

УДК 681.3: 624,044.624.15

А. С. Моргун, д. т. н., проф., А. Э. Тимошенко, студ.**УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ “ОСНОВАНИЕ-БУРОНАБИВНАЯ СВАЯ” МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

В основе процедуры упруго-пластического анализа лежат МГЭ и расчетные уравнения. Результаты анализа показали совпадение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: упруго-пластический анализ, буронабивная свая.

Введение

В результате резкого увеличения объемов использования буронабивных свай в строительстве возникает необходимость разработки методики их расчета современными числовыми методами с учетом нелинейности их работы. Набивные сваи на строительных площадках используют при сложных грунтовых условиях со значительной толщиной просадочных пород; при осложнении использования забивных свай в застроенных районах (возможность деформации соседних строений); при неравномерном распределении вертикальной нагрузки и присутствии горизонтальных составляющих. При их использовании исключается шум от работы молотов, легко решаются вопросы увеличения диаметра ствола сваи (до 1,5 м и больше) и глубины заложения (до 60 м). Буронабивные сваи имеют особенности сопротивления по сравнению с забивными, к тому же не все вопросы особенностей их работы можно считать в полной мере изученными. Отдельные вопросы требуют теоретического и экспериментального развития.

Постановка задачи, решающие соотношения

В статье методом граничных элементов (МГЭ) определена несущая способность буронабивной сваи, схема дискретизации которой приведена на рис. 1.

Свая в числовом расчете рассматривается как однородное цилиндрическое тело, которое не деформируется с постоянным на высоте поперечным сечением, несущим вертикально-осевую сжимающую нагрузку. Согласно методам, отображенным в нормативных документах, граничное сопротивление такой конструкции определяется сопротивлением грунта разрушению под нижним концом и сопротивлением смещению по боковой поверхности тела сваи и самого грунта.

Как известно, свайные фундаменты не могут иметь большую несущую способность, чем тот грунт, на который они передают нагрузку.

Длина сваи выбиралась из геологических условий строительной площадки в строгом соответствии нормативным требованиям: слабые грунты должны быть прорезаны сваями и острие должно упираться в плотные грунты на 1,5 – 1 м .

