

АЛГОРИТМ РАССЧЕТА СВАИ-РИТ ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ В НЕЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМОМ ЛОКАЛЬНО-УПЛОТНЕННОМ ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

Прокопенко Д. В.

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь

Введение

Проблема рационального проектирования фундаментов зданий и сооружений является очень важной в строительной индустрии. Затраты на возведение фундаментов могут составлять до 30% от общей стоимости строительства, поэтому уменьшение затрат на устройство фундамента очень актуально. При определенных свойствах грунтового основания и способе устройства фундамента здания экономически целесообразным может оказаться фундамент на основе свай с камуфлетными уширениями, которые устроены с применением разрядно-импульсной технологии (свай-РИТ). Такой фундамент и грунтовое основание образуют по структуре и свойствам сложную нелинейную и неоднородную физическую систему. В результате устройства свай-РИТ образуются уплотненные зоны грунта в области камуфлетного уширения. Уплотнения грунта значительно увеличивает несущую способность грунтового основания свай-РИТ, и не учёт этого уплотнения при расчете фундаментов зданий ведет к увеличению стоимости возводимого здания. В формулах, приведенных в СНиП, не учитывается нелинейность деформирования и уплотнение грунтового основания. В настоящей работе предлагается методика расчета свай-РИТ, учитывающая указанные особенности, что, в целом, позволяет значительно повысить точность определения несущей способности свай-РИТ. Оценкой полученного решения будут результаты натурного эксперимента по определению предельной несущей способности и осадки РИТ-свай, выполненные в отделе «Основания и фундаменты» РУП БелНИИС.

Сущность разрядно-импульсной технологии

Изготовление свай-РИТ заключается в следующем: в грунт на расчётную глубину опускается обсадная труба. Обсадная труба

заполняется бетоном. Бетонную смесь обрабатывают серией высоковольтных электроимпульсных разрядов (электровзрывов), там, где требуется устройство уширения сваи по расчету. В результате происходит уплотнение грунта, формируется тело сваи.

Уплотнение грунта не происходит в цилиндрической области диаметра сваи. Уплотнение грунта будет происходить только в подобласти камуфлетного уширения с постепенным убыванием до его начального естественного состояния. Образовавшиеся в результате электровзрывов уширения и уплотнения грунта в зоне РИО обеспечивает работу сваи с грунтом как единой геотехнической системы. Экспериментальные исследования свай-РИТ по несущей способности грунтового основания подтверждают их высокую несущую способность в сравнении с другими сваями равного диаметра и длины.

Математическая модель несущей способности сваи – РИТ

В СНИП были разработаны соответствующие таблицы [1] и было предложено несущую способность сваи – РИТ определять по формуле:

$$F_d = g_{\text{жк}} g_{\text{ср}} \ln (g_{\text{ср}} R_{\text{rit}} A_{\text{rit}} + g_{\text{ср}} \sum u_{\text{rit}} f_i h_i) \quad (1)$$

где $g_{\text{жк}}$ – коэффициент надежности свайного основания, $g_{\text{ср}} \ln$ – коэффициент условий работы свай-РИТ; $g_{\text{ср}}$ – коэффициент условий работы грунта под нижним концом свай-РИТ; $g_{\text{ср}}$ – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности свай-РИТ; R_{rit} – расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай-РИТ; A_{rit} – площадь основания принимается по площади поперечного сечения свай-РИТ в зоне камуфлетного уширения по его наибольшему диаметру; u_{rit} – периметр поперечного сечения сваи на i -том горизонте; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности сваи; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

Приведенная формула, как говорилось выше, не учитывает нелинейность деформирования и уплотнение грунта, что ведет к значительному недоиспользованию несущей способности грунтового основания свай-РИТ, поэтому далее в работе показано как учесть уплотнение грунта в зоне РИО.

