

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БУРОНАБИВНЫХ МИКРОСВАЙ С КОНЦЕВЫМ УШИРЕНИЕМ ИЗ ЩЕБНЯ

Н. В. Купчикова, В. С. Алёхин***

**Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет (Россия)*

***ООО «Подземпроект» (г. Москва, Россия)*

Выполнены лабораторный и полевой эксперимент; численные расчеты в двухмерной и трёхмерной постановке для определения НДС фундамента с помощью программного комплекса MIDAS GTS_NX, реализующем метод конечных элементов и разработанной для сложных геотехнических задач; даны некоторые рекомендации для внедрения. В ходе экспериментальных и численных исследований установлены зависимости деформационно-прочностных параметров работы фундамента глубокого заложения состоящего из буронабивных микросвай с уширенной пятой, а именно диаметра сваи, фракции и объёма щебня, диаметра уплотнения грунтового полупространства, а так же развитие теории формирования геометрии концевых уширений из втрамбованного щебня в форме эллипсоида вращения. Натурные обмеры уширений буронабивных микросвай показали, что их форма близка к форме эллипсоида вращения, а соотношение полуосей находится в прямой зависимости от характеристик грунта и объёма щебня, что было учтено при построении конечно-элементной модели в численном моделировании эксперимента.

Ключевые слова: *буронабивная свая, напряженно-деформированное состояние, лабораторные, натурные и численные исследования, втрамбованный щебень*

Laboratory and field experiment; numerical calculations in two-dimensional and three-dimensional formulation for determination of VAT base with the help of the MIDAS software GTS_NX implementing the finite element method and developed for complex geotechnical issues; some recommendations for implementation. In the course of experimental and numerical studies of the dependence of deformation and strength parameters of the deep Foundation consisting of drilled micropiles with extended fifth, namely, the diameter of the piles, fractions and volume of the crushed stone, the diameter of the compaction of the soil half-space, as well as the development of the theory of the formation of the geometry of the end caps of trambovanija gravel in the form of an ellipsoid of rotation. In-situ measurements of broadening of bored micropiles showed that their shape close to the ellipsoid of rotation, and the ratio of semiaxes is directly dependent on the soil characteristics and the amount of rubble, which was taken into account when building the finite element model in the numerical simulation of the experiment.

Keywords: *bored piles, the stress-strain state, laboratory, field and numerical study, trambovanii gravel.*

Исследования напряженно-деформированного состояния буронабивной сваи с уширенной пятой из втрамбованного щебня выполняли с помощью метода конечных элементов и его реализации на ПК. Расчет выполнялся в программном комплексе MIDAS GTS_NX, реализующем метод конечных элементов. GTS NX является программой, разработанной для детальных расчетов грунтовых (наземных и подземных) сооружений и

туннельных систем. В программе реализованы различные методы расчетов, такие как: статический расчет, динамический расчет, расчет фильтрации, сопряженный расчет фильтрации и напряженно-деформированного состояния, расчет консолидации, расчет поэтапности возведения. Эффективность расчетов в GTS NX обеспечивается специализированными конечными элементами для точного моделирования грунтов и подземной части здания. Для геометрического моделирования в GTS NX могут быть использованы различные библиотеки конечных элементов. Различные элементы могут быть использованы для линейных и нелинейных расчетов напряженно-деформированного состояния, фильтрации, консолидации и других видов сопряженных расчетов [1–9].

Для выполнения расчетов в GTS NX были использованы следующие типы элементов:

- *Трехмерные элементы (3 Dimensional shape element).*

Элементы в форме пентаэдра и гексаэдра, которые могут иметь 4/5/6/8/10/13/15/20 узлов. Пентаэдры могут иметь форму пирамиды или призмы.

- *Элементы интерфейса (контактные элементы) (Interface element).* Элементы, используемые для моделирования взаимодействия между поверхностями или линиями разграничения. К элементам данного типа относятся контактные элементы типа «грань-грань» с 6/8/12/16 узлами. Для моделирования поведения грунта использовалась нелинейная модель Мора – Кулона. Минимальный шаг разбиения сетки – 20 мм.