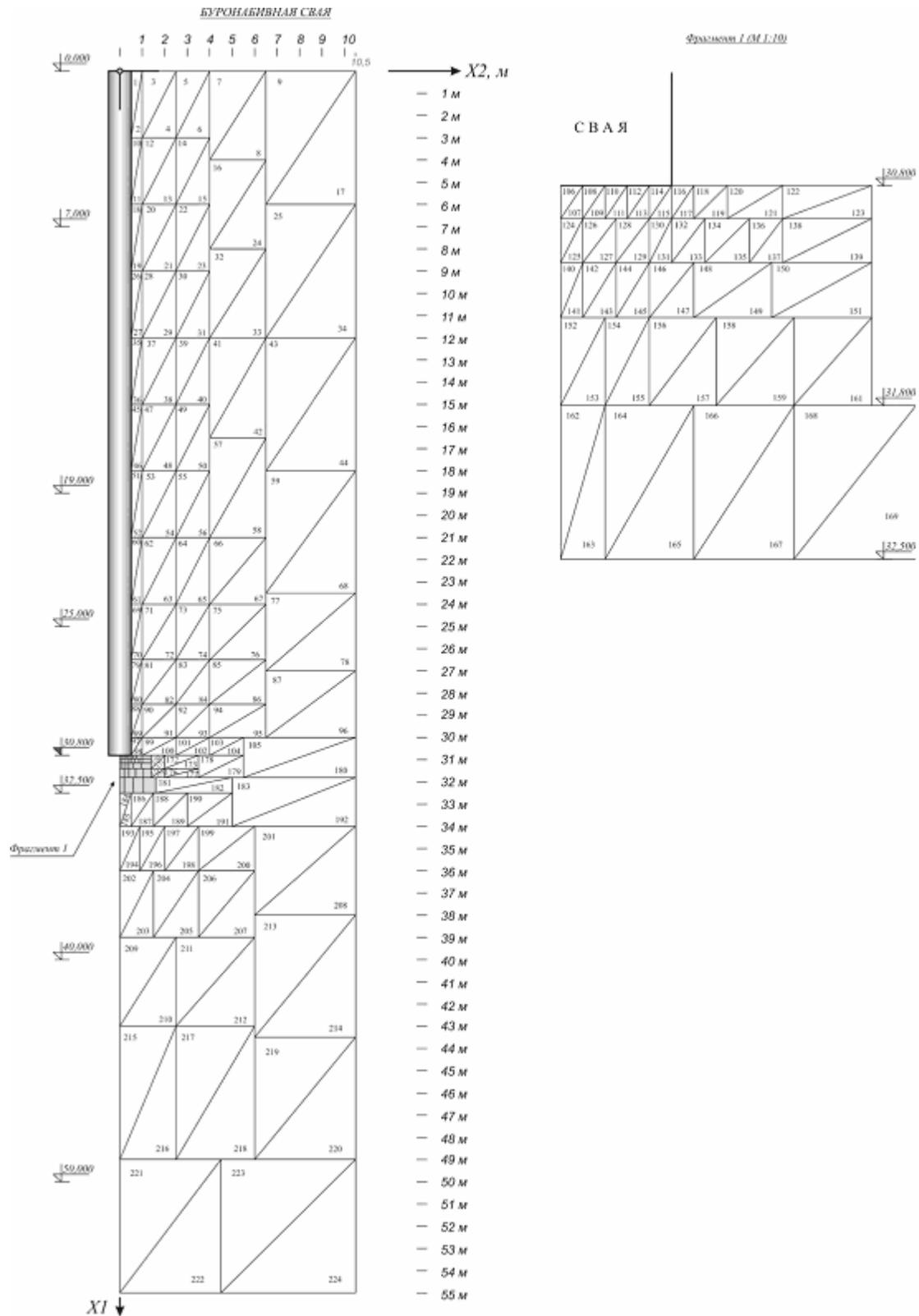


Рис. 1. Схема дискретизации активной зоны буронабивной сваи

Особенностью работы буронабивных свай является отсутствие зоны уплотнения, образующейся при углублении забивной сваи. Грунт под острием и боковой поверхностью в буронабивных сваях находится почти в природном состоянии (в забивных сваях он при углублении частично уплотняется).

В исследовании напряженно-деформационного состояния (НДС) буронабивной сваи использована пространственная версия упруго-пластической дилатансионной модели грунта Наукові праці ВНТУ, 2008, № 1

на основе диаграммы Прандля с физическими уравнениями закона Гука (на дограничной стадии деформации), условием текучести Мизеса – Шлейхера – Боткина и соотношениями неасоциированного закона пластической текучести [2, 3]. Процедурное основание расчета – МГЭ и расчетные уравнения [3]. Принятая расчетная модель дополнена программой, обеспечивающей автоматическое исполнение и анализ результатов расчета.

Определение несущей способности сваи и усадки фундамента от действия вертикальной нагрузки производилось путем решения осесимметричной задачи в упруго-пластической постановке МГЭ в такой последовательности:

- дискретизация граничной поверхности сваи и активной (буферной) зоны грунта (рис. 1);
- компоновка расчетной матрицы воздействия МГЭ на основании решений Р. Миндлина для упругой полуплоскости;
- запись расчетной системы уравнений;
- решение СЛАУ, получение НДС системы на каждом этапе нагрузки;
- строительство областей граничного состояния основы (пластических областей);
- принятие и обоснование проектного решения о возможности приложения дополнительных нагрузок.

Программа позволяет прогнозировать перемену (чаще увеличение) расчетных областей граничного НДС оснований при дополнительных нагрузках или увлажнении основания.

В качестве границы корректности использования теории упругости при определении усадки буронабивной сваи взято из эксперимента оседание $S=1$ см.

Раскрытие расчетных интегралов проводилось числовыми методами двойных квадратур Гаусса.

Аналитическое условие прохода граничного НДС базировалось на экспериментально установленных зависимостях граничного сопротивления смещения от величины действующих напряжений $\tau = f(\sigma)$ [2].

Прочность грунтов при смещении в условиях сложного напряженного состояния в работе оценивалась октаэдричной теорией прочности, которая учитывает пространственное напряженное состояние грунтов по октаэдрическим площадкам, равно наклоненным к плоскости главных напряжений. Условие прочности принималось в форме конуса (по Мизесу – Шлейхеру – Боткину).

По Мизесу – Шлейхеру [2]:

$$\sigma_{\text{окт}} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3, \quad (1)$$

$$\tau_{\text{окт}} = f(\sigma_{\text{окт}}) = \left(\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \right) / 3, \quad (2)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения.

