

УДК 624.042.7

Позняк Е.В., PozniakYV@mpei.ru

к.т.н., доцент по кафедре динамики и прочности машин им. В.В.Болотина МЭИ,
ООО «Еврософт», г. Москва

О расчетах на сейсмостойкость с программным обеспечением «Еврософт Одиссей»

Программное обеспечение «Еврософт Одиссей» (рис.1), разработанное в ООО «Еврософт», представляет удобный инструмент расчетчика для получения параметров интегральной модели сейсмического воздействия, необходимых при расчетах на сейсмостойкость. Теоретическая база и алгоритмы, положенные в основу программы, описаны в работах доктора технических наук Ю.П.Назарова [1, 2] и опираются на многолетний опыт в области расчетов на сейсмические воздействия в ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. В настоящей статье описаны основные возможности программы; опции, соответствующие пунктам меню «Расчет», выделены курсивом.



Рис.1. ПО «Еврософт Одиссей»

Первичная обработка акселерограмм в меню «Расчет» включает масштабирование, фильтрацию волн по частоте и длине волны и изменение временного диапазона.

Масштабирование акселерограмм применяют при необходимости перейти к другим размерностям физических величин, либо при наличии масштабирующего коэффициента прибора при измерениях.

Фильтрация позволяет исключить из спектра сейсмического воздействия безопасные для сооружения высокие частоты (или волны с длинами, значительно меньшими размеров сооружения в плане).

Изменение диапазона – важная процедура подготовки акселерограммы к получению расчетных данных. Она необходима для удаления безопасных для сооружения *P*-волн (первичные волны или волны сжатия) сейсмического воздействия и учета только интенсивной фазы землетрясения, соответствующей *S*-волнам (вторичным или сдвиговым), и наиболее опасным поверхностным *L*-волнам. Кроме того, удаление участков акселерограммы малой интенсивности снижает общую нелинейность сейсмического воздействия. Эта процедура дает возможность выделить опасную фазу случайного процесса и, считая её стационарной, более корректно провести дальнейший корреляционный и спектральный анализ.

Входные данные для расчета на сейсмостойкость – природные или искусственные акселерограммы поступательного движения грунта в трех взаимно перпендикулярных направлениях – позволяют представить сейсмическое воздействие в виде случайного трехмерного вектора с компонентами, зависящими от времени. В ПО «Еврософт Одиссей» доступны следующие операции *векторного анализа*: поворот системы координат, определение модуля вектора сейсмического воздействия и направляющих косинусов, определение ротационных компонент.

Поворот системы координат необходим для совмещения глобальных осей сооружения с осями, в которых задано сейсмическое воздействие.

Модуль вектора сейсмического воздействия является инвариантным параметром (не зависящим от выбранной системы координат), он характеризует величину вектора сейсмического ускорения. По максимальному значе-

нию модуля можно оценить максимальное ускорение сейсмического движения грунта.

Направляющие косинусы характеризуют ориентацию в пространстве вектора сейсмического воздействия относительно выбранных осей отсчета.

Ротационные компоненты сейсмического движения грунта - компоненты вектора углового ускорения вращательного движения относительно выбранных осей.

ПО «Еврософт Одиссей» имеет развитый аппарат спектрального и корреляционного анализа, необходимый для изучения частотных и статистических характеристик случайных процессов.

Корреляционный анализ включает расчет нормированной *функции автокорреляции* и *взаимной корреляции* случайных процессов, соответствующих ускорениям поступательного движения в заданных направлениях. *Математическое ожидание, стандарт и матрицу корреляции* определяются для следующих случайных процессов: трех компонент вектора ускорений поступательного движения, модуля этого вектора и трех его направляющих косинусов. Полученные параметры случайных процессов есть моменты первого и второго порядков входного динамического воздействия. В дальнейшем эти моменты могут быть использованы для определения реакции сооружения при расчете в вероятностной постановке методом спектральных представлений [3].

Спектральный анализ случайных процессов включает *прямое и обратное преобразования Фурье* вектора ускорения сейсмического движения грунта, зависимость *стандарта* сейсмического воздействия *от частоты* и *спектральную плотность* (в том числе ротационных компонент).

