

УДК 69.059.22

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
БУРОИНЪЕКЦИОННОЙ СВАИ С ЛОКАЛЬНЫМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ В
ГРУНТЕ И ОКРУЖАЮЩЕГО ЕЕ ГРУНТОВОГО МАССИВА**

к.т.н., доцент, Литовченко П.А., аспирант, Ищенко Т.В.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,
Симферополь, Украина*

Введение. В результате значительного увеличения объемов применения буроинъекционных свай возникает необходимость совершенствования методики их расчета. Кроме того, в практику строительства начали внедрять буроинъекционные сваи с зонами локального закрепления в грунте [5], для которых традиционные инженерные методики не позволяют достаточно достоверно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) как самой сваи, так и окружающего ее грунта. Создание современной компьютерной базы послужило мощным толчком к наработке методик расчета различных строительных конструкций методом конечных элементов (МКЭ). Основа физической концепции МКЭ – это разбиение математической модели конструкции на непересекающиеся компоненты (подобласти), называемые конечными элементами. Механическое поведение каждого элемента выражается с помощью конечного числа степеней свободы или значений искомых функций во множестве узловых точек. Поведение математической модели, таким образом, аппроксимирует поведение дискретной модели, полученной путем сборки всех элементов [7]. Однако когда вопрос касается конструкций взаимодействующих с грунтом, возникают трудности при создании моделей, достаточно адекватно описывающих их напряженно-деформированное состояние и пригодных для практических расчетов. Поэтому проблема разработки методики создания расчетной модели, отражающей реальное поведение таких конструкций, на сегодняшний день является актуальной.

Анализ публикаций. Проблема посвящены работы многих авторов. До недавнего времени, при моделировании свайного основания, использовали методики расчета, в основном построенные на упрощенной расчетной схеме, что, в первую очередь, было связано с нехваткой мощностей вычислительной техники. К наиболее распространенным моделям свайного основания относят следующие типы расчетных схем [3]:

- грунт моделируют упругими опорами, жесткость которых характеризуются сжимаемостью основания в вертикальном и горизонтальном направлении. Сваи в грунте рассматривают как стержни в упругой среде с двухсторонними связями по боковой поверхности в трех направлениях. Жесткости связей определяют при горизонтальной и вертикальной нагрузке. Проблемой таких моделей является определение характеристик множества упругих связей.

- основание со сваями моделируют упругими опорами переменной жесткости. Жесткости опор характеризуются коэффициентами жесткости в

трех направлениях. В данном случае не моделируют условия взаимодействия сваи и ростверка и не определяют армирование сваи.

Недостаток таких схем, в том, что они не позволяют оценить напряженно-деформированное состояние грунтового массива. Поэтому сегодня основной задачей является наработка методик моделирования пространственного массива грунтового основания и сваи с помощью метода конечных элементов.

На рынке программного обеспечения представлено множество специализированных программных комплексов, реализующих метод конечных элементов и ориентированных на решение задач геотехники (ANSYS, Civil FEM, Plaxis и др.). Однако указанные комплексы имеют некоторую ограниченность в силу «запрограммированной» в них ориентации на определенные нормы проектирования, и их применение для исследовательских задач затруднено. Поэтому, несмотря на несколько ограниченные возможности в отношении решения геотехнических задач, в настоящее время ПК «Лира» является одним из наиболее универсальных и популярных программных комплексов, так как зачастую область решаемых инженером задач выходит за ограничения, накладываемые на методы их решения нормами проектирования.

В большинстве случаев в ПК «Лира» сваю в грунте моделируют с помощью универсального пространственного стержневого элемента, а грунт - с помощью объемных физически нелинейных конечных элементов грунта. Модель одиночной сваи в грунте подробно описана в работе [8]. В работе [4] модель была доработана, свая была смоделирована с помощью объемных физически нелинейных конечных элементов, что позволило учесть нелинейную работу материалов. В обеих работах расчет производили на действие вертикальной вдавливающей нагрузки.