Математическое моделирование уплотнения грунта в зоне РИО

Структурно сваи-РИТ 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 [2]:

$$y = ax^k, a > 0, k < 0 \quad (2)$$

В соответствии с (2) механико-математическая модель расчётного сопротивления уплотнённой зоны грунта в зоне РИО будет иметь вид

$$R_{r1z} = ar_i^k, a > 0, k < 0, r_c < r_i < r_{max}, \quad (3)$$

где r_{max} - радиус зоны уплотнения,

$r_c, r_{yш}$ - радиус ствола сваи и радиус уширения,

R_{r1l} - предельное расчётное сопротивление грунта.

Геометрическая модель уплотнения грунтового основания в области камуфлетного уширения показана на рисунке 1:

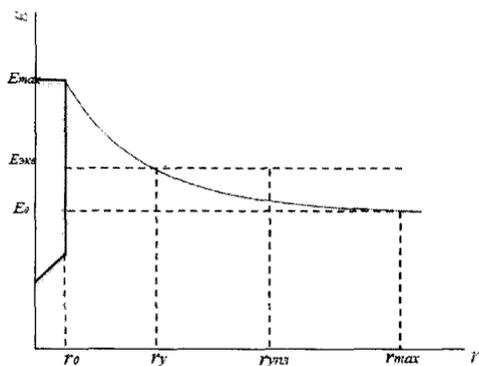


Рисунок 1 – Модель уплотнения грунта

При $r_i = r_{yш}$ предельное расчётное сопротивление грунта будет R_{r1max} ,

при $r_i = r_{max}$ предельное расчётное сопротивление грунта будет

R_{ritmin} .

При условии $r_i = r_{max}$ из (3) определим значение параметра a :

$$a = \frac{R_{ritmax}}{r_{max}^k} \quad (4)$$

Подставив в (3) значение a из (4) при условии $r_i = r_{yuz}$ получим предельное расчётное сопротивление уплотнённого грунта равным:

$$R_{ritmax} = R_{ritmin} \left(\frac{r_{max}}{r_{yuz}} \right)^n \quad (5)$$

где

$$n = \frac{1 - \sin \varphi}{2 - \sin \varphi}, \quad n = |k|,$$

φ – угол внутреннего трения.

Значения R_{ritmin} , r_{yuz} , r_{max} определяются по таблицам СНиП.

Расчетное сопротивление i -го слоя уплотнённого грунта на боковой поверхности сваи f_{imax} рассчитывается аналогично с предельным расчётным сопротивлением грунта под концом сваи-РИТ:

$$f_{imax} = f_{имсн} \left(\frac{r_{max}}{r_{yuz}} \right)^n \quad (6)$$

Подставим (5) и (6) в (1) и получим формулу для определения предельной несущей способности сваи-РИТ с учетом уплотнения грунта в области камуфлетного уширения:

$$F_{ay} = G_{св} G_{сн} \left(G_{ср} R_{rit} \left(\frac{r_{yuz}}{r_{max}} \right)^k A_{rit} + G_{ср} \sum_{i=1}^n u_{rit} f_i \left(\frac{r_{yuz}}{r_{max}} \right)^k h_i \right) \quad (7)$$

Все параметры в (7) определяются в соответствии со СНиП.

Проведем оценку полученного аналитического решения на примере реальной задачи (результаты испытания сваи-РИТ, полученные в БелНИИС):

Экспериментальные исследования несущей способности сваи – РИТ.

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

Характеристика сваи РИТ: **бурунабивная с диаметром ствола Ø250 мм, выполнены по технологии РИТ, длиной 16,7 м, с уширениями Ø650 мм вдоль ствола для РИТ-1 через 0,5 м начиная от уровня пятый; для РИТ-2 через 0,75 м; для РИТ-3 через 1 м.**

Вид испытания: Статической вдавливающей нагрузкой по СБ 2242.

Грунтовые условия для сваи РИТ: слоистое основание из грунтов, сверху вниз:

–Насыпной искусственный: Толщина слоя –0,6 м, удельный вес γ , кН/м^3 19,4, угол внутреннего трения φ , град – 23, сцепление c , МПа – 0,008, модуль деформации E , МПа – 8.

