

УДК 624.131; 624.155

В.П. Перов

ООО «Фундаментстройпроект», Оренбург, Россия

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ-СТОЕК

В статье рассматривается методика определения несущей способности сваи-стойки аналитическим методом с использованием результатов инженерно-геологических изысканий и учетом нагрузок, действующих на обрез фундамента, для назначения величины ступеней нагрузки при полевых испытаниях свай. Приведен пример расчета и результаты статического испытания сваи-стойки. Отмечается необходимость корректировки методики определения несущей способности буронабивных свай-стоек, изложенной в СП 24.13330.2011.

Ключевые слова: свая-стойка, несущая способность, полевые испытания, корректировка методики расчета.

V.P. Perov

Fundamentstroyproekt Ltd, Orenburg, Russian Federation

DETERMINATION OF LOAD CAPACITY OF BORED PILES

The article describes techniques to determine load capacity of bearing pile by analytical method using the results of engineering and geological research and taking into account loads on the edge of a foundation, to set the value of load step in field trials of piles. The example of calculation and results of the static test of the bearing pile are given in the article. The article notes the necessity to correct the method of calculation of load capacity of bored piles represented in SP 24.13330.2011.

Key words: bearing pile, load capacity, field trials, correcting of calculation method.

В настоящее время при устройстве фундаментов широко используются набивные сваи в связи со значительным развитием парка машин и механизмов для их изготовления.

Несущая способность буронабивных и набивных свай при разработке проекта фундаментов определяется с использованием аналитического метода по формулам СП 24.13330.2011 или на основании результатов полевых исследований: испытания свай статической вдавливающей нагрузкой по ГОСТ 5686-94 или данных статического зондирования по ГОСТ 19912-2001.

При этом следует учитывать некоторые особенности определения несущей способности набивных и буронабивных свай при наличии в основании грунтов осадочных пород, таких как песчаник и аргиллит различной выветрелости и трещиноватости [1].

При наличии указанных грунтов в основании свая работает как свая-стойка, и согласно п.7.21¹ ее несущую способность следует принимать по результатам испытаний свай статической нагрузкой.

При разработке программы испытания свай вдавливающей статической нагрузкой ступени загрузки должны назначаться равными 1/10–1/15 предполагаемой несущей способности сваи, которая определяется с использованием аналитического метода на основании результатов инженерно-геологических изысканий по формуле

$$F_d = \gamma_c RA, \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1; R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки, кПа; A – площадь опирания на грунт сваи, м², принимаемая для свай сплошного сечения брутто [3].

При этом для набивных и буровых свай, опирающихся на невыветрелые скальные и малосжимаемые грунты (без слабых прослоек) и заглубления в них не менее 0,5 м расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи следует определять по формуле:

$$R = R_m = \frac{R_{c.m.n}}{\gamma_g}, \quad (2)$$

где R_m – расчетное сопротивление массива скального грунта под нижним концом сваи-стойки, определяемое по $R_{c.m.n}$ – нормативному значению предела прочности на одноосное сжатие массива скального грунта в водонасыщенном состоянии, кПа, определяемому, как правило, в полевых условиях; γ_g – коэффициент надежности по грунту, принимаемый равным 1,4.

Однако, поскольку предел прочности на одноосное сжатие скального грунта в водонасыщенном состоянии определяется в основном в лабораторных условиях для предварительных расчетов оснований

¹ СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.

сооружений всех уровней ответственности, значения характеристик R_m и $R_{c,m,n}$ допускается принимать равными:

$$R_m = R_c K_s, \quad R_{c,m,n} = R_{c,n} K_s,$$

где R_c и $R_{c,n}$ – соответственно расчетное и нормативное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта в водонасыщенном состоянии, кПа, определяются по результатам испытаний образцов отдельностей (монолитов) в лабораторных условиях; K_s – коэффициент, учитывающий снижение прочности ввиду трещиноватости скальных пород.

Следует отметить, что этот коэффициент впервые введен в СП 24.13330.2011. В СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» он отсутствует. Данное обстоятельство привело к тому, что в действующих ГОСТах по грунтам рассматривается и рекомендуется к определению только предел прочности грунта на одноосное сжатие в естественном и водонасыщенном состояниях, а в отчетах по инженерно-геологическим изысканиям степень трещиноватости скальных пород и показатель качества породы RQD отсутствует. Поэтому, чтобы осуществлять достоверное проектирование свайных фундаментов на площадках с наличием скальных грунтов с использованием СП 24.13330.2011, проектировщики должны принимать участие в составлении технического задания и программы на проведение ИГИ, что было отмечено в работе [2].