На рис. 1 и 2 представлены: конечно-элементная модель сваи с уширением из щебня и без него; конечно-элементная модель сваи с уширением из щебня и уплотненным околосваевым пространством; изополя деформаций в ограниченном массиве грунта от вертикального нагружения. Параметры и свойства материалов соответствуют экспериментальным (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные физико-механических характеристик грунтов

<i>Mohr-Coulomb</i>	Измеритель	Суглинок	Глина	Щебень, втрамбованный в глину
Type		Drained	Drained	Drained
F _{unsat}	[kN/m]	18.70	21.20	20.00
F _{sat}	[kN/m]	18.70	21.20	20.00
e _{init}	[-]	0.500	0.500	0.500
c _k	[-]	1E15	1E15	1E15
E _{ref} input modulus of elasticity	[kN/m]	17000.000	10000.000	70000.000
	[-]	0.250	0.250	0.250
G _{ref}	[kN/m]	6800.000	4000.000	28000.000
E _{oed}	[kN/m]	20400.000	12000.000	84000.000
c _{ref}	[kN/m]	24.00	40.00	20.00
R _{inter.}	[-]	0.10	0.10	1.00

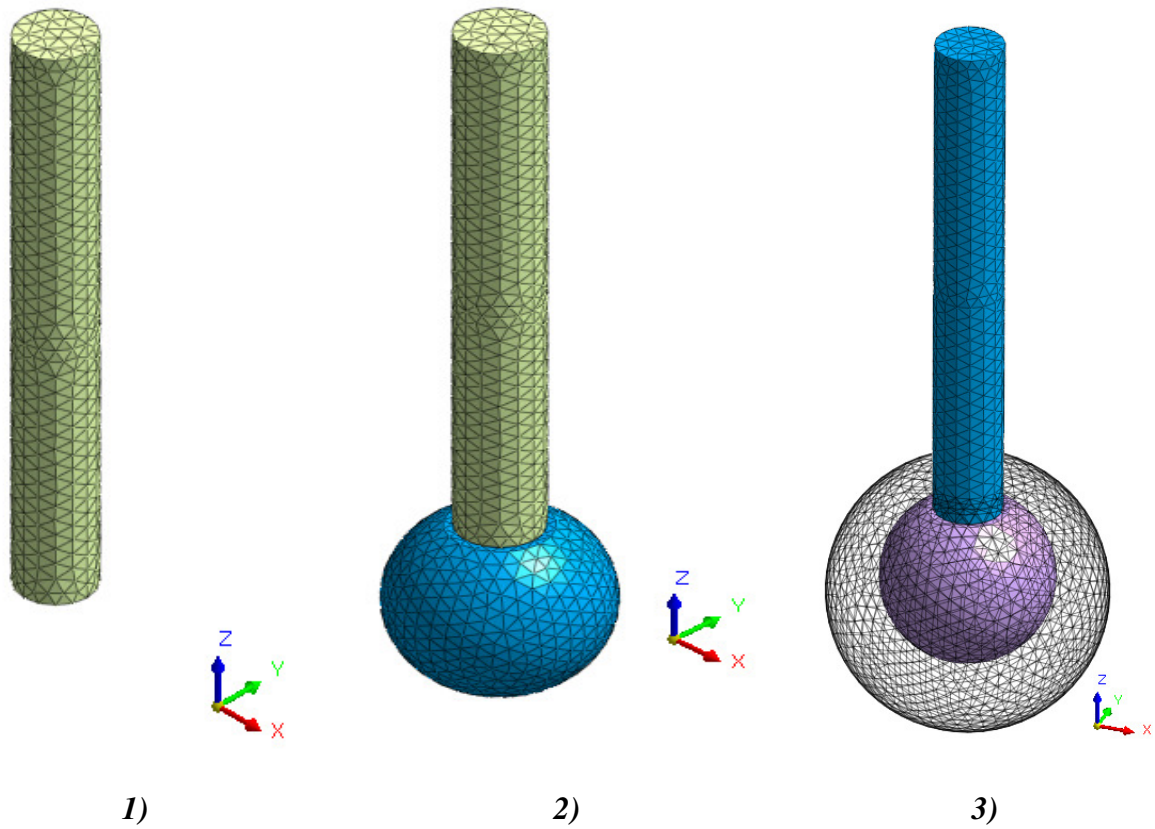


Рис. 1. Конечно-элементные модели сваи в GTS NX:
 1) без уширения, 2) с уширением, 3) с уширением и уплотненным окологрунтовым пространством вокруг пяты

