

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-

ность приведения исходной многосвязной системы уравнений к отдельным дифференциальным уравнениям, дающим решение спектральным методом.

Линеаризация жестких свойств упругопластических элементов приводит к результатам, оценку погрешности которых в условиях нестационарного динамического воздействия оценить невозможно.

Предлагаемая авторами методика расчета зданий, снабженных упругопластическими элементами, основана на численном моделировании нестационарных процессов динамического взаимодействия нелинейно-связанных линейно-упругих подсистем, сформированных на основе дискретных аппроксимаций. При этом пластические и нелинейные свойства элементов сейсмоизоляции учитываются при помощи использования уравнений теории пластичности Мизеса–Генки.

В словесном описании предлагаемая методика состоит в следующем:

– с использованием известных методов осуществляется конечноэлементная дискретизация расчетной области;

– дискретная динамическая система разбивается на две линейные системы, нижнюю (НЛС) – расположенную ниже сейсмоизоляторов и верхнюю (ВЛС) – расположенную над ними;

– на основе суперэлементных преобразований жесткие свойства подсистем аппроксимируются в виде матриц жесткостей, разрешенных относительно узлов сосредоточения инерционных параметров, сформированных в процессе дискретизации;

– матрица жесткостей нижней подсистемы трансформируется путем определения и введения в нее жестких параметров от перемещений опорных узлов;

– на основе метода перемещений с использованием сформированных матриц жесткости составляются уравнения равновесия всей системы (НЛС + сейсмоизоляторы + ВЛС);

– определяются инерционные параметры присоединенного грунта и инерционные параметры, сосредоточенные в опорных узлах системы;

– с использованием принципа Даламбера формируется система уравнений динамического равновесия дискретной модели, при этом состояние упругопластических элементов описывается в зависимости от величин взаимного перемещения опор упругопластических элементов на основе использования реологической модели Н. Н. Давиденкова;

– численно на каждом шаге интегрирования системы дифференциальных уравнений определяются перемещения узлов модели при функции воздействия, заданной в виде сейсмограммы землетрясения, определяется траектория перемещений опорных узлов ВЛС;

– из анализа полученной траектории по известным критериям определяется балльность сейсмического воздействия на ВЛС;

– на основе параметров полученной балльности спектральным методом выполняется динамический расчет ВЛС.

Методика реализована в виде программного комплекса «PROXIMA», позволяющего численно, не используя приближений линеаризации в упругопластических элементах, моделировать сейсмические и другие нестационарные динамические процессы в многоэтажных зданиях, оснащенных системами сейсмоизоляции, и осуществлять адекватную оценку эффективности мер сейсмоизоляции и сейсмобезопасности.

УДК 693.5

ВЛИЯНИЕ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА НА НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Д. С. СТЕПАНЦОВ, А. М. ОВСЯНКИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Основную долю конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные конструкции (ЖБК) различных типов. В процессе эксплуатации под воздействием внешней среды, механических нагрузок, технологических процессов возникают различ-