

УДК 681.3.06:624.131

РАСЧЕТ РИТ-СВАИ ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

В.Е. Быховцев, Д.В. Прокопенко, Л.А. Цурганова

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

CALCULATION OF PILES-CIT ON THE FIRST LIMITING CONDITION

V.E. Bykhoutsev, D.V. Prokopenko, L.A. Curganova

F. Scorina Gomel State University, Gomel, Belarus

Рассматривается предельная несущая способность РИТ-свай в нелинейно-деформируемом грунтовом основании с учетом уплотнения грунта в зоне разрядно-импульсной обработки.

Ключевые слова: РИТ-свая, математическая модель, предельная несущая способность.

The limiting bearing ability of a pile-cit in the nonlinear-deformed soil basis, taking into account ground consolidation in zone running-impulse processing is considered.

Keywords: pile-cit, mathematical model, limiting bearing ability.

Введение

Характерной особенностью грунтов Беларуси является многообразие их структуры и свойств. Вследствие этого в плане строительного производства возникает необходимость исследований по конструированию экономически эффективных фундаментов зданий для каждой строительной площадки. При определённых свойствах грунтового основания строительной площадки экономически целесообразным может оказаться фундамент на основе свай с камуфлетным уширением, которые устроены с применением разрядно-импульсной технологии (РИТ-свай) [6], [7]. Такой фундамент и грунтовое основание образуют сложную по структуре и свойствам нелинейную и неоднородную систему деформируемых твёрдых тел [3]. В СНиП для расчёта свай-РИТ предлагаются методики, основанные на обширном табличном материале и приближённых формулах, но при этом изменённое состояние грунтовых оснований вследствие устройства РИТ-свай и некоторые её конструктивные особенности учитываются недостаточно [6]. В настоящей работе для расчёта РИТ-свай по первому предельному состоянию предлагается численно-аналитический метод, учитывающий указанные особенности РИТ-свай и её грунтового основания как единой нелинейной физической системы, что, в целом, позволяет значительно повысить точность определения несущей способности РИТ-свай. В качестве контрольного материала при выполнении указанных исследований были использованы результаты натурного эксперимента по определению предельной несущей способности РИТ-свай, выполненные в отделе «Основания и фундаменты» РУП БелНИИС.

1 Взаимодействие РИТ-свай с грунтовым основанием

По условиям взаимодействия РИТ-свай с грунтом их следует относить к висячим сваям, несмотря на высокую жёсткость системы свая-грунт. В расчёте висячих свай следует учитывать, что нагрузка передаётся основанию боковой поверхностью и нижним концом сваи.

Характер взаимодействия РИТ-свай с грунтовым основанием в силу имеющихся конструктивных особенностей и способа её устройства существенно влияет на величину осадки отдельной сваи и свайного фундамента в целом. При анализе деформационного процесса грунтового основания РИТ-свай можно выделить два этапа: устройство РИТ-свай и взаимодействие РИТ-свай с грунтовым основанием при действии сжимающей нагрузки. При устройстве РИТ-свай не происходит смятие грунта в цилиндрической области диаметра D_n . Уплотнение грунта будет происходить в подобласти камуфлетного уширения с постепенным убыванием до его начального естественного состояния.

Учёт уплотнения математическими методами или методом компьютерного моделирования приводит к необходимости принятия некоторой модели структуры и свойств рассматриваемой физической системы. Решение этой задачи возможно только посредством лабораторного или натурного эксперимента. Наибольшей достоверностью будет характеризоваться натурный эксперимент, при этом можно ограничиться исследованием зависимости осадки РИТ-свай от её геометрических размеров, физико-механических характеристик грунтового основания и действующей нагрузки. В отделе оснований и фундаментов БелНИИСа были проведены соответствующие

шие натурные экспериментальные исследования. Анализ полученных результатов показал, что для всех поставленных задач зависимость осадки РИТ сваи от вдавливающей нагрузки является нелинейной, что показано на рисунке 1.1.