Расчетное сопротивление скального грунта R для набивных и буровых свай, заделанных в невыветрелый скальный грунт (без слабых прослоек) не менее чем на 0,5 м, определяется по формуле

$$R = R_m \left(1 + 0,4 \frac{l_d}{d_f} \right), \quad (3)$$

где R_m – определяется по формуле (7.6)²; l_d – расчетная глубина заделки набивной и буровой свай в скальный грунт, м; d_f – наружный диаметр заделанной в скальный грунт части набивной и буровой свай, м.

Значение фактора заглубления $1 + 0,4l_d / d_f$ принимается не более 3 м.

² СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты.

Рассмотренная выше методика расчета несущей способности свай аналитическим методом была использована при проектировании фундаментов промышленного здания, запроектированного с использованием металлического каркаса, с нагрузками на базу колонн до 730 кН. Был принят вариант буронабивных свай Ø800 мм и длиной 5 м с учетом данных инженерно-геологических изысканий, согласно которым выявлено следующее напластование грунтов на площадке сверху вниз:

1. Насыпной грунт мощностью 2,5 м неоднородного состава, состоящий из смеси суглинка и глины с включением щебня, песка и гравия, с неравномерной плотностью (1,61–1,97 т/м³) и плотностью сухого грунта (1,43–1,70 т/м³) как по глубине, так и по площади, неравномерной сжимаемостью.

2. Песчаник очень низкой прочности, мощностью 4,3 м, красновато-серовато-коричневый, мелкозернистый на глинистом цементе, сильновыветрелый до глыбово-щебенистого состояния, трещиноватый. По результатам лабораторных исследований, плотность песчаника изменяется от 1,76 т/м³ до 2,26 т/м³, при нормативном значении 2,05 т/м³ и расчетном при $\alpha = 0,95 \dots 2,01$ т/м³. Предел прочности данного грунта на одноосное сжатие, по результатам лабораторных определений, изменяется от 1,2 до 5,4 МПа в воздушно-сухом состоянии, от 0,5 до 1,6 МПа в водонасыщенном состоянии при нормативных значениях соответственно 2,9 и 0,9 МПа и расчетных при $\alpha = 0,95 \dots 2,3$ МПа и 0,7 МПа. Коэффициент размягчаемости изменяется от 0,23 до 0,50 – грунт относится к размягчаемым. По результатам штамповых испытаний, модуль деформации для песчаника очень низкой прочности составляет 80 МПа при природной влажности и 50 МПа в водонасыщенном состоянии.

3. Песчаник пониженной прочности, мощностью 6,2 м, мелкозернистый, на глинистом цементе, сильновыветрелый до глыбового состояния, трещиноватый, с прослоями песчаника малопрочного мощностью до 10 см. По результатам лабораторных определений, плотность песчаника пониженной прочности изменяется от 1,98 до 2,13 т/м³, при нормативном значении 2,05 т/м³ и расчетном при $\alpha = 0,95 \dots 2,05$ т/м³. По результатам лабораторных определений, предел прочности данного грунта на одноосное сжатие, изменяется от 3,4 до 14,4 МПа в воздушно-сухом состоянии, от 2,0 до 5,4 МПа в водо-

насыщенном состоянии, при нормативных значениях соответственно 6,5 МПа и 3,6 МПа и расчетных при $\alpha = 0,95 \dots 5,9$ МПа и 3,3 МПа. Коэффициент размягчаемости 0,24–0,75 – грунт относится к размягчаемым и неразмягчаемым.

При глубине заложения нижнего конца буронабивной сваи 5 м от поверхности грунта несущим слоем является песчаник очень низкой прочности, для которого значение расчетного сопротивления скального грунта под нижним концом сваи-стойки определяется по формуле (7.7)³

Для расчета по указанной формуле требуется значение коэффициента K_s , учитывающего снижение прочности ввиду трещиноватости скальных пород, принимаемый по табл. 7.1⁴ [1] в зависимости от степени трещиноватости или показателя качества породы грунта несущего слоя. Указанные характеристики для песчаника очень низкой прочности отсутствуют в Техническом отчете по инженерно-геологическим изысканиям для рассматриваемой площадки, что не позволяет принять обоснованное значение данного коэффициента.

В связи с описанными выше обстоятельствами, для назначения величины ступеней нагрузки в разрабатываемой программе статического испытания свай была использована формула (6)⁵

$$R = \frac{R_{c,n}}{\gamma_g} \left(\frac{l_d}{d_f} + 1,5 \right), \quad (4)$$

$$R = \frac{0,9}{1,4} \left(\frac{2,5}{0,8} + 1,5 \right) = 2,97 \text{ МПа}, \quad (5)$$

где $R_{c,n}$ – нормативное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта в водонасыщенном состоянии, равное 0,9 МПа; γ_g – коэффициент, надежности по грунту, принимаемый равным 1,4.

