

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕСИММЕТРИЧНО НАГРУЖЕННОЙ КРУГЛОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ НА НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

О. В. КОЗУНОВА, Д. М. ГУРСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Обзор литературы. В рассматриваемой работе исследуется напряженно-деформированное состояние (НДС) осесимметрично нагруженной круглой фундаментной плиты, контактирующей с нелинейно-упругим однородным основанием. Для решения сформулированной задачи используется вариационно-разностный метод (ВРМ), который позволяет полностью описать НДС упругого основания под фундаментной плитой, исследовать контактную зону между плитой и основанием, вычислить внутренние усилия в фундаментной плите и осадки основания под плитой.

Из источника [1] известно, что сущность ВРМ, реализующего вариационный принцип Лагранжа с помощью метода конечных разностей, заключается в сведении задачи минимизации функционала полной потенциальной энергии, являющейся квадратичной функцией относительно деформаций и перемещений, к задаче минимизации функции многих переменных, отнесенных к узлам конечно-разностной сетки.

В отличие от функционала полной энергии деформируемой системы от внешней нагрузки, применяемого в [2, 3], в данной работе предложена другая форма функционала полной потенциальной энергии, с учетом энергии деформации [4] нелинейно-упругого основания, структура которой аналогична рассмотренной ранее в работах [5–7]. Численная реализация ВРМ в нелинейной постановке осуществляется методом конечных разностей (МКР) с использованием итерационного алгоритма А. А. Ильюшина [8] в программном пакете МАТНЕМАТИСА 10.0.

Данная работа является продолжением исследований, начатых год назад авторами. В статье [9] были опубликованы численные результаты нелинейного расчета НДС упругого основания, приведенного к однородному описанию обобщенными упругими параметрами. В предлагаемой работе исследуется напряженно-деформированное состояние не только нелинейно-упругого основания, но и контактной зоны, и железобетонной круглой плиты на этом основании. Теория и результаты решения аналогичных нелинейных задач, но для балочных плит (плоская деформация) приведены в работах [5, 6] для неоднородных оснований, и внедрены в инженерную практику нормативным документом [7].

Постановка задачи и граничные условия. Круглая линейно-упругая плита на нелинейно-упругом однородном основании находится под действием вертикальной осесимметричной нагрузки F (рисунок 1). Геометрические параметры плиты с учетом упругих характеристик материала, следующие: диаметр $2b$, цилиндрическая жесткость D .

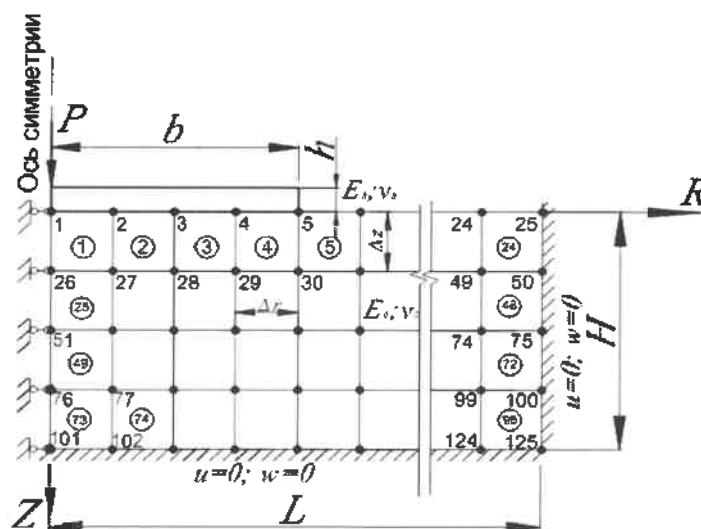


Рисунок 1 – Разбивочная сетка $\frac{1}{2}$ расчетной области

Нелинейно-упругое однородное основание моделируется как для упругого слоя с конечной толщиной H и переменным модулем упругости этого слоя с начальным значением E_0 , формула для которого представлена в работе [9]. Коэффициент Пуассона упругого слоя ν_0 принимается постоянным. Поперечник упругого основания аппроксимируется симметричной разбивочной сеткой с постоянными шагами по осям вглубь основания вдоль оси Z и в ширину расчетной области вдоль оси R . В результате получено N i -х узловых и K j -х сеточных ячеек в осесимметричной постановке рассматриваемой задачи.

