РАЗДЕЛ I. АРХИТЕКТУРА

Алексеев С.И.

Формирование зоны закрепления грунта вдоль иньектора – микро сваи при цементации основания под фундаментами реконструируемых зданий

*Петербургский государственный университет путей сообщения императора
Александра I
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-08-2020-01

idsp: sciencerussia-10-08-2020-01

Аннотация

Рассматривается задача формирования зоны проникновения инъекционно-цементного раствора в грунт вдоль ствола иньектора - микро свай [1] усиления основания при давлениях до 8 МПа. Приведена аналитическая функциональная зависимость напорного проникновения закрепляемого цементационного раствора через перфорированный участок иньектора, позволяющая рассчитать диаметр зоны закрепления грунта и, таким образом, определить условный диаметр металлической микро сваи после выполненной цементации. Приводится численный пример расчёта усиления основания для бутового фундамента в конкретных геологических условий – пылеватых песках. Рассмотрена задача усиления реконструируемого фундамента в виде устройства металлических микро свай - иньекторов с инъекционно-цементным закреплением основания при различном избыточном нагнетаемом давлении.

Ключевые слова: цементация основания, усиление основания, микро сваи, иньектор для нагнетания раствора, реконструкция фундаментов.

Конструкция микро свай усиления основания под фундаментами реконструируемых зданий

Формирование закреплённой зоны основания вдоль иньектора – микро сваи достигается путем нагнетания раствора под давлением через иньектор и его проникновения в окружающий грунт.

Иньектор – микро свая [2] состоит (рис.1) из металлической перфорированной трубы 1 с конусным наконечником 2. Перфорация выполняется в виде четырех эллипсоидных или круглых отверстий 3 (по две взаимно перпендикулярные пары), закрытые жестяными пластинами 4. На верхней части трубы 1 расположен съёмный тройник 5 с отверстием 6 для подачи раствора, который снабжен металлической крышкой 7, используемой в виде опоры при погружении иньектора динамическим или вибрационным воздействием.

Рис. 1. Конструкция составного забивного трубчатого иньектора – микро сваи [1] и фото иньектора после погружения его через конструкцию пола подвала

Монтаж и эксплуатация микро сваи осуществляется следующим образом. Металлическая перфорированная труба 1 с конусным наконечником 2 последовательными ударами (или вибропогружением) по металлической крышке 7, вкрученной в тройник 5, погружается в грунт с одновременной подачей напорной растворной смеси через отверстие 6. При подаче раствора под давлением через эллипсоидные или круглые отверстия 3, жестяные пластины 4 отжимаются, и растворная смесь заполняет образовавшееся пространство. Следует подчеркнуть, что пластины 4 предназначены для защиты отверстий перфорированной трубы от возможной забивки их окружающим грунтом, однако в ряде случаев они могут отсутствовать (такие условия и рассматриваются в представленном аналитическом решении).

Принципиальная схема формирования закрепленной зоны вдоль иньектора – микро сваи при напорной цементации основания под подошвой фундамента приведена на рис. 2.

Расчётное обоснование

С учётом принятых обозначений (рис. 2) представляется возможным решить поставленную задачу, цель которой - определение зоны проникновения цементного раствора в грунт основания вдоль иньектора с вычислением величины d_1 – диаметра закрепленного элемента – около свайного пространства.

Рис. 2. Схема формирования закрепленной зоны вдоль иньектора – микро сваи при цементации основания. 1 - бутовый фундамент; 2 - иньектор – труба диаметром d ; 3 - зона проникновения раствора от стенок иньектора диаметром d_1 ; σ - давление цементного раствора в иньекторе; σ_{zp} – эпюра дополнительного уплотняющего давления под подошвой фундамента; σ_{zq} – эпюра природного давления грунта; σ_0 – ордината эпюры дополнительного уплотняющего давления в уровне подошвы фундамента

Следует отметить, что подобные задачи об уплотнении грунтового основания вокруг забиваемой сваи рассматривались многими исследователями, начиная с работ К. Терцаги [3] в 30 годах прошлого столетия.