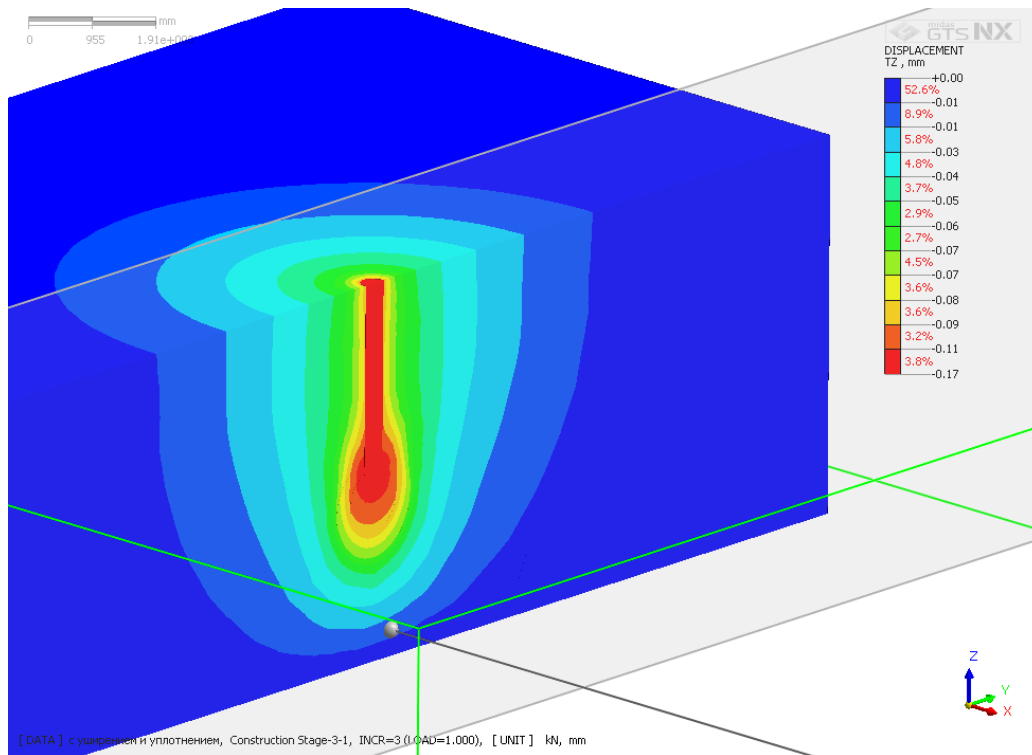


Рис. 2. Перемещения буронабивной микросваи диаметром 400 мм в GTS NX

Результаты численных исследований на MIDAS GTS показывают хорошую сходимость с результатами полевых испытаний, расхождение составляет 2–15 %. Однако недоучет коэффициента уплотнения около грунтовой зоны вокруг уширения из втрамбованного щебня приводит к большему расхождению результатов, что видно из сопоставления числовых параметров осадки с учетом и без учета коэффициента уплотнения около грунтовой зоны в табл. 2.

