**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ПК ЛИРА-САПР И ИХ ВЕРИФИКАЦИЯ**

**Губченко В. E.**, ведущий инженер ООО «Лира сервис»

**Аннотация.** В статье описаны новые возможности расчета зданий и сооружений (ЗиС) на динамические воздействия в ПК Лира-САПР: моделирование демпфирующих устройств, учет демпфирования по Рэлею, моделирование грунтовых массивов, решение нелинейных задач, построение графиков узловых спектров-ответов, метод PUSHOVER. Также представлены результаты верификационных тестов.

**Ключевые слова:** динамика, демпфирование, система здание-фундамент-основание.

При решении динамических задач прямым интегрированием уравнений движения во времени (модуль Д+ «Динамика плюс») в версии 2017 ПК Лира-САПР реализовано интегрирование на основе метода Ньюмарка. В рамках данного метода реализован элемент вязкого демпфера и демпфирование по Рэлею.

Двухузловой элемент вязкого демпфера представляет собой элемент Фойгта, в котором параллельно соединены жесткая пружина с модулем упругости *Е* и вязкий поршень с динамической вязкостью *η*. При таком соединении деформация элементов будет одна и та же , а общее напряжение состоит из суммы напряжений . Учитывая, что , получим:

, (1)

где – скорость изменения деформаций, .

Для учета способности ЗиС рассеивать энергию за счет материального демпфирования, реализовано демпфирование по Рэлею. Демпфирование по Рэлею известно как пропорциональное демпфирование, которое выражается через линейную комбинацию матриц жесткости и масс:

, (2)

где α – коэффициент пропорциональности массы (с-1), β – коэффициент пропорциональности жесткости (с).

В ПК ЛИРА-САПР возможность учета демпфирования по Рэлею реализована через задание элементам схемы коэффициентов α и β, которые могут быть получены

из решения системы уравнений:

. (3)

Для решения динамических задач о взаимодействии системы здание-фундамент-основание с применением модуля Динамика + реализован метод подсистем.

Метод подсистем предполагает, что точные граничные условия выражаются в матрице динамической жесткости [S(t)∞].

Соединение между двумя частями грунтового массива обеспечивается вектором взаимодействия:

, (4)

где [M∞(τ)] – матрица отклика ускорений, которая определяется как:

, (5)

где [m∞(τ)] – матрица отклика ускорений в преобразованных координатах, [e1], [e2], [m0] – матрицы коэффициентов, H(t) – функция Хевисайда,

На основании зависимостей (4) и (5) в ПК ЛИРА-САПР реализованы элементы, моделирующие взаимодействие ограниченной части грунтового массива и остальной части полупространства: двухузловой для решения плоской задачи, трех- и четырехузловой для решения пространственных задач. Данные элементы позволяют смоделировать безграничную область грунтового массива.

При решении задач динамики с помощью модуля Д+ версии 2017 пользователь имеет возможность использовать итерационные, геометрически нелинейные и физически нелинейные КЭ. Также в рамках версии 2017 реализован расчет на сейсмическое воздействие с применением нелинейного статического метода PUSHOVER (реализован в рамках ДБН В.1.1-12:2014, планируется реализация по Eurocode 8, СН РК EN 1994-1-1) который позволяет учесть нелинейные свойства конструкции исходя из ее параметров (армирование, диаграммы работы материалов и т.д.). В версии 2017 реализовано построение графиков узловых спектров-ответов при расчете ЗиС на сейсмическое воздействие в виде акселерограммы.

Для верификации заявленных возможностей были решены тестовые задачи и выполнено сравнение с аналитическим решением, представленным в [1].

***Литература***

1. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1979. – 320с. – Перевод изд.: Dynamics of Structures/Ray W. Clough, Joseph Penzien. – New York, 1975.

**SPECIAL FEATURES FOR SOLVING DYNAMIC PROBLEMS IN LIRA-SAPR; VERIFICATION OF SUCH FEATURES**

**Gubchenko V. E.** lead engineer LLC «Lira service»

**Abstract**. The paper describes new options in dynamic analysis of buildings and structures if analysis is carried out in LIRA-SAPR program. Such options include simulation of damping devices, account of damping by Rayleigh, simulation of soil bodies, solving nonlinear problems, generating response spectrum diagrams, pushover analysis. Results of verification tests are also presented in the paper.