

Лекция 11

РАСЧЕТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

11.1. Общие сведения

11.2. Расчет схем в вычислительном комплексе SCAD

11.1. Общие сведения

Сложные конструктивные решения современных зданий и сооружений, вызванные архитектурно-планировочными требованиями, необходимостью размещать тяжелое оборудование, высотой зданий, большими пролетами, изменяющимся по высоте объемом зданий и т. д., требуют формирования расчетных схем, отвечающих их реальной работе при сейсмических воздействиях.

В таких случаях образуются расчетные схемы, обладающие значительным числом степеней свободы даже при принимаемых упрощениях и, следовательно, формируются разрешающие системы уравнений с колоссальным числом неизвестных. В решении таких систем уравнений нельзя обойтись без применения современной вычислительной техники и специализированных программ. В настоящее время наиболее распространенный метод решения строительных (и не только) задач при помощи компьютерной техники – это метод конечных элементов.

В случае сейсмического воздействия нагрузки на систему меняются во времени, т. е. $f = f(t)$, значит функциями времени также следует полагать усилия и перемещения, что требует введение в рассмотрение скоростей dZ/dt и ускорений d^2Z/dt^2 . То-

гда возникающие при этом силы инерции $I(t) = M \frac{d^2z}{dt^2}$ не могут

считаться пренебрежимо малыми по сравнению с нагрузками на систему и силами упругости и их следует учитывать при составлении условий равновесия, которые принимают вид дифференциальных уравнений.

11.2. Общие сведения

Основы расчетов на сейсмическое воздействие методом конечных элементов рассмотрим на примере программы Scad.

Для расчетов на динамические воздействия необходимо подготовить данные о вариантах динамических нагружений и задать для каждого из этих нагружений набор характеристик соответствующего воздействия, порождающего колебания системы. Динамические нагружения должны учитывать инерционные силы. Эти силы связаны с узловыми сосредоточенными массами и массами, расположенными на элементах системы. Учитываемое направление действия инерционных сил должно соответствовать поступательным динамическим степеням свободы, соответствующим граничным условиям и признаку схемы. Допускается использование различных инерционных характеристик в разных нагружениях (например, исследуется движение системы с временными нагрузками и без).

Задание масс производится во вкладке «загружения» при нажатии на кнопку «инерционные характеристики» (рис. 11.1).

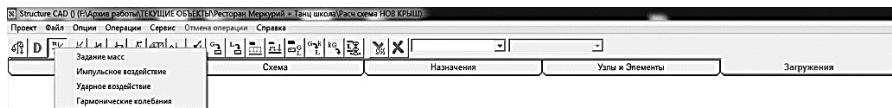


Рис. 11.1. Задание масс в комплексе SCAD

При нажатии на кнопку открывается окно «массы» (рис. 11.2), при этом есть возможность присоединить массы к узлам расчетной схемы, а также распределить их по длине элементов. При задании инерционных свойств узлов в соответ-

ствующем окне нужно задать вес массы и направление, в котором будут учитываться создаваемые ею силы инерции при расчете. При учете масс в элементах есть возможность принять во внимание распределенные и сосредоточенные массы. Здесь требуется указать вес массы и ее привязку.

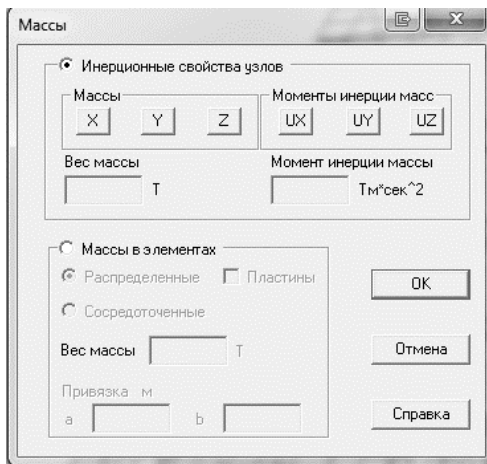


Рис. 11.2. Окно «массы» в комплексе SCAD

Задание масс возможно путем ссылки на статическое нагружение, все местные нагрузки которого интерпретируются как веса масс, расположенные на элементах. Может создаться впечатление, что в этом случае присоединенные загрузки участвуют в расчете дважды – и как статические, и как динамические, но это не так, поскольку в динамическом нагружении они только формируют инерционные силы, не действуя на конструкцию непосредственно.