Одной из проблем создания расчетной схемы является сложность моделирования взаимодействия грунта и сваи. Чаще всего при моделировании принимают, что узлы КЭ грунта связаны с соответствующими узлами КЭ сваи. Таким образом, получается, что свая с грунтом сцеплена намертво, при этом не учитывается возможное ее проскальзывание. Встречаются варианты моделирования контакта свая-грунт различными конечными элементами трения (КЭ 55, КЭ 255, КЭ 264). Такой подход применим в случае моделирования сваи универсальным пространственным стержневым элементом, и позволяет создать механизм ограничения передачи усилия по боковой поверхности сваи.

Таким образом, следует отметить, что к настоящему моменту нет однозначной общепринятой методики построения расчетной схемы одиночной сваи в грунтовом массиве, а существующие методики формирования численной модели методом конечных элементов при разных подходах дают большой разброс результатов.

Цель работы. Построение пространственной модели буроинъекционной сваи с локальным закреплением в грунте и окружающего ее грунтового массива методом конечных элементов в ПК «Лира 9.6» адекватно отображающей напряженно-деформированное состояние системы при

действию вертикальной вдавливающей и выдергивающей нагрузки.

Методика исследований. Численную модель на основе ПК «Лира 9.6» создавали в объемной постановке. Расчетную схему разбивали на 3 области с различными характеристиками: 1 – буроинъекционная свая; 2 – зоны локального укрепления свай; 3 - многослойное основание. При разбиении на конечные элементы было выполнено сгущение сетки конечных элементов в области контакта грунтового массива и свай.

Вся модель имеет цилиндрическую форму. В расчетной схеме сваю и локальное укрепление моделировали с помощью объемных физически нелинейных конечных элементов (КЭ 231 и КЭ 233) (рис.1а), позволяющих учитывать физически нелинейное поведение материалов.

Грунтовое основание построено с помощью физически нелинейных конечных элементов грунта (КЭ 271 и КЭ 276), которые позволяют смоделировать одностороннюю работу грунта на сжатие с учетом сдвига (рис.1б), при этом было выбрано два критерия пластичности: Кулона-Мора – для известняка, Мизеса-Боткина-Шлейхера – для глины. По краям модель грунта закрепляли от перемещений по X,Y, внизу - по всем направлениям (X, Y, Z, UX, UY, UZ).

Совместную работу грунта и боковой поверхности сваи позволяет смоделировать одноузловой конечный элемент трения КЭ 263 (рис. 1в) [2].

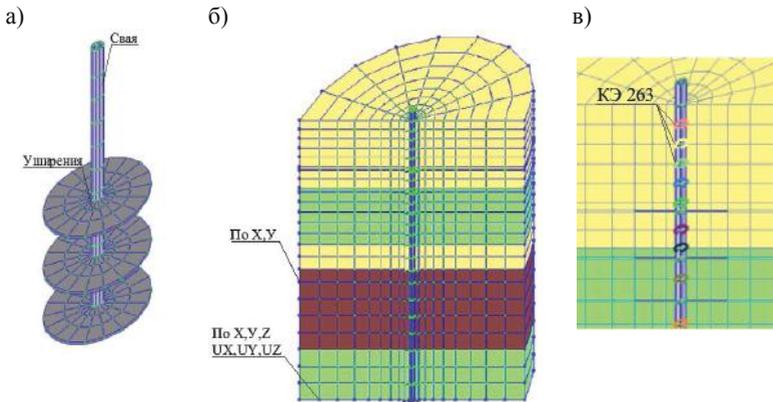


Рис.1 Численное моделирование одиночной сваи в грунтовом массиве:

а - модель сваи с привлечением КЭ 231 и КЭ 233;

б - модель грунтового основания конечными элементами КЭ271 и КЭ276;

