако нагрузки от зданий таковы, что в большинстве грунтовых условий указанные варианты фундаментов не обеспечивают нормальной работы основания и зачастую расчетная осадка превышает предельно допустимую.

Одним из перспективных направлений при выборе типа фундаментов в этом случае можно считать свайно-плитные фундаменты [1]. Но рекомендации СП 50-102-2003 по ограничению распределения нагрузок на плиту в пределах 15 % от общей нагрузки на фундамент практически не дают положительного результата.

Авторами данной статьи выполнены исследования взаимовлияния плиты и свай в свайно-плитном фундаменте при различных долях нагрузок на указанные элементы. Исследование проводилось при проектировании 16-этажного жилого дома в мкр. Арбеково г. Пензы. Расчетная равномерно распределенная нагрузка под стенами от надземной части здания для различных участков принята в диапазоне от 900 до 2000 кН/м. Общая расчетная нагрузка от здания в уровне верха плиты $N_0 = 210000$ кН.

Инженерно-геологические изыскания проведены ОАО «ПензТИ-СИЗ» в соответствии с требованиями нормативных документов. Геоморфологически участок расположен в долине ручья. Рельеф участка застройки практически ровный, с общим уклоном на восток. Грунтовые воды вскрыты на глубине 1,6–1,8 м. Вследствие этого на участке развиты неблагоприятные геологические процессы, что связано с нарушением стока поверхностных вод и заболачиванием поверхностей.

В геологическом строении площадки строительства до разведанной глубины 40 м, принимают участие четвертичные аллювиальные отложения aQ и отложения маастрихтского яруса верхнего отдела меловой системы K_2m . Физико-механические характеристики площадки строительства представлены в таблице.

Физико-механические показатели грунтов

Номер ИГЭ	Геологический индекс	Мощность слоя, м	Описание грунтов	γ , кН/м ³	I_L	E , МПа	ϕ , град	c , кПа
ИГЭ-1	pdQ_{IV}	0,5	Почвенно-растительный слой	15	–	–	–	–
ИГЭ-3	aQ	6,5	Глина аллювиальная, мягкопластичная, непросадочная, набухающая, сильнопучинистая	18,6	0,6	6,0	13	13
ИГЭ-4	aQ	2	Глина аллювиальная, тугопластичная, непросадочная, ненабухающая	18,5	0,4	7,0	20	35
ИГЭ-6	aQ	12	Глина аллювиальная, тугопластичная, непросадочная, ненабухающая	18,9	0,4	14	19	33
ИГЭ-9	K_2m	18,5	Коренная глина маастрихт, полутвердая, непросадочная, ненабухающая	17,4	0,1	40	19	42

В результате работ по закреплению грунтового основания путем раскатки указанные параметры существенно улучшились. Расчетное сопротивление закрепленного грунта под подошвой плиты определялось с учетом средневзвешенных характеристик и в пределах закрепленного слоя составило $R_3 = 325$ кПа. Модуль деформации 6,0 МПа возрос до $E_3 = 8$ МПа.

Расчетная нагрузка в уровне верха плиты от здания составит порядка $N_I = 210000$ кН. При расчете основания по II группе предельных состояний учитывается расчетная нагрузка с коэффициентом перегрузки, равным единице. В нашем случае указанная нагрузка от здания в уровне верха плиты $N_{II} = 183750$ кН. Площадь плиты $A = 591$ м². Вес плиты $Q = 9930$ кН. Тогда среднее давление под плитой $P_{cp} = 330$ кПа. Таким образом, $P_{cp} \approx R = 325$ кПа, а значит, условие работы основания в линейной стадии не выполняется.

При наличии в основании непосредственно под плитой закрепленного слоя грунта с модулем деформации $E_3 = 8$ МПа и достаточно большой ширине фундамента определяющим является расчет осадки. С учетом данных грунтовых условий, геометрических параметров плиты и среднем давлении $P_{cp} = 330$ кПа расчетная осадка составила $S_{нрс} = 38$ см. При этом мощность сжимаемой толщи около 30 м. По результатам расчета осадки плиты с учетом усиления слоя «раскатыванием» расчетная деформация основания более 38 см, что в 2 раза превышает предельно допускаемую для данного вида сооружений $S_u = 18$ см.

Авторами предложен вариант устройства фундаментов на комбинированном основании. Фундамент включает устройство набивных щебеночных свай в раскатанных скважинах (НРС) и свай в пробитых скважинах с уширением (СПС) [2]. Указанные свай объединяются сплошной монолитной железобетонной плитой (рис.1).

Вычисление расчетных показателей комбинированного свайно-плитного фундамента проводят по методике, изложенной в СП 50-102-2003 с использованием последовательных приближений.

