

платационной пригодности конструкций. В противном случае, как показывают исследования, не-
сущая способность ограничивается прочностью объединения листа с бетоном. В настоящее время
существуют прогрессивные сварочные технологии, широко применяются в строительстве эффек-
тивные синтетические клеящие средства, а также находятся новые конструктивные решения эле-
ментов с внешним листовым армированием, в том числе плит с плоской листовой арматурой.

УДК 624.072.21.7

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕПЕННОГО ЗАКОНА БЮЛЬФИНГЕРА

Е. А. СИГАЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В предлагаемом расчете неоднородное упругое основание моделируется совокупностью упру-
гих слоев (УС) конечной ширины с переменным модулем деформации. Закон нелинейно-упругого
деформирования основания описывается математически разными функциональными зависимостя-
ми, а именно: гиперболический тангенс и степенная функция. Коэффициент Пуассона каждого слоя
принимается постоянным.

В рассматриваемой работе используется *вариационно-разностный подход* (ВРП) к решению
контактных задач нелинейной теории упругости (плоская деформация), который имеет важность
практического применения в расчетах балочных плит на упругом основании. ВРП был предложен и
получил дальнейшую апробацию в работах Босакова С. В., Козуновой О. В.

Постановка задачи: рассматривается балочная плита шириной $2l$ на упругом физически нели-
нейном слоистом основании под действием произвольной нагрузки. На контакте плиты с упругим
основанием возникают только нормальные реактивные давления, силами трения пренебрегаем. Для
плиты справедливы гипотезы теории изгиба.

При расчете слоистая упругая среда заменяется прямоугольной расчетной областью. Основание
аппроксимируется симметричной разбивочной сеткой с постоянным шагом по осям: Δx , Δy . В ре-
зультате получено 203 i -тых узловых и 168 j -тых сеточных ячеек.

За *неизвестные* принимаются: $u_i(x), v_i(y)$ – компоненты вектора перемещения i -той узловой
точки основания; $p_y^{(i)}(x, y)$ – реактивные давления в зоне контакта балочной плиты с основанием.

Граничные условия задачи: на границах принятой расчетной области перемещения $u = 0, v = 0$; в
контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

Требуется определить перемещения, напряжения в упругом основании и его осадки, распре-
деление реактивных давлений в контактной зоне балочной плиты с основанием, внутренние усилия в
сечениях плиты.

В силу нелинейности решаемой задачи используется метод упругих решений в области малых
упругопластических деформаций, который предполагает итерационный процесс. При каждой ите-
рации модуль деформации центра j -той сеточной ячейки изменяется, и при вычислениях использу-
ется переменный модуль деформации (касательный и *секущий*) в сравнении.

Согласно вариационному принципу Лагранжа, при нагружении плиты на упругом основании
статической нагрузкой, ее полная потенциальная энергия в состоянии равновесия принимает мини-
мальное значение. Величина функционала полной потенциальной энергии плиты на упругом осно-
вании состоит из трех слагаемых: функционала энергии деформаций упругого основания, функцио-
нала энергии деформаций плиты и потенциала работы внешней нагрузки, и определяется формулой
$$\mathcal{E} = U_f + \Omega_b + \Pi.$$

Решение контактной задачи строится в перемещениях и реализуется методом конечных разно-
стей (МКР), то есть заменой дифференциальных уравнений линейными конечно-разностными со-
отношениями. Энергия деформаций упругого основания получается суммированием по объему ос-
нования энергий деформаций прямоугольных участков для каждой ячейки МКР. Энергия изгиба

балочной плиты в контактной зоне с основанием и потенциал работы внешних сил записывается также в конечно-разностном виде. В результате система дифференциальных уравнений заменяется системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) порядком $2N$.

Для реализации указанного подхода составлена программа на языке *Mathematica 6.0*, проведена ее числовая апробация для двухслойных оснований, ослабленных местными полостями. В численный счет использовались следующие параметры упругих сред: 1-й слой (песок средней плотности) $\sigma_{y1} = 0,2$ МПа; $\nu_1 = 0,3$; $E_{01} = 25$ МПа; 2-й слой (суглинок) – $\sigma_{y2} = 0,25$ МПа; $\nu_2 = 0,33$; $E_{02} = 30$ МПа; железобетонная плита (бетон марки С25/30) – $E_6 = 2,35 \cdot 10^{10}$ Па.

Вычисления показали, что: на скорость сходимости итерационного процесса влияет правильный выбор модели закона нелинейно-упругого деформирования и вид переменного модуля деформации: степенная функция возрастающая, не имеет асимптоты, поэтому итерационный процесс сходится медленно и только для определенных значений предельных напряжений; что отличительно от сходимости функции гиперболический тангенс, которая асимптотична и по своему характеру ближе к уже известной диаграмме упругопластического тела; вид переменного модуля деформации (секущий или касательный) влияет на физический смысл нелинейных задач (расчет ведется по деформационной модели в зоне малых упругопластических деформаций). Согласно диаграмме нелинейно-упругого деформирования модуль деформации с их ростом должен уменьшаться. В случае с секущим модулем степенной функции происходит обратное.

УДК 621.09.014

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В. И. СОБОЛЕВ, Д. С. ГОТОВСКИЙ, А. В. ГРАДОБОЕВ

*Иркутский государственный технический университет, Иркутский государственный университет
путей сообщения, Российская Федерация*

Сейсмическая безопасность зданий и сооружений закладывается на этапе проектирования или реконструкции с использованием современных компьютерных методов решения задач строительной механики и теории сейсмостойкости.

В соответствии с существующими ныне представлениями наиболее эффективным образом сейсmobезопасность можно обеспечить путем введения специальных дополнительных устройств – сейсмоизоляторов, понижающих уровень сейсмического воздействия.

Распространенным видом устройств сейсмоизоляции в отечественной практике являются специальные кинематические фундаменты, представляющие собой механические устройства, использующие эффекты качения, скольжения, трения и т. д. в различных сочетаниях. Ещё один тип сейсмоизоляции основан на использовании упругопластических элементов. В настоящее время такие сейсмоизолирующие элементы являются наиболее применяемыми за рубежом. Упругопластические опоры лишены недостатков, свойственных кинематическим фундаментам, и применение их при корректном подборе параметров системы сейсмоизоляции весьма эффективно.

Современная практика расчетов зданий и сооружений на сейсмические воздействия, основанная на действующих нормах СНИП, использует преимущественно спектральную методику, интерпретирующую рассчитываемые конструкции в виде линейных упруго-диссипативных элементов ненулевой жесткости с использованием методов дискретизации расчетных областей.

Использование упругопластических элементов – сейсмоизоляторов делает невозможным непосредственное применение спектральной методики расчета, основанной на представлении динамической системы в пространстве ортогональных собственных векторов – колебательных форм, ортогональность которых является следствием линейности динамических систем. Введение нелинейных кинематических или упругопластических элементов приводит к потере свойств ортогональности и неизбежной связанности колебательных мод. В этом случае отсутствует возмож-