

УДК 681.3.06:624.131

Математическое и компьютерное моделирование осадки РИТ-сваи в нелинейно-деформируемом грунтовом основании

В.Е. БЫХОВЦЕВ, Ю.Д. БОНДАРЕВА

Методом компьютерного объектно-ориентированного моделирования исследуются размеры и физико-механические характеристики грунта в зонах резонансно-импульсной обработки РИТ-свай.

Ключевые слова: грунтовые основания, зоны уплотнения, РИТ-свая.

The sizes and physical-mechanical characteristics of a ground in zones of resonance-pulse processing using RIT-piles are investigating by the method of computer object-oriented modeling

Keywords: earth bases, zones of condensation, RIT-pile.

Физическая постановка задачи. РИТ-свая – это свая из бетона, устроенная с помощью резонансно-импульсной технологии [1], [2]. Конструктивно РИТ-свая может иметь несколько уширений, получаемых с помощью электрического взрыва высокой энергии. Получаемая при этом полость в грунтовой среде заполняется бетоном. Диаметр полости всегда больше диаметра сваи и зависит от физико-механических характеристик окружающего грунта, силы и количества взрывов в одной точке или в некоторой группе смежных точек. Вокруг получаемого бетонного уширения образовывается зона уплотнённого грунта. Диаметр зоны уплотнения зависит от диаметра уширения и указанных выше других факторов. Несущая способность РИТ-сваи будет определяться конструктивными и физико-механическими характеристиками сваи, зоны уплотнения и грунтового основания. В целом образующееся уширение и уплотнённая зона грунта, примыкающая к уширению, значительно повышают несущую способность свай-РИТ. Такой фундамент и грунтовое основание образуют сложную по структуре и свойствам нелинейную и неоднородную систему деформируемых твёрдых тел [3], [4]. Размеры уширения, зоны уплотнения и её физико-механические характеристики подлежат определению. В качестве контрольного материала при выполнении указанных исследований были использованы результаты натурального эксперимента по определению несущей способности РИТ-свай, выполненные в отделе «Основания и фундаменты» РУП БелНИИС. Экспериментальные исследования свай-РИТ подтверждают их высокую несущую способность в сравнении с другими сваями равного объёма.

Моделирование зоны уплотнения. Грунтовое основание по структуре и свойствам считаем однородным. Согласно закону Паскаля взрывная волна в однородной среде по всем направлениям действует равнозначно. При устройстве РИТ-сваи диаметр образуемой полости будет зависеть от мощности и количества электровзрывов и их концентрации. Если взрывы производить в одной точке, то образуемая полость будет сферической. Если взрывы производить на некотором расстоянии по оси сваи, то образуемая полость будет квазицилиндрической. В обоих случаях образуемая полость будет характеризоваться своим объёмом V_{yui} и радиусом R_{yui} . Зона уплотнения образуется только в зоне РИО (резонансно – импульсной обработки) грунта и геометрически будет подобна зоне уширения. Внешний и внутренний радиусы зоны уплотнения R_{ynl} и R_{yui} , при этом толщина зоны уплотнения будет $R_{ynl} - R_{yui}$. Однородное грунтовое основание естественного залегания будет определяться постоянным значением своих физико-механических характеристик: модуль деформации E и коэффициент Пуассона μ . Для уплотнённого грунтового основания указанные характеристики будут функциями радиуса зоны уплотнения. Максимальное значение модуля деформации будет на

внутренней границе зоны уплотнения, на внешней границе модуль деформации будет равен его исходному значению. Механико-математическая модель модуля деформации зоны уплотнения может быть представлена степенной функцией гиперболического типа

$$E = a \cdot r^m, a > 0, n < 0; R_{уш} \leq r \leq R_{упл} \quad (1)$$

При $r = R_{упл}$ $E = E_0$, поэтому из (1) следует $E_0 = a R_{упл}^n$, $a = E_0 / R_{упл}^n$.

И уравнение (1) примет вид

$$E = E_0 \left(\frac{r}{R_{упл}} \right)^m \quad (2)$$

Рассмотрим состояние грунта в плане зоны уплотнения до и после устройства РИТ-сваи. Поставим в соответствие зоне уплотнения некоторое эквивалентное по несущей способности однородное грунтовое основание с модулем деформации $E_{экв}$ и коэффициентом Пуассона $\mu_{экв}$.

Коэффициент Пуассона μ является величиной переменной. Его значение определим исходя из закона изменения объема, согласно которому модуль объемной деформации остается постоянной величиной как в пределах, так и за пределами упругости [3], [5]:

$$\frac{E_0}{1 - 2\mu_0} = \frac{E_{экв}}{1 - 2\mu_{экв}^*},$$

где μ , $\mu_{экв}$ – постоянный и переменный коэффициенты Пуассона.