С целью обеспечения надежной работы грунтового основания в предложенном варианте распределение долей нагрузок между плитой и сваями принято 50/50 процентов: $N_{IIпл} = 96840$ кН; $N_{IIсв} = 96840$ кН. Давление под подошвой плиты составляет $P_{пл} = 163,8$ кПа. Расчетная осадка плиты при указанном давлении на грунтовое основание составила $S_{пл} = 17,5$ см, что не превышает предельно-допустимую $S_u = 18$ см. При этом мощность сжимаемой толщи $H_c = 21,5$ м.

Сваи в пробитых скважинах с уширением приняты круглого сечения, диаметром 530 мм и длиной 8 м. Диаметр уширения $d_{\text{уш}} = 1$ м.

Уширение устраивается в два уровня путем втрамбовывания щебня в общем объеме 1 м^3 отдельными порциями из расчета заполнения скважины на 0,3–0,5 м по высоте. Каждая порция засыпается после втрамбовывания предыдущей до проектной отметки скважины. Втрамбовывание жесткого материала производится сбрасыванием трамбовки с высоты 1,5–3,0 метра до тех пор, пока не будет погружен в грунт требуемый объем жесткого материала. Для армирования свай принята арматура класса А400. Бетонирование свай производилось враспор бетоном класса В20, W6 с последующим уплотнением вибраторами.

Несущая способность набивных свай с уширением F_d определяется по формуле (7.11) СП 50-102-2003 и равна 1766 кН. Расчетно-допускаемая нагрузка на сваю равна $N_{\text{рд}} = 1300$ кН. Если не учитывать работу плиты, необходимое количество свай около 165 шт. При учете работы плиты расчетная нагрузка (50 %), приходящаяся на сваи, $N_I = N_{II} \cdot \gamma_f = 96840 \cdot 1,1 = 106524$ кН. Тогда количество свай, необходимое для восприятия указанной нагрузки, $n = N_I / N_{\text{рд}} = 82$ шт.

В соответствии с требованиями СП 50-102-2003 при проектировании свайно-плитных фундаментов минимальное расстояние между осями свай должно быть не менее чем 5 диаметров свай. Поэтому расчет свайного основания по деформациям сведен к расчету осадки одиночной сваи. Однако, учитывая, что сваи приняты с уширением и давление под последним (уширением) весьма значительно (рис. 2), осадку одиночной сваи определяли с учетом влияния соседних восьми свай, расположенных на расстоянии 2,5–3,0 м ($5-6d$).

Определение осадки СПС [3, 4] с использованием схемы грунтового основания в виде линейно-деформируемого полупространства выполняется с учетом уплотненного трамбованием под уширением слоя грунта толщиной 0,8 м с модулем деформации $E = 20$ МПа и нагрузки на сваю $N_{II} + Q_{\text{ф.гр}} = N_{\text{рд}} / 1,1 = 1180$ кН. Расчетная осадка составила $S_{\text{сп}} = 4,8$ см. Мощность сжимаемой толщи $H_c = 4,6$ м.

Для данных граничных условий и конструктивных особенностей здания, характера и диапазона нагрузок разрабатывалось наиболее оптимальное решение, в котором узловым вопросом являлось сочетание долей нагрузок на плиту и сваи. Определялось соотношение усилий, которые целесообразно передать на грунтовое основание под плитой,

и нагрузка, которая должна восприниматься сваями. Как показало исследование, определяющим при постановке вопроса является расчет основания по деформациям [3, 4, 5].

Рис. 2. Характер совместных деформаций основания свайно-плитного фундамента

Осадка плиты $S_{пл} = 10,0$ см и включает деформацию грунтового основания слоя в пределах уровня подошвы плиты и подошвы уширения СПС. Осадка $S_{спс}$ включает осадку одиночной сваи от нагрузки $N_{II} + Q_{ф,гр} = 1180$ кН с учетом взаимовлияния от соседних восьми свай и деформации основания от дополнительного давления плиты $\sigma_{zp,сп}$. Деформация основания слоев грунта ниже эпюры дополнительных давлений от сваи составляет $S_{совм} = 1,2$ см.

Таким образом, максимальная осадка свайно-плитного фундамента складывается из осадок плиты, свай и осадки совмещенной зоны $S = S_{пл} + S_{спс} + S_{совм} = 10,0 + 4,8 + 1,2 = 16,0$ см. Это в 2,3 раза меньше осадки плиты без учета работы свай в пробитых скважинах ($S_{нрс} = 38$ см) и меньше пре-

дельно допустимой осадки для данного сооружения $S=16 \text{ см} < S_u=18 \text{ см}$. Следовательно, перераспределив давления под плитой и свайей до 50 %, можно уменьшить требуемое количество свай со 165 шт. из расчета обеспечения несущей способности до 82 шт. (при условии размещения свай с шагом $5d$, где d – диаметр свай).