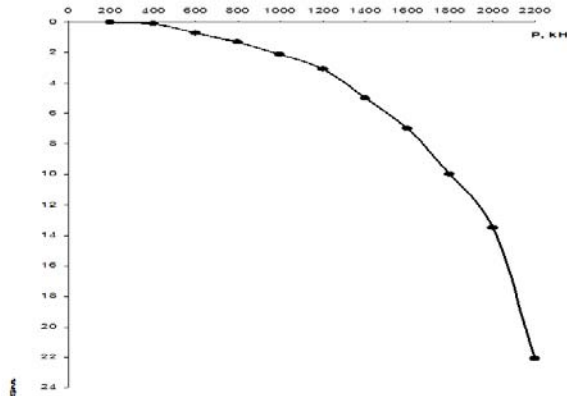


Рисунок 1.1 – График испытания РИТ-сваи вдавливающей нагрузкой

2 Математические модели предельной несущей способности одиночной РИТ-сваи по грунту основания

Для определения предельной несущей способности сваи РИТ в [2], исходя из условия равновесия одиночной прямой сваи, математически выведена формула:

$$P = 2\pi r_c L(c + \sigma_{np} \operatorname{tg} \varphi) + \pi r_y^2 \sigma_{np}.$$

Значение σ_{np} , используемое в этой формуле, может определяться экспериментально, что очень трудоёмко и дорого, или теоретически посредством решения задачи предельного равновесия грунта [1].

Полученное теоретическое решение задачи предельного равновесия грунта оказалось очень сложным для практического применения. Поэтому были разработаны соответствующие таблицы [1] и было предложено несущую способность РИТ-сваи определять по формуле [6], [7]

$$F_d = g_{ik} g_{crin} (g_{ck} R_{rit} A_{rit} + g_{cf} \sum u_{irit} f_i h_i). \quad (2.1)$$

Формула (2.1) не учитывает нелинейность деформирования и уплотнение грунта вокруг камуфлетных уширений РИТ-сваи, что ведет к значительному недоиспользованию несущей способности грунтового основания РИТ-сваи.

3 Математическое моделирование уплотнения грунта в зоне РИО

Структурно РИТ-сваи различаются количеством камуфлетных уширений, получаемых в процессе разрядно-импульсной обработки (РИО) грунтового основания. При этом происходит уплотнение грунта только в области камуфлетного уширения. Несущая способность уплотнённого грунта будет максимальной в контактной поверхности, постепенно убывая до её начального значения. В настоящем исследовании математическая

модель несущей способности уплотнённого грунта принята в виде степенной функции гиперболического типа:

$$\{y = ax^n, a > 0, n < 0\}. \quad (3.1)$$

В соответствии с (3.1) механико-математическая модель расчётного сопротивления уплотнённой зоны грунта в зоне РИО будет иметь вид

$$R_{rit} = ar_i^k, a > 0, k < 0, r_c < r_i < r_{max}, \quad (3.2)$$

где r_{max} – радиус зоны уплотнения, r_c , r_{yu} – радиус ствола сваи и радиус уширения, R_{rit} – предельное расчётное сопротивление грунта.

При $r_i = r_{yu}$ предельное расчётное сопротивление грунта будет $R_{rit max}$, при $r_i = r_{max}$ предельное расчётное сопротивление грунта будет $R_{rit min}$. При условии $r_i = r_{max}$ из (3.2) определим значение параметра a :

$$a = \frac{R_{rit min}}{r_{max}^k}. \quad (3.3)$$

Подставив в (3.2) значение a из (3.3) при условии $r_i = r_{yu}$ получим

$$R_{rit max} = R_{rit min} \left(\frac{r_{max}}{r_{yu}} \right)^n, \quad (3.4)$$

где $n = \frac{1 - \sin \varphi}{2 - \sin \varphi}$, $n = |k|$, φ – угол внутреннего трения.

Значения $R_{rit min}$, r_{yu} и r_{max} определяются по таблицам СНиП [6], [7].

4 Методика расчёта РИТ-свай по первому предельному состоянию для грунтовых условий Беларуси

Базисным материалом настоящей методики являются основные положения строительных норм и правил и теоретические исследования по решению задачи определения предельного состояния грунтового основания по условиям прочности и деформируемости [1], [4]–[7].