В интегральной модели массив грунта под сооружением наделяют шестью степенями свободы – три в направлении поступательного и три в направлении вращательного движения. При общепринятом квазистатическом методе расчета на сейсмостойкость в детерминированной постановке, отра-

женном в [4], горизонтальные и вертикальные сейсмические нагрузки определяют как произведение ускорений поступательного движения на узловые массы конструкции. Для учета динамических эффектов полученные произведения умножают на *коэффициенты динамичности* (КД). При случайных сейсмических нагрузках реакция конструкции - случайный процесс, но в детерминированной постановке КД определяют как неслучайную величину: он равен отношению среднеквадратичного отклонения (стандарта) обобщенной координаты сооружения к значению этой координаты при статическом воздействии. «Одиссей» рассчитывает коэффициенты динамичности для поступательного движения в заданных направлениях как функции от периодов собственных колебаний конструкции или собственной частоты. Кроме того, имеется возможность построения *огibaющих для коэффициентов динамичности* по направлениям, заданным пользователем. В результате расчетчик получает данные для расчета по обоснованной зависимости КД от периодов собственных колебаний сооружения (рис.1, аналог рис.2 в [4]).

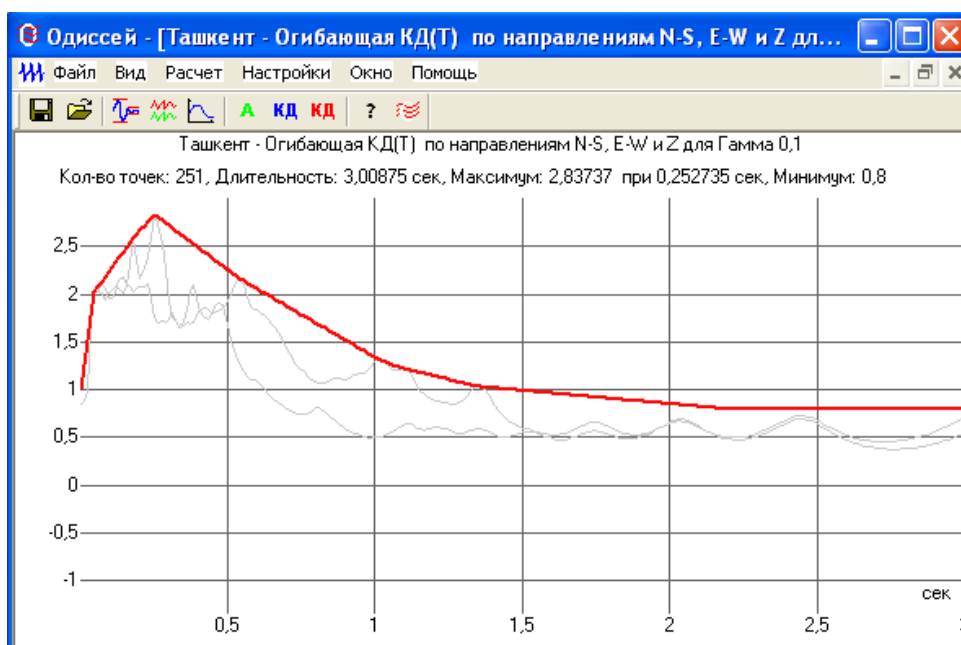


Рис.2. Огибающая коэффициентов динамичности

В качестве проверочного расчета во временной области акселерограммы ускорения поступательного движения грунта могут использоваться напрямую. При этом динамические нагрузки формируются как функции от

времени. В некоторых случаях при расчетах на сейсмостойкость необходимо учитывать дополнительные нагрузки от ротационного движения массива грунта под сооружением. Это особенно важно при первой крутильной форме собственных колебаний, при наличии подвешенных этажей и оборудования, для наиболее ответственных, нестандартных и потенциально опасных конструкций. Нагрузки от ротационного движения равны произведению угловых ускорений на моменты инерции масс относительно соответствующих осей вращения. ПО «Еврософт Одиссей» проводит расчет угловых ускорений вращательного движения (*ротационных компонент*) как функций от времени, подготавливая полный набор данных для проведения проверочного расчета во временной области.

Таким образом, основными расчетными параметрами интегральной модели сейсмического воздействия являются коэффициенты динамичности или их огибающие для квазистатического расчета спектральным методом в детерминированной постановке и акселерограммы ускорений поступательного и ротационного движения для проверочного расчета во временной области. ПО «Еврософт Одиссей» может формировать перечисленные расчетные данные в виде файлов, доступных для чтения ПК «Еврософт STARK», где расчеты на сейсмостойкость проводятся в автоматическом режиме.

Список источников

1. Назаров Ю.П. Аналитические основы расчета сооружений на сейсмические воздействия.-М.: Наука, 2010.-468 с.
2. Назаров Ю.П. Расчетные модели сейсмических воздействий.-М.: Наука, 2012.-414 с.
3. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений.-М.: Стройиздат, 1981.-351 с.
4. Актуализированный СНиП П-7-81* «Строительство в сейсмических районах», 2-ая редакция.