Характеристики динамических воздействий назначаются в группе диалоговых окон, которые активируются нажатием кнопки «динамические воздействия» во вкладке «загрузки» (рис. 11.3). В представленном перечне динамических нагрузок следует выбрать сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2011 (расчет по СП 14.13330.2014 еще не реализован).

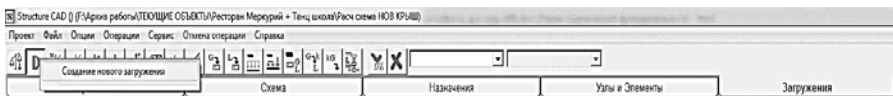


Рис. 11.3. Создание нового динамического нагружения

После нажатия отобразится окно «параметры динамических воздействий» (рис. 11.4).

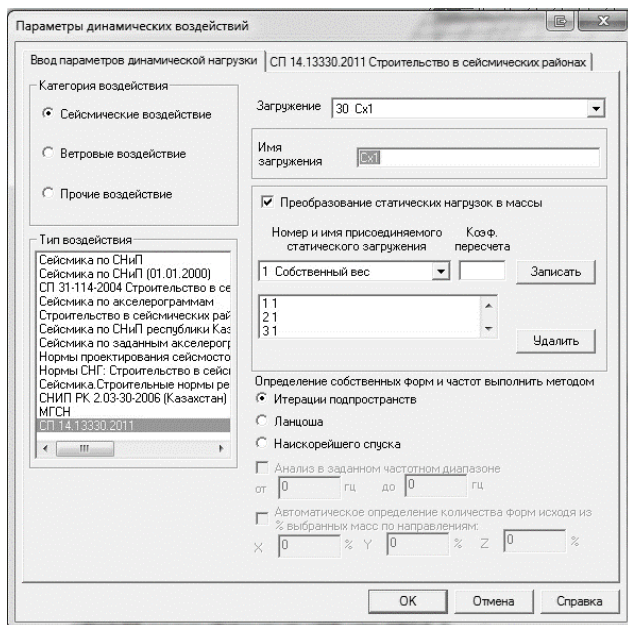


Рис. 11.4. Окно «параметры динамических воздействий»

Необходимо поставить галочку у надписи «преобразование статических нагрузок в массы», затем выбрать нагружения, которые необходимо преобразовать, например, «собственный вес», вписать коэффициент пересчета (при необходимости) и нажать кнопку «записать».

Преобразование статических нагрузок в массы здесь происходит по следующим правилам.

– все местные нагрузки на элементы приводятся к узловым;

- из полученных таким образом приведенных узловых сил остаются только узловые нагрузки по направлению Z;
- знак вычисленной нагрузки игнорируется.

Определение собственных форм и частот может быть выполнено различными методами: итерации подпространств; Ланцоша, наискорейшего спуска.

Непосредственно для сейсмических нагрузений во вкладке «СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах» (рис. 11.5) задаются следующие данные.