Поставленную задачу решаем на основе следующих принятых допущений:

- 1) Рассматриваем условия максимального давления грунта под центром тяжести подошвы фундамента с учетом определения напряжений σ_{zp} и σ_{zq} .
- 2) Давление цементного раствора в иньекторе σ через отверстие ($F_{отв.}$) в перфорированной трубе рассматриваем как действие сосредоточенной силы $P_u = \sigma \cdot F_{отв.}$.

Проникновение цементного раствора через перфорацию в трубе или отверстие (позиция 3 на рис. 1) возможно только при условии преодоления давления в грунтовом основании, тогда аналитически можно записать:

$$\sigma_u \geq \xi(\sigma_{zp(от)} + \sigma_{zq(от)}) \geq \xi(\alpha\sigma_0 + \gamma_v h + \gamma_{пy}), \quad (1)$$

где ξ - коэффициент, зависящий от бокового давления грунта, $\xi = \mu / (1-\mu)$; μ - коэффициент Пуассона (бокового давления грунта); σ_u - давление в грунтовой среде от действия силы P_u ; $(\sigma_{zp(от)} + \sigma_{zq(от)})$ - суммарное горизонтальное давление в грунте от фундамента и собственного веса на отметке расположения отверстия; α - коэффициент рассеивания давления σ_0 соответствует расстоянию от подошвы фундамента - глубине (y) расположения отверстия в инъекторе [4]; γ_v - удельный вес грунта выше подошвы фундамента; $\gamma_{п}$ - удельный вес закрепляющего грунта под подошвой фундамента.

Формирование зоны закрепления грунта основания вдоль трубы инъектора может быть представлено в виде схемы на рис. 3.

Рис. 3. Схема воздействия цементного раствора из отверстия инъектора на грунтовое основание. 1 – инъектор - труба диаметром d ; 2 – отверстие в инъекторе площадью $F_{отв.}$; d_1 – зона (диаметр) проникновения раствора от стенок инъектора; z – глубина проникновения раствора; σ – давление цементного раствора в инъекторе; P_u – сосредоточенная сила от давления раствора на грунт; σ_u – давление в грунтовой среде от действия силы P_u

Тогда, в соответствии со схемой на рис. 3 получим, что $d_1 = d + 2z$.

Определим глубину (z) проникновения цементного раствора от стенки инъектора в сторону закрепляемого основания, для этого рассмотрим условие равновесия в уравнении (1). В этом случае, на основе принятых допущений, для левой части уравнения (1) можно принять известное выражение:

$$\sigma_u = 3P_u / z^2 \cdot 2\pi \quad (2)$$

Подставляя выражение (2) в уравнение (1), получим:

$$3P_u / z^2 \cdot 2\pi = \xi(\alpha\sigma_0 + \gamma_v h + \gamma_{пy}),$$

Отсюда:

$$z = \sqrt{\frac{3 \cdot P_u}{2\pi \cdot \xi(\alpha\sigma_0 + \gamma_v h + \gamma_{пy})}} = \sqrt{\frac{3\sigma \cdot F_{отв.}}{2\pi \cdot \xi(\alpha\sigma_0 + \gamma_v h + \gamma_{пy})}}, \quad (3)$$

где $P_u = \sigma \cdot F_{отв.}$.

Представленное решение (3) позволяет определить величину (z) проникновения цементного раствора в закрепляемое грунтовое основание на различных глубинах (y) расположения отверстий инъектора от подошвы фундамента в зависимости от следующих факторов:

- плотности (удельного веса) грунта,
- создаваемого давления в инъекторе (σ),
- площади ($F_{отв.}$) выходного отверстия раствора из инъектора,

- d. напряженного состояния грунта $\sigma_{zp(от)} + \sigma_{zq(от)}$ – суммарного горизонтального давления в грунте от фундамента и собственного веса на отметке расположения отверстия.