в - моделирование трения по боковой поверхности сваи

Расчет вели шагово-итерационным методом. Чтобы не учитывать перемещения грунта от собственного веса, применили систему «Монтаж», которая предназначена для компьютерного моделирования процесса возведения сооружений и предусматривает монтаж и демонтаж элементов, изменение условий закрепления конструкций или сопряжения элементов

между собой в процессе возведения. Для построенной модели задавали следующие стадии монтажа:

1 – создается весь массив грунта; нагрузка – собственный вес грунта;

2 – создается свая с локальным укреплением, а также включаются в работу элементы трения (КЭ 263); нагрузка – собственный вес конструкции. При этом перемещения от собственного веса грунта обнуляются;

3 – является пустой, то есть без указания элементов; на этой стадии задается полезная нагрузка на сваю.

Данные для верификации расчетной модели были приняты по результатам натурного испытания свай на объекте: «Встроенный торговый комплекс с 16-этажным жилым домом» по ул. Капитанская в г.Севастополе».

Результаты исследования. По результатам численных исследований, получена качественная картина напряженно-деформированного состояния грунтового массива взаимодействующего с одиночной буроинъекционной свайей с локальным закреплением в грунте, вычислены перемещения сваи от вдавливающей и выдергивающей нагрузок.

Мозаики расчетных напряжений (рис.2) показывают, что напряжения в грунте не локализуются в зонах локальных закреплений свай, а распределяются по всей длине сваи с формированием пиковых значений в местах закрепления. За зонами локальных закреплений по ширине грунтового массива пиковые значения напряжений в грунте нивелируются по мере удаления от ствола сваи.

На рис.3 приведены зависимости показывающие изменение расчетных и фактических осадок и вертикальных перемещений оголовка сваи от вдавливающей и выдергивающей нагрузок соответственно.

На рисунке 3 обозначено: СВ-316 и СВ-186 – кривые, полученные по результатам натурного испытания свай; СВ-В-1 и СВ-ВЫД-1– расчетные кривые, полученные по результатам моделирования свай без учета сил трения по боковой поверхности ствола сваи; СВ-В-2 и СВ-ВЫД-2– расчетные кривые, полученные по результатам моделирования свай с учетом сил трения по боковой поверхности ствола сваи.

Расхождения между результатами расчета численной модели сваи воспринимающей вертикально вдавливающую нагрузку без учета элемента трения (СВ-В-1) и экспериментальными данными (СВ-316) не превысили 25%. Учет сил трения по боковой поверхности ствола сваи (СВ-В-2) снизил максимальное расхождение между расчетными и опытными данными до 11%.

При действии вертикальной выдергивающей нагрузки расхождения между экспериментальными данными (СВ-189) и результатами численного моделирования без учета сил трения (СВ-ВЫД-1) не превысили 9%. Введение в модель конечного элемента трения увеличило расхождение между экспериментальными данными и результатами расчета (СВ-ВЫД-2) до 15%.

Для обоих вариантов приложения нагрузки численные модели без учета сил трения занижали несущую способность сваи, а с учетом сил трения несколько ее завышали, особенно при действии выдергивающей нагрузки. Это можно объяснить тем, что при назначении характеристик конечных элементов грунта использован ограниченный набор характеристик грунта,

регламентированный нормами инженерно-геологических изысканий.

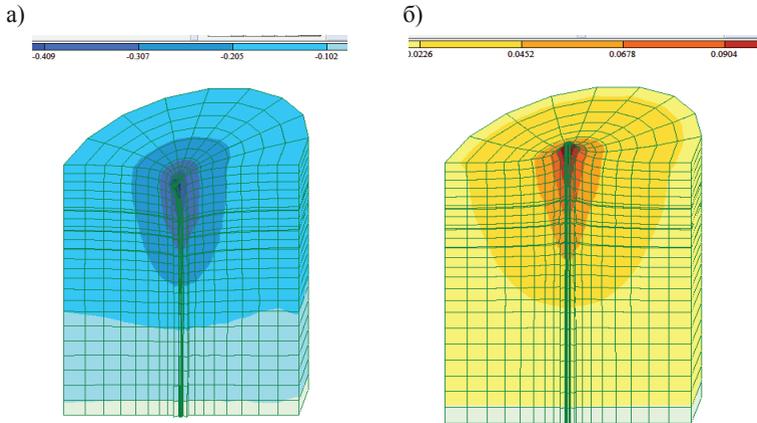


Рис. 2. Напряженно-деформируемое состояние массива грунта: а - от вдавливающей нагрузки; б - от выдергивающей нагрузки.