Из полученного выражения следует:

$$\mu_{экв} = 0,5 - E_{экв} / E_0 \cdot (0,5 - \mu).$$

На основании принципа стационарности деформационного потенциала начального состояния зоны РИО и зоны уплотнённого грунта получим

$$E_0 \cdot V_{упл} = (V_{упл} - V_{уш}) \cdot E_{экв}, \quad (3)$$

$$E_{экв} = \frac{V_{упл}}{V_{упл} - V_{уш}} \cdot E_0, \quad (4)$$

где $V_{упл}$ и $V_{уш}$ – объёмы зоны РИО и уширения РИТ-сваи, сфероиды.

Выражая эти объёмы через соответствующие радиусы, из (4) получим

$$E_{экв} = \frac{R_{упл}^3}{R_{упл}^3 - R_{уш}^3} \cdot E_0. \quad (5)$$

В [1], [2] рекомендуется при вычислениях принимать

$$R_{упл} = (3 - 3,5) R_{уш}. \quad (6)$$

Эта формула слишком общая, и её следует рассматривать как рекомендуемую форму функциональной связи радиусов соответствующих зон деформируемой области. Это значит, что числовые коэффициенты в (6) необходимо уточнять для грунтового основания конкретной строительной площадки. В настоящей работе содержатся авторские предложения по решению этой задачи методом математического и компьютерного объектно-ориентированного моделирования [5], [6], [7]. Для сравнительного анализа результатов моделирования использовались материалы экспериментальных исследований осадки сваи-РИТ, полученные в БелНИИС.

Экспериментальные исследования. Паспорт испытания сваи Рит-1 статической вдавливающей нагрузкой на опытной площадке ОП 1 (глинистые грунты).

1. Характеристика сваи РИТ-1: буронабивная, выполнена по технологии РИТ с диаметром ствола 151 мм, длина 3 м, с уширением в уровне пяты диаметром 460 мм.

2. Вид испытания статической вдавливающей нагрузкой по СТБ 2242.

3. Грунтовые условия:

Пылеватый суглинок на всю разведанную глубину:

- удельный вес γ , кН/м³ – 19,4;
- угол внутреннего трения φ , град – 23;
- сцепление c , МПа – 0,018;
- модуль деформации E , МПа – 6.

При компьютерном моделировании осадка сваи определялась:

- для РИТ-свай с заданными характеристиками с уширением, но без учёта уплотнения;
- для РИТ-свай с заданными характеристиками с учетом уширения и уплотнения при различных радиусах зоны уплотнения.

Результаты вычислений осадки свай-РИТ при различных нагрузках, полученные методом натурного эксперимента и методом компьютерного моделирования, представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

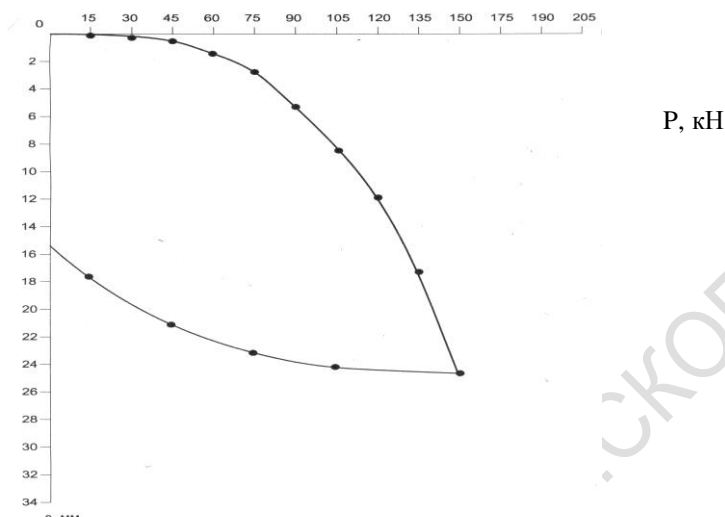


Рисунок 1 – График испытания свай-РИТ статической вдавливающей нагрузкой

Таблица 1 – Осадка свай-РИТ с учетом уплотнения и нелинейности деформирования (mm)

P(т)	S _{оп}	S _{км1}	S _{км2}	S _{км3}	S _{км4}	S _{км5}
0	0	0	0	0	0	0
1,5	0,05	0,046	0,04	0,055	0,05	0,05
3	0,3	0,26	0,24	0,29	0,32	0,34
4,5	0,8	0,76	0,72	0,9	1	1,1
6	1,6	1,67	1,62	2	2,33	2,55
7,5	3,2	3,1	3	3,7	4,4	4,94
9	5,3	5,1	5,1	6,2	7,5	8,48
10,5	8,6	8	7,9	9,5	11,8	13,4
12	12	11,8	11,5	13,9	17,35	19,9
13,5	17,2	16,5	16,1	19,3	24,5	28,3

В таблице и на рисунке приняты следующие обозначения осадки свай-РИТ при вариантах физико-механических и геометрических характеристик зоны уплотнения:

– S_{оп} – осадка свай-РИТ, полученная методом натурного эксперимента при исходных постановочных данных;

– S_{км1} – осадка свай, вариант № 1, компьютерное моделирование, R_{упл} = 28 см, E_{экр} = 13,4 МПа, μ_{экр} = 0,28;

– S_{км2} – осадка свай, вариант № 2, компьютерное моделирование, R_{упл} = 33 см, E_{экр} = 9,0 МПа, μ_{экр} = 0,37;

– S_{км3} – осадка свай, вариант № 3, компьютерное моделирование, R_{упл} = 46 см, E_{экр} = 6,9 МПа, μ_{экр} = 0,36;

– S_{км4} – осадка свай, вариант № 4, компьютерное моделирование, R_{упл} = 69 см, E_{экр} = 6,2 МПа, μ_{экр} = 0,39;

– S_{км5} – осадка свай, вариант № 5, компьютерное моделирование без учёта уплотнения, R_{упл} = 23 см, E_{экр} = 6,0 МПа, μ_{экр} = 0,39.

Анализ результатов компьютерного моделирования и натурного эксперимента показывает, что

– при нагрузках P < 6 т влияние уплотнения на осадку свай незначительно;

– учёт уплотнения грунта в зоне РИО привел к снижению осадки на ≈ 60 %;

– при условии R_{упл} = 3 R_{упл}, вариант № 4 сравним с вариантом № 5 и противоречит опытными данным S_{оп};

– при условии $R_{упл} = (1,2 - 2) R_{уш}$, вариант № 2 и вариант № 3 сравнимы с опытными данными $S_{оп}$, (таблица 2).

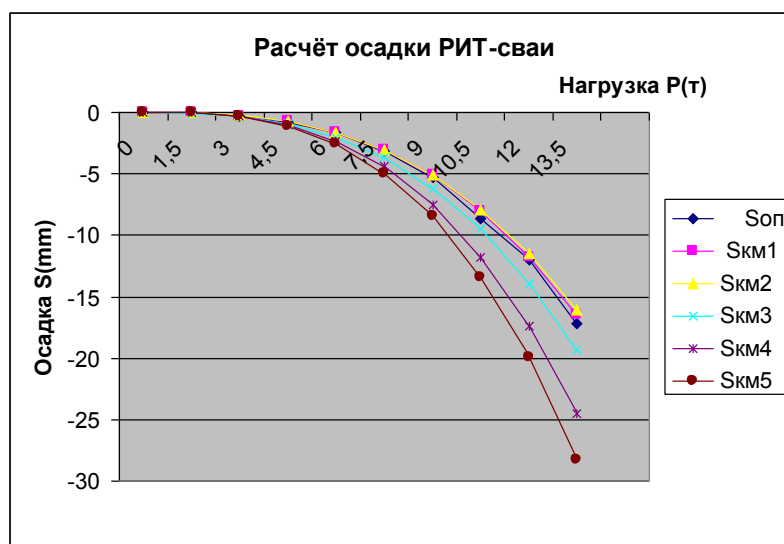


Рисунок 2 – Осадки сваи-РИТ

Таблица 2 – Осадка сваи-РИТ для эквивалентных зон уплотнения (mm)

P (т)	S оп	S км2	S км3
0	0	0	0
1,5	0,05	0,04	0,055
3	0,3	0,24	0,29
4,5	0,8	0,72	0,9
6	1,6	1,62	2
7,5	3,2	3	3,7
9	5,3	5,1	6,2
10,5	8,6	7,9	9,5
12	12	11,5	13,9
13,5	17,2	16,1	19,3

Следовательно, моделируемые варианты Sкм2 или Sкм3, эквивалентные по несущей способности зоны уплотнения при резонансно-импульсной обработке и учитывающие изменённые значения её физико-механических характеристик, могут быть приняты при расчёте осадки и несущей способности сваи-РИТ с учетом уплотнения и нелинейности деформирования грунтового основания.

Литература

1. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция. – Стройиздат – М. : 2011.
2. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполненных с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи-РИТ) ГР 50-180-06. – М. : 2006.
3. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М : Стройиздат, 1963. – 542 с.
4. Быховцев, В.Е. Компьютерное объектно-ориентированное моделирование нелинейных систем деформируемых твёрдых тел / В.Е. Быховцев. – Гомель : УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2007. – 219 с.
5. Безухов, Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – М : Высш. шк., 1968. – 512 с.
6. Бондарева, Ю.Д. Моделирование методом конечных элементов неоднородных систем деформируемых твёрдых тел / Ю.Д. Бондарева // Известия Гомельского гос. университета им. Ф. Скорины. – 2015. – № 6 (93) – С. 80–86.
7. Журавков, М.А. Математическое моделирование деформационных процессов в твёрдых деформируемых средах / М.А. Журавков. – Мн. : БГУ, 2002. – 456 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