Численный пример.

Проанализируем решение поставленной задачи (определение зоны проникновения цементного раствора вдоль инъектора с вычислением величины d_1 – диаметра закрепленного элемента) на основе численного примера:

Предположим, что необходимо выполнить усиление основания – пылеватого песка средней плотности для ленточного бутового фундамента с использованием металлического инъектора – микро сваи диаметром $d=0,04$ м при следующих исходных данных (обозначения используемых величин см. выше):

$\sigma = 200 \dots 800 \text{ кН/м}^2$; $F_{отв.} = 0,00047728 \text{ м}^2 = 4,7728 \times 10^{-4} \text{ м}^2$; $\xi = 0,429$; $\mu = 0,3$; $h = 1,45$ м; $\gamma_v = 16,5 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_n = 19,3 \text{ кН/м}^3$; $\sigma_0 = 331,4 \text{ кН/м}^2$.

Подставляем исходные данные в формулу (3):

При $\sigma = 200 \text{ кН/м}^2$, для $y=0$, т.е. расположения отверстий инъектора в уровне подошвы фундамента (при $a=1$), получим:

$$z = \sqrt{\frac{3\sigma \cdot F_{отв.}}{2\pi \cdot \xi (\alpha \sigma_0 + \gamma_v h + \gamma_n y)}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 200 \cdot 0,00047728}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,429 (331,4 + 16,5 \cdot 1,45)}} = 0,017 \text{ м}$$

Аналогичные вычисления z для других значений σ , а также при различной глубине (y) расположении отверстий инъектора относительно подошвы фундамента, представим в виде таблицы 1.

Таблица 1.

№ п/п	Давление цементного раствора σ в инъекторе (МПа)	Глубина (z) проникновения цементного раствора от стенки инъектора (м), при $y=0$	Тоже при $y=0,5$ м	Тоже при $y=0,75$ м	Тоже при $y=1,0$ м	Тоже при $y=1,5$ м
1	0,2	0,017	0,018	0,019	0,020	0,022
2	0,3	0,021	0,022	0,023	0,025	0,027
3	0,4	0,025	0,026	0,027	0,029	0,032
4	0,5	0,027	0,028	0,030	0,032	0,035
5	0,6	0,030	0,031	0,033	0,035	0,039
6	0,7	0,032	0,034	0,036	0,038	0,042
7	0,8	0,035	0,036	0,038	0,040	0,045

Как видно из представленных результатов расчётов (табл. 1), глубина (z) проникновения цементного раствора в закрепляемое грунтовое основание в зависимости создаваемого давления в инъекторе $\sigma = 200 \dots 800 \text{ кН/м}^2$ ($0,2 \dots 0,8$ МПа) (при $y=0$) меняется в пределах от 0,017 до 0,035м (третий столбец таблицы). Тогда зона проникновения раствора от стенок инъектора диаметром $d_1 = d + 2z$ будет также увеличиваться от 7,4 до 11 см.

Анализируя результаты вычислений в табл.1 построчно, не трудно заметить, что:

- ✓ при $\sigma = 0,2$ МПа (1 строка таблицы) диаметр d_1 микро сваи усиления будет изменяться от 7,4 см на отметке подошвы фундамента, до 8,4 см на глубине 1,5 м.
- ✓ при $\sigma = 0,3$ МПа (2 строка таблицы) будем иметь соответственно d_1 в пределах от 8,2 см до 9,4 см.
- ✓ при $\sigma = 0,4$ МПа (3 строка таблицы) будем иметь соответственно d_1 в пределах от 9,0 см до 10,4 см.
- ✓ при $\sigma = 0,5$ МПа (4 строка таблицы) будем иметь соответственно d_1 в пределах от 9,4 см до 11,0 см.

