КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА НА ЕГО ОСАДКУ НА СЛОЖНОМ ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

Рыжик И.А.

Ленточные фундаменты широко используются в гражданском и промышленном строительстве. Поиск рациональных и менее материалоемких форм и конфигураций ленточных фундаментов является одним из способов удешевления строительства зданий и сооружений. Натурные и лабораторные эксперименты являются дорогостоящими, требуют значительного времени для их проведения и не могут охватить все возможные варианты. Вычислительный эксперимент предоставляет возможность отработать практически все возможные варианты и требует значительно меньше денежных и временных ресурсов.

Компьютерное моделирование предусматривает реализацию определения осадки ленточного фундамента на сложном грунтовом основании и разработку гибкого интерфейса для проведения вычислительного эксперимента, который предоставляет специалисту – предметнику возможность визуального построения на экране монитора вариантов вида ленточного фундамента с вырезом, структуры грунтового основания и получения результатов в удобной форме для анализа.

Задача определения осадки ленточного фундамента на сложном грунтовом основании рассматривается как единая пространственная система «ленточный фундамент - грунтовое основание».

Математическая модель системы включает геометрическую, структурную, механико-математическую модели, краевые условия и условия равновесия системы. Геометрическая модель представляет собой параллелепипед, размеры которого определяются нулевыми перемещениями на его ребрах. Структурная модель описывает неоднородность грунтового основания, задает мощности слоев и их характеристики. Механико-математическая модель системы "ленточный фундамент – грунтовое основание": для основания при линейном упругом деформировании $\sigma_i=E_i\varepsilon_i$, при нелинейном упругом деформировании $\sigma_i=A\varepsilon^{m-1}\varepsilon_i$; для фундамента $\sigma_i=E'\varepsilon_i$, $E'>>E_i$, где E', E_i – модули упругости основания и фундамента, σ_i ε_i –интенсивности напряжений и деформаций. Краевые условия области определения системы: перемещения на всех ребрах, кроме верхнего равны нулю, на верхнем ребре области определения на поверхности фундамента задается внешняя нагрузка. Условия равновесия системы:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial\{U\}}=0; \qquad \Pi=\frac{1}{2}\int_V\{\varepsilon\}^T\{\sigma\}dV-\{U\}^T\{P\},$$

где $\{P\},\{\sigma\},\{U\},\{\varepsilon\}$ - векторы внешних сил, напряжений, перемещений и деформаций; Π - полная энергия системы.

С целью повышения точности решения использовался метод суперэлементов, [2]. Суть этого метода состоит в том, что большая пространственная задача разделяется на ряд небольших подзадач. Каждая подзадача строится для своей подобласти (суперэлемента) из расчетной области исходной задачи. Связи между суперэлементами осуществляются через их общие границы. Для каждого суперэлемента методом конечных элементов строится свое основное уравнение:

$$[K]\{U\}=\{F\},$$

где [K] -матрица жесткости суперэлемента; {U}- вектор узловых перемещений суперэлемента; {F}-вектор узловых усилий суперэлемента.

Матрица жесткости суперэлемента имеет вид:

$$[K]=\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$$

Подматрицы A11 и A12 связаны с перемещениями {U1} на левой границе суперэлемента, а A21, A22 с перемещениями{U2} на правой границе. Для первого суперэлемента обычно {U1} известно. Поэтому во второй суперэлемент перейдет влияние только {U2}. {U2} первого суперэлемента совпадает с {U1} второго суперэлемента. С помощью матричных преобразований выражаются последовательно все граничные перемещения через предыдущие. В последнем суперэлементе известны перемещения на правой границе, поэтому сразу можно определить перемещения на левой его границе. Затем делается обратный ход, в котором вычисляются неизвестные перемещения.

Для метода суперэлементов разработаны алгоритмы построения линейной и нелинейной моделей, учитывающие упаковку подматриц и их обработку.

При построении дискретной модели суперэлемента учитывается неоднородность и нелинейность грунтового основания. Нелинейное решение находится с помощью метода энергетической линеаризации, [1]. Параметры нелинейности определяются для каждого конечного элемента по эмпирическим формулам, предложенным в [1].

Разработка приложения произведена в среде визуального проектирования программ Delphi 5.0.

Литература:

1. Быховцев В.Е. и др. Компьютерное моделирование систем нелинейной механики грунтов. – Гомель: УО ГГУ им. Ф.Скорины, 2002.

3. Цурганова Л.А. Численный анализ эффективности метода суперэлементов при расчете большеразмерных пространственных систем. // Межреспубликанская научно-практическая конференция творческой молодежи «Актуальные проблемы информатики: математическое, программное и информационное обеспечение». Тез. докл. конф. – Минск, 1992.