Зависимость между нормальными напряжениями и касательными на касательной плоскости (по Л. И. Боткину) принималась линейной:

$$\tau_{\text{окт}} = ((\sigma_{\text{окт}} + H) \text{tg} \psi), \text{ при } \sigma_{\text{окт}} \leq P_0, \quad (3)$$

$$\tau_{\text{окт}} = ((P_0 + H) \text{tg} \psi), \text{ при } \sigma_{\text{окт}} > P_0, \quad (4)$$

где $H = C_{\text{окт}} \cdot \text{ctg} \psi$ – граничное сопротивление всестороннему растяжению; $\psi = \varphi_{\text{окт}}$ – угол трения на октаэдрической плоскости; $C_{\text{окт}}$ – параметр прочности; P_0 – параметр грунтовой среды, характеризующий переход от конуса к цилиндру.

Характеристики грунтового массива [1]: в верхнем слое насыпной грунт до 7 м и слой слабых озерно-алювиальных отложений до 12 м, которые на глубине около 19 м подстилаются супесями преимущественно текучей консистенции, а с глубины 25 м – юрские глины полутвердой и твердой консистенции. В расчете принято сопротивление сжимающим

усилием (модуль деформации) $E = 15,28$ МПа, $C = 27,87$ кПа, $\varphi = 20,65^\circ$, $\rho = 1,8032$ г/см³, $\rho_{\max} = 2,711$ г/см³, $\rho_{\min} = 1,648$ г/см³, $P_0 = 2$ МПа.

График расчетной зависимости оседания фундамента от нагрузки изображен на рис. 2. Данные числового прогнозирования по МГЭ сравнивались со статическими испытаниями этой сваи проф. Б. В. Бахолдиным, А. В. Дранициным [1] (рис. 2).

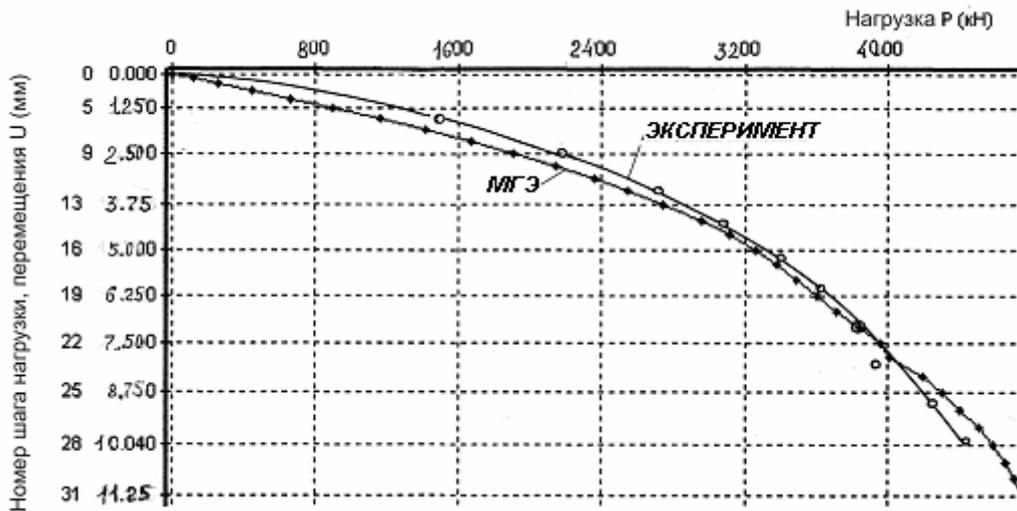


Рис. 2. График зависимости оседания буронабивной сваи от нагрузки

Выводы

Набивные сваи – это абсолютное решение многих проблем оснований и фундаментов в современном строительстве, поэтому возникает необходимость разработки методики их расчета современными числовыми методами. В основе процедуры лежат МГЭ и вышеописанные расчетные уравнения. Результаты анализа показали относительно полное совпадение с экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахолдин Б. В., Драницын А. В. Методика контроля несущей способности буронабивных свай по результатам их динамических испытаний // ОФМГ. – М.: НИИОСП. – 2007. – №1. – С. 16 – 20.
2. Бойко И. П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упруго-пластическом основании // ОИФ. – К.: Будівельник. – 1985. – № 18. – С. 11 – 18.
3. Моргун А. С. Моделирование дилатансионного середовища ґрунту системи “паля – основа” за методом граничних елементів // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА. – 2002. – Вип. 27. – С. 84 – 89.

Моргун Алла Серафимовна – заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства, тел.: 32-37-14, www.alla@proft.com.ua ;

Тимошенко Алексей Эдуардович – студент кафедры промышленного и гражданского строительства.

Винницкий национальный технический университет