Таблица 2

Сопоставление результатов расчета на MIDAS GTS с учетом и без учета коэффициента уплотнения около грунтовой зоны

№	Диаметр, мм	Эксперимент, перемещение	MIDAS	
			GTS без учета коэффициента уплотнения около грунтовой зоны	GTS с учетом коэффициента уплотнения около грунтовой зоны
1	Ø100 с уширением без уширения	0,9	0,86	0,77
		3,20	3,61	-
2	Ø200 с уширением без уширения	0,39	0,35	0,33
		0,55	0,51	-
3	Ø300 с уширением без уширения	0,30	0,24	0,23
		0,42	0,35	-
4	Ø400 с уширением без уширения	0,3	0,19	0,17
		0,3	0,29	-

По результатам полевых исследований получена зависимость несущей способности буронабивных микросвай с уширением из втрамбованного щебня при вертикальном нагружении. При максимальном размере уширения 3,5 диаметра ствола микросвай несущая способность их грунта увеличивается в 1,8–6 раз по сравнению с микросваями без уширения в зависимости от диаметра ствола свай.

Натурные обмеры уширений буронабивных микросвай показали, что их форма близка к форме эллипсоида вращения, а соотношение полуосей находится в прямой зависимости от характеристик грунта и объема щебня, что было учтено при построении конечно-элементной модели в численном моделировании эксперимента [3].

Результаты численных исследований нагружения буронабивной микросвай с уширенной пятой на MIDAS GTS показывают хорошую сходимость с результатами полевых испытаний, расхождение составляет 2–15 %.

Экспериментальные и численные исследования позволили установить зависимости деформационно-прочностных параметров работы фундамента глубокого заложения, состоящего из буронабивных микросвай с уширенной пятой, а именно диаметра свай, фракции и объема щебня, диаметра уплотнения грунтового полупространства, с учетом коэффициента уплотнения окологрунтового пространства вокруг уширения из щебня.

Список литературы

1. Купчикова Н. В. Учет сдвиговых деформаций свайных фундаментов с усиливающими элементами // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 3 (254). С. 17–22.
2. Купчикова Н. В. Особенности берегоукрепления набережной реки Волги свайными оболочками, каменной наброской и строительства на намывных грунтах вдоль береговой зоны // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 36–39.
3. Федоров В. С., Купчикова Н. В. Конструктивные решения свайных фундаментов с поверхностными и концевыми уширениями для структурно-неустойчивых оснований // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 1. С. 88–91.
4. Егорушкин В. А., Городков А. В., Федоров В. С., Азаров В. Н. Биосферная совместимость. Технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 10. С. 71–72.
5. Клюева Н. В., Федоров В. С. К анализу живучести внезапно повреждаемых рамных систем // Строительная механика и расчет сооружений. 2006. № 3. С. 7–13.
6. Курбацкий Е. Н. Методические указания по решению задач механики с использованием преобразования Фурье : учеб. пособие. М. : МИИТ, 1979.
7. Курбацкий Е. Н. Метод расчета строительных конструкций с использованием дискретного преобразования Фурье // Конструкции жилых зданий. М. : ЦНИИЭп жилища, 1987.
8. Pshenichkina V. A., Voronkova G. V., Rekunov S. S. Research of the dynamical system “beam – stochastic base” // Procedia engineering. 2016. Т. 150. Р. 1721–1728.
9. Завьялова О. Б. Уточнение расчетных усилий в монолитных фундаментных плитах при действии сосредоточенных нагрузок // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 9. С. 24–25.

УДК 691.618.93

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ПЕНОСТЕКЛА

А. Д. Маликова

*Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет (Россия)*

Исследования направлены на создание научно-производственного кластера по производству высококачественных строительных и теплоизоляционных блоков на основе пеностекла в Астраханском регионе. Данная проблема сегодня является одной из наиболее острых, т. к. спрос на утеплители и теплоизоляторы из экологически чистых материалов постоянно растет. Пеностекло – материал, подходящий для широкого использования в массовом и специальном строительстве.

Ключевые слова: теплоизоляция зданий, пеностекло, гидроизоляционные свойства, наплавленный слой, блок, прочность, истираемость.

The research aimed at creating scientific and industrial cluster for the production of high-quality building and insulation blocks on the basis of foam glass in the Astrakhan region. This problem is today one of the most acute, as the demand for insulation and insulation made from environmentally friendly materials is growing. Foam glass – material, suitable for wide use in the mass and special construction.