Предлагаемая методика является дальнейшим развитием методики расчёта буронабивных свай по несущей способности методами математического и компьютерного моделирования и содержит оригинальный алгоритм учёта уплотнения грунтовых оснований вследствие РИО при устройстве свай с камуфлетными уширениями на конце сваи и выше.

Расчёт производится для грунтов консистенции $B \geq 0$, для плотных песчаных грунтов и средней плотности с учётом насыпей, торфов и других слоёв пониженной несущей способности.

При расчёте РИТ-свай по первому предельному состоянию грунтовых оснований необходимы следующие исходные данные:

– материалы инженерно-геологических изысканий включающих характеристики физико-меха-

нических свойств грунтов: модуль деформации E , сцепление c , угол внутреннего трения φ ;

- условия производства работ;
- геометрические размеры РИТ-сваи.

5 Алгоритм расчёта предельной несущей способности РИТ-сваи при учёте уплотнения грунта в зоне РИО

Несущая способность свай висячей сваи, работающей на осевую сжимающую нагрузку, определяется в соответствии с формулой (2.1) как сумма расчётных сопротивлений грунтов основания под камуфлетным уширением на конце сваи и по её боковой поверхности при учёте уплотнения грунта по формуле

$$F_d = g_{kk} g_{crin} (g_{cR} R_{rit\max} A_{rit} + g_{cf} \sum u_{irit} f_{i\max} h_i), \quad (5.1)$$

где $R_{rit\max}$ – предельное расчётное сопротивление уплотнённого грунта, рассчитывается по формуле (3.4):

$$R_{rit\max} = R_{rit\min} \left(\frac{r_{\max}}{r_{yu}} \right)^n, \quad (5.2)$$

$f_{i\max}$ – расчетное сопротивление i -го слоя уплотнённого грунта на боковой поверхности сваи, рассчитывается только для зон РИО выше конца сваи, расчёт производится аналогично (5.2).

Все остальные параметры в (5.1) определяются в соответствии с (2.1).

6 Исследование предельной несущей способности РИТ-сваи

Экспериментальные исследования несущей способности РИТ-сваи.

Паспорт испытания РИТ-свай – 2–4 статической вдавливающей нагрузкой на опытной площадке ОП 2 (слоистое основание).

Характеристика РИТ-свай: буронабивная с диаметром ствола $\varnothing 250$ мм, выполнены по технологии РИТ, длиной 16,7 м, с уширениями

$\varnothing 650$ мм вдоль ствола через 0,5 м начиная от уровня пяты.

Вид испытания: статической вдавливающей нагрузкой по СТБ 2242.

Грунтовые условия для РИТ-свай: слоистое основание из грунтов, сверху вниз.

1. Насыпной искусственный: Толщина слоя – 0,6 м, удельный вес γ , кН/м³ – 19,4, угол внутреннего трения φ , град – 23, сцепление c , МПа – 0,008, модуль деформации E , МПа – 8.

2. Супесь пылеватая текучая ($I_L > 1$) с примесью органических веществ, толщина – 1,4 м, удельный вес γ , кН/м³ – 20,10, угол внутреннего трения φ , град – 17, сцепление c , МПа – 0,014, модуль деформации E , МПа

3. Песок пылеватый средней прочности, насыщенный водой, толщина слоя – 9 м, удельный вес γ , кН/м³ – 18,00, угол внутреннего трения φ , град – 28, сцепление c , МПа – 0,004, модуль деформации E , МПа – 18

4. Песок мелкий средней прочности, насыщенный водой, толщина слоя – 1,5 м, удельный вес γ , кН/м³ – 17,40, угол внутреннего трения φ , град – 30, сцепление c , МПа – 0,001, модуль деформации E , МПа – 25

5. Песок средний, насыщенный водой, толщина слоя – 4,7 м, удельный вес γ , кН/м³ – 19,40, угол внутреннего трения φ , град – 33, сцепление c , МПа – 0,001, модуль деформации E , МПа – 28.