–Супесь пылеватая текучая ($I_L > 1$) с примесью органических веществ. Толщина – 1,4 м, удельный вес γ , кН/м^3 – 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/м^3 – 18,00, угол внутреннего трения φ , град – 28, сцепление c , МПа – 0,004, модуль деформации E , МПа – 18

–Песок мелкий средней прочности, насыщенный водой, толщина слоя – 1,5 м, удельный вес γ , кН/м^3 – 17,40, угол внутреннего трения φ , град – 30, сцепление c , МПа – 0,001, модуль деформации E , МПа – 25

–Песок средний, насыщенный водой, толщина слоя – 4,7 м, удельный вес γ , кН/м^3 – 19,40, угол внутреннего трения φ , град – 33, сцепление c , МПа – 0,001, модуль деформации E , МПа – 28.

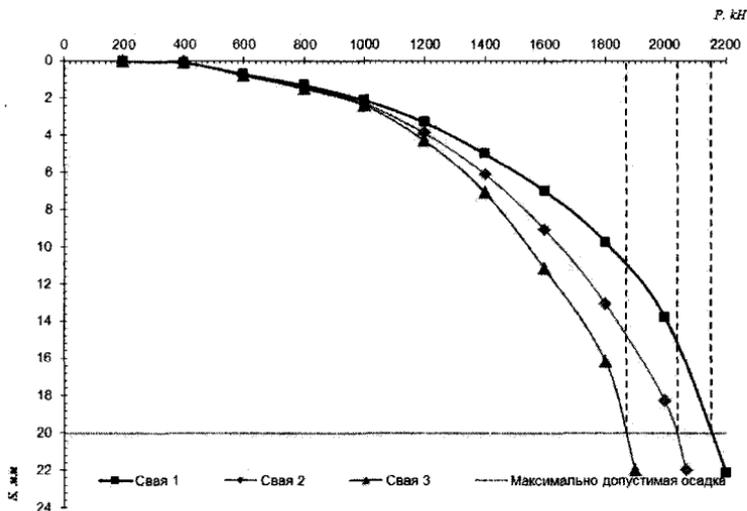


Рисунок 2 – Осадка свай-РИТ

Расчёт предельной несущей способности сваи - РИТ

Расчётные сопротивления грунта под нижним концом равны:

$$A_{\text{ит}} = 0,142 \text{ м}^2, R_{\text{ит0}} = 4560 \text{ кПа}, R_{\text{итmax}} = 6410 \text{ кПа}, g_{\text{кк}} = 0,85.$$

Расчетные сопротивления грунта на боковой поверхности сваи - РИТ (экспериментальные данные), при размере уширений взятых из таблиц СНИПа, приведены в таблицах № 1, 2, 3.

Таблица 1 – Данные для расчет сваи-РИТ № 1

№	Наименование грунта	h_i	Разбивка	Глубина	f_0	f_i	$D_{\text{кш}}/d_c$	$u_{\text{ит}}$	$u_{\text{итsr}}$	I_c	g_{ef}
1	Насыпной искусственный	0,65	0,65	0,33	0	0	-	-	0,79	0,65	1,3
2	Супесь пылеватая текучая ($I_L > 1$) с примесью органических веществ	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

В итоге общую несущую способность сваи РИТ 1 по грунту получили равной 1449 кН., с учетом уплотнения 2057 кН. По экспериментальным данным – 2155 кН.