Проектирование по изложенной методике комбинированного свайно-плитного фундамента 16-этажного жилого дома в г. Пензе с использованием свай в пробитых скважинах позволило получить значительную экономию затрат (до 20 %) по сравнению с вариантом фундамента из составных свай длиной 17 м. При этом обеспечивается величина прогнозируемой осадки фундамента и равномерность в допустимых пределах на грунтовом основании, сложенном слабыми водонасыщенными грунтами.

Библиографический список

1. Глухова М.В., Галова Ю.С., Глухов В.С. Исследования влияния плиты ростверка на осадку свай с уширением // Известия Юго-Западного гос. ун-та. – Курск, 2011. – №5 [38]. – Ч. 2. – С. 360–363.
2. Проектирование и устройство свайных фундаментов и упрочненных оснований из набивных свай в пробитых скважинах: практ. пособие / В.И. Крутов, В.К. Когай, И.К. Попсуенко, В.С. Глухов, И.С. Арутюнов. – Пенза: Пенз. гос. ун-т архит. и строит, 2011. – 100 с.
3. Глухов В.С, Хрянина О.В., Глухова М.В. Исследования влияния уширения свай в пробитых скважинах на осадку // Известия Юго-Западного гос. ун-та. – Курск, 2011. – №5 [38]. – Ч. 2. – С. 351–354.
4. Глухов В.С, Хрянина О.В., Глухова М.В. Пути уменьшения деформаций грунтового основания фундаментов в вытрамбованных котлованах с уширением // Актуальные проблемы проектирования и возведения зданий и сооружений с учетом энергосберегающих технологий и методов строительства: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Пенз. гос. ун-т архит. и строит. – Пенза, 2012. – С. 150–152.
5. Глухов В.С, Глухова М.В. Исследование деформаций грунтового основания с учетом взаимного влияния свай с уширением // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: материалы междунар. науч.-техн. конф. – СПб., 2014. – Ч. 1. – С. 183–187.

References

1. Glukhova M.V., Galova Yu.S., Glukhov V.S. Issledovaniya vliyaniya plity rostverka na osadku svay s ushireniem [Research on the foundation framework on settlement piles with broadening]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, Kursk, 2011, no. 5 [38], vol. 2. pp. 360-363.

2. Krutov V.I., Kogay V.K., Popsuenko I.K., Glukhov V.S., Arutyunov I.S. Proektirovanie i ustrojstvo svajnykh fundamentov i uprochnennykh osnovanij iz nabivnykh svaj v probitykh skvazhinakh: prakt. posobie [Design and building of pile foundations and bases of reinforced piles in the punched holes]. Pensenskiy gosudarstvennyy universitet architektury i stroitelstva, 2011. 100 s.

3. Glukhov V.S., Khryanina O.V., Glukhova M.V. Issledovaniya vliyaniya ushireniya svay v probitykh skvazhinakh na osadku [Research on the influence of broadening piles of punched holes on the settlement]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, Kursk, 2011, no. 5 [38], part 2, pp. 351-354.

4. Glukhov V.S., Khryanina O.V., Glukhova M.V. Puti umen'sheniya deformatsiy gruntovogo osnovaniya fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh s ushireniem [Ways to reduce the strain of base foundations beating pits with the broadening]. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy proektirovaniya i vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy s uchetom energosberegayushchikh tekhnologiy i metodov stroitel'stva»*, Pensenskiy gosudarstvennyy universitet architektury i stroitelstva, 2012. pp. 150-152.

5. Glukhov V.S., Glukhova M.V. Issledovanie deformatsiy gruntovogo osnovaniya s uchetom vzaimnogo vliyaniya svaj s ushireniem [Research on the deformation the soil basis, taking into account the mutual influence of piles with a broadening]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennye geotekhnologii v stroitel'stve i ikh nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie»*, Saint Petersburg, 2014, vol. 1. pp.183-187.

Об авторах

Глухов Вячеслав Сергеевич (Пенза, Россия) – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геотехника и дорожное строительство» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства; e-mail: info@novotech.ru

Хрянина Ольга Викторовна (Пенза, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехника и дорожное строительство» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства; e-mail: olgahryanina@mail.ru

Глухова Мария Вячеславовна (Пенза, Россия) – ассистент кафедры «Геотехника и дорожное строительство» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства; e-mail: info@novotech.ru

About the authors

Glukhov Vyacheslav Sergeevich (Penza, Russian Federation) – Ph.D in Technical Sciences, Professor, Head of Department «Geotechnics and road construction» of Penza State University of Architecture and Building; e-mail: info@novotech.ru

Hryanina Olga Victorovna (Penza, Russian Federation) – Ph.D in Technical Sciences, Assistant Professor of the Department «Geotechnics and road construction» of Penza State University of Architecture and Building; e-mail: olgahryanina@mail.ru

Glukhova Mariya Vyacheslavovna (Penza, Russian Federation) – Assistant Lecturer of the Department «Geotechnics and road construction» of Penza State University of Architecture and Building; e-mail: glukhova.mary@mail.ru

Получено 11.04.2014