- ✓ при $\sigma = 0,6$ МПа (5 строка таблицы) будем иметь соответственно d_1 в пределах от 10,0 см до 11,8 см.
- ✓ при $\sigma = 0,7$ МПа (6 строка таблицы) будем иметь соответственно d_1 в пределах от 10,4 см до 12,4 см.
- ✓ при $\sigma = 0,8$ МПа (7 строка таблицы) будем иметь соответственно d_1 в пределах от 11,0 см до 13,0 см.

Анализ полученных результатов расчёта позволяет построить графическую зависимость d_1 от σ (рис. 4), на различных глубинах (y) расположения отверстий инъектора от подошвы фундамента.

Рис. 4. График зависимости зоны проникновения цементного раствора от стенок инъектора (микро сваи) диаметром d_1 от создаваемого давления в инъекторе σ , для заданных условий рассматриваемого примера; 1 – при $y=0$ (на отметке подошвы фундамента); 2 – при $y=1,0$ м; 3 – при $y=1,5$ м

В результате выполненные расчёты по формуле (3) позволяют фактически определить диаметр d_1 закреплённого грунта, вокруг погружаемого инъектора или условный поперечный размер микро сваи усиления основания.

Выводы.

1. Представленная расчётная зависимость определения глубины проникновения закрепляемого раствора от стенки инъектора, позволяет вычислять условный диаметр микро сваи при внедрении её в усиливаемое основание. Следовательно, повышается точность инженерных расчётов при определении их несущей способности на различных этапах проектирования.

2. Проникновение закрепляемого инъекционного раствора в усиливаемое основание зависит как от создаваемого давления, параметров инъектора, так и от напряжённо-деформированного состояния закрепляемого основания, его физико-

механических характеристик и, таким образом, может быть прогнозировано в проекте в зависимости от решения поставленной задачи.

1. Алексеев С. И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Избранные гла-вы. Учебное пособие (для магистрантов и аспирантов строительных специальностей), Издательство АСВ. М. 2019 г.
2. Алексеев С.И., Городнова Е.В., Пашин К.С., Хисамов Р.Р. Патент на полез-ную модель RU 127768 U1, 10.05.2013. Заявка № 2012156988/03 от 25.12.2012.<http://www.buildcalc.ru/Common/Images/Pile-127768-2012-12-25.jpg>
3. К. Терцаги. Строительная механика грунта на основе его физических свойств. ГОССТРОЙИЗДАТ.1933 г.
4. Свод правил. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054206>

Алексеев С.И.

Использование системы дистанционного образования при выполнении лабораторных работ по механике грунтов для студентов строительных специальностей

*Петербургский государственный университет путей сообщения императора
Александра I
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-08-2020-02

ids: sciencerrussia-10-08-2020-02

Аннотация

Широкое применение системы дистанционного образования (СДО) в высшей школе, ставит новые задачи по реализации специальных технических дисциплин. Особое значение в этом отношении имеют лабораторные работы, которые в классическом варианте всегда выполнялись в специализированных лабораториях – в аудиториях ВУЗа. В современных условиях необходим новый подход к реализации учебных программ, который приведён в качестве примера при рассмотрении одной из лабораторных работ по курсу «Механика грунтов» с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. Рассмотрен метод определения модуля деформации песка на основе штампового испытания с построением и анализом графиков нелинейного деформирования основания. Защита выполненной лабораторной работы осуществляется с использованием тематического теста.

Ключевые слова: Система дистанционного образования, лабораторные работы, механика грунтов, методика определения модуля деформации грунта, штамповые испытания.

Лабораторная работа:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ПЕСКА НА ОСНОВЕ ШТАМПОВОГО ИСПЫТАНИЯ

Теоретическая часть:

Нелинейность деформирования основания при нагружении.

По результатам многочисленных штамповых и натурных испытаний фундаментов, между давлениями (Р) в основании под подошвой фундамента (штампа) и его деформациями (S) (осадкой) может быть построена нелинейная зависимость (рис. 1).