На рисунке 1 показана разбивочная сетка $\frac{1}{2}$ расчетной области с соответствующими граничными условиями. *За неизвестные принимаются:* $u_i(r, z)$ и $w_i(r, z)$ – компоненты вектора перемещения i -й узловой точки основания в полярной системе координат.

Кинематические граничные условия [6] реализуются на границе принятой расчетной области. Для крайних точек осесимметрично-нагруженной круглой плиты вводятся также *статические граничные условия* [8] относительно радиальных поперечной силы и изгибающего момента.

Алгоритм расчета. Для решения осесимметричной задачи теории упругости используются слабые функционалы полной энергии в виде: функционала энергии деформаций упругого основания, функционала энергии изгиба круглой плиты и потенциала внешней нагрузки, соотношения для которых получены ранее и приведены в работе авторов [9]. Хотелось бы отметить, что при составлении функционала энергии деформаций упругого основания [2] не учитывается работа сил собственного веса упругого основания. Следовательно, при поиске полного напряженного состояния рассматриваемой задачи необходимо на полученное решение наложить напряженное состояние от сил собственного веса основания.

В работе [9] в подробном описании приведен алгоритм вариационно-разностного расчета в линейной и нелинейной постановках (через переменный – секущий модуль упругости (деформации)), а именно: минимизация полной энергии деформации системы «плита-основание», замена дифференциальных уравнений конечно-разностными аппроксимациями и составление системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для нахождения компонент-вектора перемещений.

Результаты расчета. В результате проведенных исследований по осадкам упругого основания под фундаментной плитой были определены ее прогибы для линейного и нелинейного расчетов, а также вертикальные напряжения нелинейно-упругого основания на характерных горизонтальных срезах. По прогибам исследуемой плиты через дифференциальные соотношения были вычислены внутренние усилия в ее сечениях и сопоставлены с известными ранее.

Список литературы

- 1 Барашков, В. Н. Алгоритм реализации задач теории упругости и пластичности вариационно-разностным методом. Ч. 1 / В. Н. Барашков // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2003. – № 3, Т. 306. – С. 23–28.
- 2 Босаков, С. В. Метод Рунге в контактных задачах теории упругости / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ, 2006. – 107 с.
- 3 Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 127 с.
- 4 Гриффин, Д. С. Численное решение осесимметричных и плоских задач упругости / Д. С. Гриффин, Р. Б. Келлог // Механика. Периодический сборник переводов иностранных статей. – М. : Мир. – 1968. – № 2 (108). – С. 117–125.
- 5 Босаков, С. В. Вариационно-разностный подход в решении контактной задачи для нелинейно упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета. Ч. 1 / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 5–13.
- 6 Козунова, О. В. Статический анализ системы «балочная плита – нелинейно-упругое неоднородное основание» вариационно-разностным методом: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / О. В. Козунова. – Минск, 2017. – 168 с.
- 7 Козунова, О. В. Особенности проектирования плитных фундаментов на многослойных основаниях со слабыми слоями грунтов / О. В. Козунова // Рекомендации по проектированию и устройству рациональных фундаментов на основаниях, сложенных озерно-ледниковыми и лессовидными грунтами : Р 5.01.056.09 : введ. 01.10.09. – Минск : Стройтех-норм, 2009. – Гл. 8. – С. 39–47.
- 8 Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высшая школа, 1990. – 398 с.
- 9 Козунова, О. В. Осесимметричная задача для вертикально нагруженного фундамента с подошвой круглой формы на нелинейно-упругом основании / О. В. Козунова, Д. М. Гурский // Междунар. сб. науч. тр. (Вып. 11). Механика. Исследования и инновации. – Гомель, БелГУТ, 2018. – С. 94–104.