Расчёт по разработанному алгоритму предельной несущей способности РИТ-свай. Расчётные сопротивления грунта под нижним концом равны: $A_{rit} = 0,142 \text{ м}^2$, $R_{rit0} = 4560 \text{ кПа}$, $R_{rit\max} = 6410 \text{ кПа}$, $g_{kk} = 0,85$.

Расчетные сопротивления грунта на боковой поверхности РИТ-свай (экспериментальные данные) при размере уширений взятых из таблиц СНиП, приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Данные для расчета РИТ-свай

№	Наименование грунта	h_i	Разбивка	Глубина	f_{i0}	$f_{i\max}$	D_{kui}/d_c	u_{irit}	u_{iritsr}	I_c	g_{cf}
1	Насыпной искусственный	0,65	0,65	0,33	0	0	–	–	0,79	0,65	1,3
2	Супесь пылев. текучая ($I_L > 1$) с прим. орг. вещ.	1,35	1,35	1,33	0	0	–	–	0,79	1,35	1,3
3	Песок пылеватый средней прочности, насыщенный водой	8,6	1,8	2,9	25	36,7	1,6	1,26	1	1	1,3
			1,8	4,7	29	42,6	1,6	1,26	1	1	1,3
			1,8	6,5	31	45,5	1,6	1,26	1	1	1,3
			1,8	8,3	33	48,5	1,6	1,26	1	1	1,3
			1,4	9,9	34	49,9	1,6	1,26	0,92	1	1,3
4	Песок мелкий средней прочности, насыщенный водой	1,35	1,35	11,28	48	69	1,7	1,34	1,13	0,5	1,3
5	Песок средний, насыщенный водой	4,75	1,9	12,9	49	68,9	1,8	1,41	1,08	1	1,3
			1,9	14,8	50	70,3	1,8	1,41	1,08	1	1,3
			0,95	16,23	52	73,1	1,8	1,41	1,08	0,5	1,3

$$F_d = g_{kk} g_{crin} (g_{cR} R_{rit} A_{rit} + g_{cf} \sum u_{irit} f_i h_i) =$$

$$= 0,85(942,808 + 761,691) = 1449 \text{ кН},$$

$$F_d = g_{kk} g_{crin} \left(g_{cR} R_{rit} \left(\frac{r_{yu}}{r_{max}} \right)^k A_{rit} + \right.$$

$$\left. + g_{cf} \sum u_{irit} f_i \left(\frac{r_{yu}}{r_{max}} \right)^k h_i \right) =$$

$$= 0,85(1325 + 1095) = 2057 \text{ кН}.$$

В итоге общую несущую способность свай РИТ по грунту получили равной 1449 кН, с учетом уплотнения 2057 кН. По экспериментальным данным – 2150 кН.

Из анализа полученных результатов следует, что учёт уплотнения и нелинейности деформирования грунтового основания вокруг камуфлетного уширения свай позволяет вычислить значения несущей способности РИТ-свай по грунту достаточно близкими экспериментальным данным, представленными отделом оснований и фундаментов БелНИИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березанцев, В.Г. Расчёт прочности оснований сооружений / В.Г. Березанцев. – Л.: Госстройиздат, 1960. – 139 с.

2. Быховцев, В.Е. Аналитический метод определения несущей способности свай РИТ в грунтовом основании / В.Е. Быховцев, Д.В. Прокопенко, С.В. Киргинцева // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2014. – № 6 (87). – С. 129–132.

3. Быховцев, В.Е. Компьютерное объектно-ориентированное моделирование нелинейных систем деформируемых твёрдых тел / В.Е. Быховцев. – Гомель: УО «ГГУ им. Ф. Скорины». – 2007. – 219 с.

4. Винокуров, Е.Ф. Расчёт оптимальных конструкций фундаментов зданий и сооружений на ЭВМ / Е.Ф. Винокуров, В.Е. Быховцев, А.С. Карамышев. – Гомель: Гомельпромстрой. – 1979. – 28 с.

5. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Стройиздат, 1963. – 542 с.

6. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполненных с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (свай-РИТ) ТР 50-180-06. – М.: 2006.

7. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция (СП 24, 13330, 2011). 20.05.2011.

Поступила в редакцию 08.01.15.