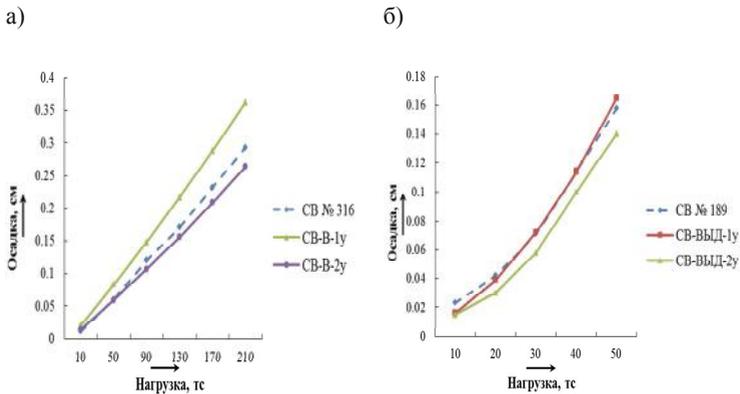


Рис. 3. Зависимость перемещения оголовка сваи от действия: а - вертикальной вдавливающей нагрузки; б - вертикальной выдергивающей нагрузки.

Выводы:

1. Предложенный метод построения пространственной модели позволяет оценить НДС не только буройнъекционной сваи с локальным закреплением в грунте, но и окружающего грунтового массива.
2. Передача вертикальной и выдергивающей нагрузки на грунтовое

основание для рассматриваемого типа свай происходит не только за счет сил сцепления ствола сваи с нагнетаемым в грунт раствором, но и сил трения, возникающих на боковой поверхности контакта ствола сваи с грунтом. По мере удаления от ствола сваи по ширине грунтового массива пиковые значения напряжений в грунте, возникающие в местах расположения локальных закреплений нивелируются.

3. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными, показали их достаточную сходимость, что свидетельствует о приемлемости разработанной расчетной модели и достоверности принятых предпосылок.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна № 1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – Взамен СНІП 2.02.03-85; Введ. 01.07.2011. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011.
2. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций (издание второе и дополненное): Учебное пособие. – Киев: Факт, 2007. – 394с.
3. Линченко Ю.П. Моделирование свайного основания здания с применением интегральных элементов./ Ю.П. Линченко, А.Е. Шуст // Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов НАПКС. - Симферополь, 2010.-Выпуск 33-34.-С. 176-182
4. Литовченко П.А., Игнатенко Н. А. Особенности передачи вертикальной загрузки буроинъекционными сваями с локальным закреплением грунта./ Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов НАПКС. - Симферополь, 2011.-Выпуск 38.-С. 65-71.
5. Литовченко П.А., Панасюк Т.В. Буроинъекционные сваи с локальным закреплением грунта проблемы расчета и проектирования./ Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов НАПКС. - Симферополь, 2012.-Выпуск 44.-С. 54-58.
6. Рекомендации по применению буроинъекционных свай/ НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М., Стройиздат, 1984 г – 28 с.
7. Строкова Л.А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов. Учебное пособие.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.-143с.
8. Чихладзе Э. Д. Оценка несущей способности основания тоннеля метрополитена, укрепленного микросваями / Э. Д. Чихладзе, А. В. Лобяк, Г. Л. Вагуля, Д. Н. Макеев // Залізн. трансп. України . - 2010. - № 4. - С. 38-40.