

УДК 519.3+538.3+624.131

Численно-аналитический метод определения осадки штампонабивного фундамента с микросваями в уплотнённом линейно-деформируемом основании

В. Е. Быховцев, Л. А. Цурганова, В. В. Бондарева

1. Постановка задачи и подходы к её исследованию

В трёхмерном пространстве рассматривается система линейно-деформируемых твёрдых тел: штампонабивной фундамент с микросваями и грунтовое основание. Необходимо определить осадку штампонабивного фундамента. В формализованной постановке это будет граничная задача математической физики для неоднородной трёхмерной области, граничные условия могут соответствовать условиям Неймана или Дирихле-Неймана (вторая или третья краевые задачи). Как известно, в замкнутой форме для таких задач в настоящее время решений не существует. Исследование такой системы возможно методами физического эксперимента, методами компьютерного моделирования и с определённой степенью приближения аналитико-численными методами [2, 3]. Для построения приближённого аналитического решения поставленной задачи наиболее эффективным подходом, по нашему мнению, будет сведение этой задачи к задаче об осадке жёсткого штампонабивного фундамента с микросваями на однородном линейно-деформируемом грунтовом основании эквивалентном по несущей способности неоднородному уплотнённому линейно-деформируемому основанию, образуемому при устройстве штампонабивного фундамента. В соответствии с таким подходом авторами разработан приближённый численно-аналитический (инженерный) метод определения осадки штампонабивного фундамента с микросваями в уплотнённом грунтовом основании.

2. Численно-аналитический метод определения осадки штампонабивного фундамента с микросваями

Деформации слоя однородного грунтового полупространства, нагруженного равномерной нагрузкой, имеют одну очень существенную особенность: горизонтальные составляющие перемещения в любых горизонтальных плоскостях значительно меньше вертикальной компоненты. Физически это легко обосновывается исходя из правила сложения векторов перемещений от действия системы сосредоточенных сил. Теоретически равенство нулю горизонтальных перемещений точек полупространства, нагруженного равномерной внешней нагрузкой, можно доказать используя решение Буссинеска задачи о действии сосредоточенной силы на поверхности этого полупространства. На основе этого решения получено аналитическое решение задачи об осадке равномерно нагруженного слоя однородного грунта [1,4]:

$$W = \beta_{\Gamma} \cdot H \cdot q_{\Gamma} / E_{\Gamma}, \quad \beta_{\Gamma} = 1 - 2\mu_{\Gamma}^2 / (1 - \mu_{\Gamma}), \quad (1)$$

H – мощность деформируемой области;

q_{Γ} – удельная нагрузка на поверхность грунтового основания;

μ_{Γ} – коэффициент Пуассона для грунтового основания;

E_{Γ} – модуль деформации грунта.

Однако приведенная формула может быть применена и к расчёту неоднородных оснований. Для этого необходимо неоднородному основанию поставить в соответствие однород-

ное основание, геометрически равное исходному, но с модулем деформации и коэффициентом Пуассона такими, чтобы осадки загруженного слоя в обоих случаях были практически равными. Такое основание назовём эквивалентным. Из физического анализа рассматриваемого класса задач следует, что эквивалентный модуль деформации моделируемого однородного основания будет зависеть от метрических и физико-механических параметров элементов неоднородного исходного основания. Следует также отметить, что в строительных нормах и правилах для слоистых грунтовых оснований рекомендуется находить средневзвешенное значение модуля деформации. Такой подход для систем штампабивного фундамента с микросваями в уплотнённом грунтовом основании невозможен в силу его сложности по структуре и свойствам. Методом компьютерного объектно-ориентированного моделирования были исследованы указанные особенности при определении осадок штампабивного фундамента с микросваями при действии на него равномерно распределённой внешней нагрузки. На основании результатов этого исследования для определения модуля деформации и коэффициента Пуассона эквивалентного грунтового основания предлагается следующий алгоритм:

$$E_{\text{экв}} = \left[1 + (1 - 2\mu_0) \frac{k \cdot S_{\text{св}}}{S_{\text{пл}} \operatorname{tg} \varphi} \right] E_0, \quad (2)$$

$$\mu_{\text{экв}} = \mu_0 - 0,1 \cdot \frac{E_{\text{экв}} - E_0}{E_{\text{экв}}}, \quad E_0 < E_{\text{экв}}; \quad (3)$$

где E_0, μ_0 – модуль деформации и коэффициент Пуассона неуплотнённого однородного грунтового основания или средневзвешенные их значения для неуплотнённого слоистого основания;

$E_{\text{экв}}$ – модуль деформации эквивалентного грунтового основания;

$\mu_{\text{экв}}$ – коэффициент Пуассона эквивалентного грунтового основания;

k – количество микросвай штампабивного фундамента;

$S_{\text{св}}$ – площадь боковой поверхности одной микросвай;

$S_{\text{пл}}$ – площадь подошвы ростверка.

При аналитическом определении осадки штампабивного фундамента с микросваями на эквивалентном грунтовом основании необходимо ввести ещё дополнительный коэффициент формы конструкции фундамента $\beta_{\text{ф}} = 1 - 2\mu_{\text{экв}}$. Таким образом, для определения осадки штампабивного фундамента с микросваями получим следующее приближённое аналитическое выражение:

$$W = \beta_{\text{экв}} \frac{P H}{E_{\text{экв}} S_{\text{пл}}}, \quad \beta_{\text{экв}} = \beta_{\text{эк.гр}} \cdot \beta_{\text{ф}}, \quad (4)$$

P – нагрузка на штампабивной фундамент,

H – мощность деформируемой области ($H = L$),

L – длина микросвай.

Определим осадку штампабивного фундамента с ростверком $0,7 \times 0,9 \times 0,5$ м и микросваями длиной 1,0 м в грунтовом основании: песок пылеватый средней плотности с характеристиками $\varphi = 30^\circ$, $c = 0,004$ МПа, $E = 25$ МПа, $e = 0,64$; $\mu = 0,275$ при условии его линейного деформирования. Данные вычислений представлены в таблице.

Осадка штампабивного фундамента с микросваями (см)

Нагрузка кН	Опытные данные	Компьютерное моделирование	Аналитическое решение
300	1,3	1,07	1,38
400	3,8	1,43	1,83
500	6,5	1,78	2,29
600	9,5	2,12	2,75

Из анализа полученных результатов следует, что основание штампованного фундамента с микросваями рассматривать как линейно-деформируемое можно только в первом приближении.

Abstract. The paper considers the numeric-analytical method of determining the setting of the foundation with micropiles in hardened lineary-deformable base.

Литература

1. А. В. Александров, В. Д. Потапов, *Основы теории упругости и пластичности*, Москва, Высш. шк., 1990.
2. В. Е. Быховцев, А. В. Быховцев, В. В. Бондарева, *Компьютерное моделирование систем нелинейной механики грунтов*, Гомель, УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2002.
3. М. А. Журавков, *Математическое моделирование деформационных процессов в твёрдых деформируемых средах*, Минск, БГУ, 2002.
4. Н. А. Цытович, *Механика грунтов*, Москва, Стройиздат, 1963.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 20.06.05

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