Несущая способность буронабивной сваи-стойки по формуле (7.5)⁶

$$F_d = 1,0 \cdot 2,97 \cdot 0,5024 = 1,49 \text{ МН} = 1490,00 \text{ кН}.$$

³ СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты.

⁴ Там же.

⁵ Там же

⁶ Там же

На основании полученного значения несущей способности сваи были назначены ступени нагрузки: первые три ступени по 300 кН и остальные по 150 кН.

Испытание свай проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-94 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями».

Результаты испытаний приведены на рисунке.

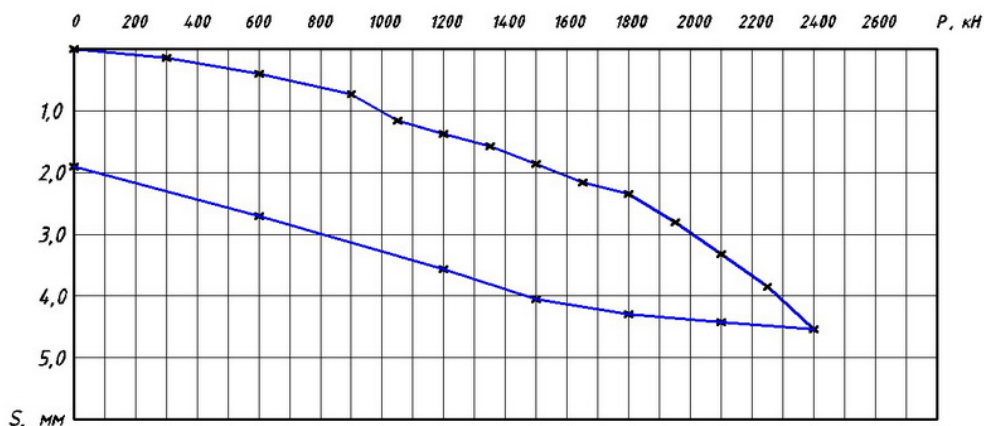


Рис. График зависимости осадки сваи S от нагрузки P

Из графика зависимости «осадки свай от нагрузки» следует, что загрузка проводилась до нагрузки, равной $1,5 F_d$, поскольку величина осадки даже при данной нагрузке значительно меньше 40 мм и $0,2 S_u = 0,2 \cdot 15 = 3,0$ см = 30 мм. Следовательно, у испытываемой сваи имеется еще запас в несущей способности.

Выводы

1. Методику определения несущей способности свай-стоек аналитическим методом следует совершенствовать с учетом анализа результатов полевых испытаний;

2. При разработке технического задания и программы на производство инженерно-геологических изысканий на площадках, где возможно наличие скальных и полускальных грунтов, следует указывать необходимость определения показателя качества породы и степени трещиноватости.

Библиографический список

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 728 с.

2. К вопросу рационального проектирования свайных фундаментов в лессовых просадочных грунтах I типа / Ю.В. Дежин, В.П. Ананьев, А.Е. Богомазова, В.В. Ходия // Основания и фундаменты в сложных инженерно-геологических условиях: межвуз. сб. – Казань, 1978.

3. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов [и др.]; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.

References

1. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya [Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Moscow: ASV, 2014. 728 s.

2. Dezhin Y.V., Anan`ev V.P., Bogomazova A.E., Hodiya V.V. K voprosu racional'nogo proektirovaniya svajnykh fundamentov v lessovykh prosadochnykh gruntakh pervogo tipa [Question of the rational design of pile foundations in loess soil subsidence of the first type]. *Mezhvuzovskij sbornik «Osnovaniya i fundamenti v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah»*, Kazan', 1978.

3. Gorbunov-Posadov M.I., Il'ichev V.A., Krutov V.I. et al. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya (Spravochnik proektirovshhika). [Bases, foundations and underground structures (Directory designer). Moscow: Strojizdat, 1985. 480 s.

Об авторах

Перов Владимир Павлович (Оренбург, Россия) – кандидат технических наук, технический директор ООО «Фундаментстройпроект»; e-mail: fstpr@mail.ru

About the authors

Perov Vladimir Pavlovich (Orenburg, Russian Federation) – Ph.D in Technical Sciences, technical director of Fundamentstroyproekt Ltd; e-mail: fstpr@mail.ru

Получено 01.04.2014