Таблица 2 – Данные для расчет сваи-РИТ № 2

№	Наименование грунта	h_i	Разбивка	Глубина	f_0	f_i	$D_{\text{кш}}/d_c$	$u_{\text{ит}}$	$u_{\text{итsr}}$	I_c	g_{ef}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Насыпной искусственный	0,6	0,6	0,33	0	0	-	-	0,79	0,6	1,3
2	Супесь пылев. текучая ($I_L > 1$) с прим. орг. вещ	1,33	1,33	1,26	0	0	-	-	0,79	1,33	1,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	Песок пылеватый средней прочности, насыщенный водой	8,8	1,9	2,88	25	36,7	1,6	1,26	0,89	1,5	1,3
			1,9	4,78	29	42,6	1,6	1,26	0,89	1,5	1,3
			1,9	6,68	31	45,5	1,6	1,26	0,89	1,5	1,3
			1,55	8,58	33	48,5	1,6	1,26	1	0,75	1,3
			1,55	9,4	34	49,9	1,6	1,26	1	0,75	1,3
4	Песок мелкий средней прочности, насыщенный водой	1,18	1,18	11,31	48	69	1,7	1,34	1	0,75	1,3
5	Песок средний, насыщенный водой	4,8	1,2	12,5	49	68,9	1,8	1,41	1,02	0,75	1,3
			1,65	13,9	50	70,3	1,8	1,41	1,13	0,75	1,3
			1,95	15,73	52	73,1	1,8	1,41	0,93	1,5	1,3

В итоге общую несущую способность сваи РИТ 2 по грунту получили равной 1411 кН, с учетом уплотнения 2002 кН. по экспериментальным данным – 2040 кН.

Таблица 3 – Данные для расчет сваи-РИТ № 3

№	Наименование грунта	h_1	Разбивка	Глубина	f_0	f_1	$D_{\text{вн}}/d_c$	$u_{\text{нп}}$	$u_{\text{нпр}}$	I_c	$g_{\text{сг}}$
1	Насышной искусственный	0,6	0,6	0,33	0	0	-	-	0,79	0,6	1,3
2	Супесь пылев. текучая ($I_L > 1$) с прим. орг. вещ	1,33	1,33	1,26	0	0	-	-	0,79	1,33	1,3
3	Песок пылеватый средней прочности, насыщенный водой	8,8	1,9	2,88	25	36,7	1,6	1,26	0,89	1,5	1,3
			1,9	4,78	29	42,6	1,6	1,26	0,89	1,5	1,3
			1,9	6,68	31	45,5	1,6	1,26	0,89	1,5	1,3
			1,55	8,58	33	48,5	1,6	1,26	1	0,75	1,3
			1,55	9,4	34	49,9	1,6	1,26	1	0,75	1,3
4	Песок мелкий средней прочности, насыщенный водой	1,18	1,18	11,31	48	69	1,7	1,34	1	0,75	1,3
5	Песок средний, насыщенный водой	4,8	1,2	12,5	49	68,9	1,8	1,41	1,02	0,75	1,3
			1,65	13,9	50	70,3	1,8	1,41	1,13	0,75	1,3
			1,95	15,73	52	73,1	1,8	1,41	0,93	1,5	1,3

В итоге общую несущую способность сваи РИТ 3 по грунту получили равной 1399 кН., с учетом уплотнения 1985 кН. По экспериментальным данным – 1870 кН.

Заключение

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

Список литературы

1. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи-РИТ). ТР 50-180-06. – М.: ООО «УИЦ «ВЕК», 2006. – 68 с.
2. Быховцев В. Е. Расчет свай-РИТ по первому предельному состоянию / В. Е. Быховцев, Д. В. Прокопенко, Л. А. Цурганова // «Проблемы Физики, Математики и Техники» №3 (24) (Гомель, 2015 г.) С. 90 – 93.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕСКОЛЬКИХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В МНОГОВОЛНОВЫХ ОБЪЕМНЫХ ЛАЗЕРАХ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

С. Н. Сытова

*Институт ядерных проблем Белорусского государственного
университета
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация

Принципы работы объемных лазеров на свободных электронах (ОЛСЭ) основаны на взаимодействии релятивистского электронного пучка с двумя или более сильными связанными электромагнитными волнами, генерируемыми в существенно неоднородной геометрии в условиях динамической дифракции Брэгга в резонаторе (естественном или искусственном электромагнитном (фотонном) кристалле). Ранее ОЛСЭ были рассмотрены в различных двух- и трехволновых геометриях дифракции теоретически и экспериментально. Многопучковые многоволновые ОЛСЭ могут