

УДК 519.3:539.3:624.131

## Управление осадкой большеразмерной фундаментной плиты на сложном нелинейно-деформируемом грунтовом основании

Л. А. ЦУРГАНОВА

Большеразмерная фундаментная плита на неоднородном основании даже при равномерной нагрузке дает крен, что недопустимо. Возникает вопрос управления осадкой плиты для того, чтобы исключить практически крен плиты, т.е. обеспечить выполнение условия: осадка и крен фундамента должны не превосходить своих нормативных значений.

Этот вопрос связан с задачей о распределительной функции контактной поверхности фундамента. Анализ эпюр реактивных сил, действующих на контактной поверхности, позволяет сделать вывод, что свойства этой функции определяются формой контактной поверхности фундамента и законами деформирования элементов структуры основания. Следовательно, основание и фундамент при решении должны быть рассмотрены как единая система.

В общем случае, элементы этой системы будут иметь различные свойства и связи между собой. Любая точка контактной поверхности фундамента передает на грунт определенную часть внешней нагрузки и тем самым формирует свое поле напряжений и деформаций. Накладываясь друг на друга, эти поля образуют единое общее поле, которое может иметь ряд особенностей, характерных только для данной конфигурации контактной поверхности фундамента и структуры основания. Наибольший интерес представляют условия возникновения концентраторов напряжений и зон уплотнения. Именно их образование приводит к возможному изменению свойств основания, что, в свою очередь, обуславливает перераспределение нагрузки на грунт и вызывает его дополнительные деформации. Поэтому возникает необходимость определения для каждого конкретного основания и действующей системы сил такой конфигурации фундамента, при которой зоны концентрации напряжений, приводящие к пластическим деформациям, были бы минимальны. В этой системе наиболее доступным и экономически эффективным управляемым фактором будет только конфигурация контактной поверхности фундамента, варьируя которой можно исследовать распределительные свойства контактной поверхности и, тем самым, отрицательные эффекты передачи и распределения нагрузки на грунт свести к минимуму. Эффективное решение этой задачи можно получить методами компьютерного объектно-ориентированного моделирования и вычислительного эксперимента. Учитывая достаточно общую постановку задачи, математическое моделирование целесообразно выполнить на основе метода конечных элементов и (или) метода суперэлементов. Использование этого аппарата позволяет оценить для конкретных условий эффективность известных типов плитных фундаментов и любых других, а также наметить пути улучшения их передаточно-распределительных свойств.

Так как исходная задача определена для неоднородного полупространства  $G_0$  с границей  $\Gamma_0$ , а для численного моделирования необходимо рассмотреть конечномерное пространство, то необходимо сделать соответствующий переход. При этом погрешность должна быть минимальной. Это требование будет удовлетворено, если решение задачи строить для области  $G \subset G_0$  с границей  $\Gamma = \Gamma_0 + \Gamma_1$ , на  $\Gamma_0$  задается система внешних сил  $\{P\}$ , а  $\Gamma_1$  выбирается так, чтобы  $U|_{\Gamma} = 0$ . Математическую модель задачи можно представить так:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \int \{\varepsilon\}^T \{G\} dV_i - \{U\}^T \{F\} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\{F\}|_{\Gamma_0} = \{P\}, \quad (2)$$

$$\{U\}|_{\Gamma_1} = 0, \quad (3)$$

где  $W$  – полная энергия системы;

$\{U\}, \{\varepsilon\}, \{G\}$  – векторы перемещений, деформаций и напряжений;

$\{F\}, \{P\}$  – векторы внешних сил;

$V_i$  – объём  $i$ -го элемента структуры основания.

Сформулированная задача является третьей краевой задачей математической физики. Применяя к ней процедуру метода конечных элементов, решение её сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений

$$[K] \{U\} = \{F\} \quad (4)$$

при условиях (2) и (3),  $[K]$  – матрица жесткости.

В случае линейно-деформируемого основания  $[K]$  – матрица постоянная, зависит от координат узлов и физико-механических характеристик конечных элементов. Если же основание нелинейно-деформируемое, то форма (4) сохраняется, только  $[K]$  уже будет функцией напряженного состояния деформируемой среды. В этом случае решение (4) может быть выполнено согласно [1].

Матрица  $[K]$  всегда ленточная симметричная порядка  $3n$ , где  $n$  количество узлов дискретизированной области  $G$ . Перемещения  $U = f(x, y, z)$  функция достаточно гладкая всюду в  $G$ , кроме ближайшей окрестности точек приложения внешних сил на  $\Gamma_0$ , что дает возможность дискретизацию  $G$  сделать нерегулярной. Условие (3) позволяет при решении (4) исключить из рассмотрения узлы на  $\Gamma_1$  и тем самым значительно понизить порядок решаемой системы. Дальнейшее увеличение скорости решения исходной задачи можно получить, используя поэтапное изменение расчетной области при различной плотности схем дискретизации для каждого этапа и (или) метода суперэлементов.

Описанная методология реализована алгоритмически и программно для общего случая в комплексе программ «Энергия» в среде визуального объектно-ориентированного программирования Delphi.

Моделируя на ЭВМ взаимодействие различных типов фундаментов с основанием, можно проследить динамику влияния различных факторов на несущую способность основания и фундамента. В частности, для ленточного фундамента с вырезами вследствие проведенного вычислительного эксперимента было установлено, что при определенных размерах вырезов можно иметь несущую способность практически тождественную несущей способности конструктивно такого же, но без вырезов ленточного фундамента. Например, для большеразмерных плит: уменьшение контактной поверхности плиты до 40% за счет вырезов приводит к увеличению осадки до 5%. Для фундаментов с микросваями было получено, что штампованные фундаменты с микросваями имеют повышенную несущую способность в основном за счет микросвай и в меньшей мере за счет уплотнения грунта выштамповкой. Грунт, защемленный в межсвайном пространстве, при определенном количестве микросвай уплотняется и перемещается вместе с микросваями. Возникающие при этом дополнительные деформации грунта в зоне защемления незначительны. В этом случае ставится вопрос соотношения материалоёмкости конструкции фундамента с микросваями и коэффициента изменения его несущей способности. Согласно проведенного вычислительного эксперимента, для таких фундаментов всегда существует оптимальное количество и расположение микросвай. Этот вопрос должен решаться для каждого частного случая отдельно.

Таким образом, изменение передаточно-распределительной функции структуры плитных фундаментов должно производиться путем расчета рациональной схемы их устройства и расположения в плане пятна застройки на основе метода вариантного проектирования посредством визуального объектно-ориентированного компьютерного моделирования конкретных систем грунтовых оснований и различных структур фундаментов для конкретного типа здания.

**Abstract.** The paper considers the problems of control of settling large bed plate at compound non-linear deformation ground foundation.

### Литература

1. В. Е. Быховцев, Математическая модель состояния грунтовых оснований при неупругом деформировании, Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, № 3(18) (2003), 8–10.