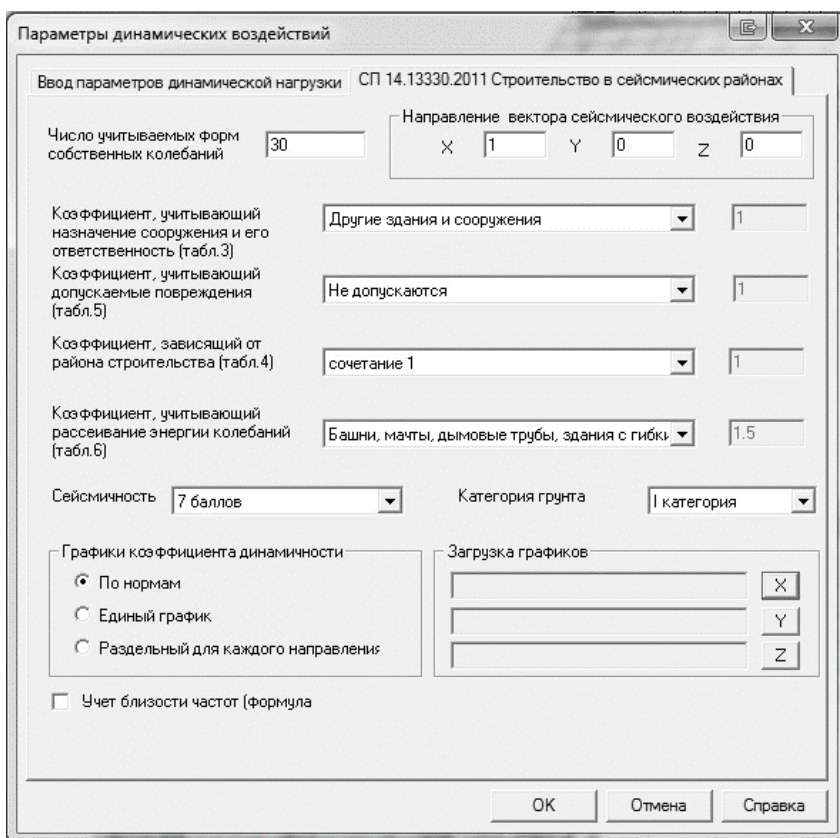


Рис. 11.5. Вкладка «СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах»

1. Число учитываемых форм собственных колебаний. Выбор числа учитываемых форм зависит от конкретной задачи. Необходимо учесть наиболее опасные формы, например, крутильные, которые могут вызвать обрушение сооружения. Имеется эмпирическое правило – для системы с n динамическими степенями свободы надежно вычисляются примерно $n/2$ первых частот и форм собственных колебаний. Бывают случаи, когда первые собственные частоты связаны с формами колебаний, которые не возбуждаются действующей нагрузкой. Это заставляет увеличивать n . Например, для колеса обозрения в Лондоне несколько десятков первых форм собственных колебаний соответствуют локальным вибрациям «спиц».

2. Направление вектора сейсмического воздействия. Указываются косинусы углов с осями X, Y, Z . Например, при $x = 1, y = 0$ и $z = 0$ сейсмическое воздействие будет направлено вдоль оси x .

3. Коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность (согласно табл. 3 СП 14.13330.2011). Выбирается тип сооружения из всплывающего списка.

4. Коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения, – в соответствии с табл. 5 СП 14.13330.2011.

5. Коэффициент, зависящий от района строительства, – согласно табл. 4 СП 14.13330.2011. Выбирается из всплывающего списка.

6. Коэффициент, учитывающий рассеивание энергии колебаний, – в соответствии с табл. 6 СП 14.13330.2011.

7. Сейсмичность – задается сейсмичность площадки строительства.

8. Категория грунта. Согласно нормативным документам при «плохих» грунтах может производиться корректировка сейсмичности площадки строительства.

9. Выбирается применяемый график для коэффициента динамичности. Для расчета по СП необходимо выбрать «по нормам». Кроме того, есть возможность загрузить свои графики для коэффициента динамичности.

10. Учет близости частот – при необходимости учета близких по значениям частот собственных колебаний системы.

Также в ЭВК SCAD предусмотрена возможность расчета на сейсмические воздействия по акселерограммам.

В результате выполненных расчетов возможно получить формы собственных колебаний системы, а также деформации схемы и усилия или напряжения в ее элементах. В дальнейшем следует выполнить прочностные расчеты сечений всех элементов, а также оценить деформативность системы в сравнении с требованиями нормативных документов.

Вопросы и задания для самопроверки

- 1. С какой целью применяют метод конечных элементов при расчете на сейсмические воздействия?*
- 2. Какие существуют способы задания инерционных характеристик масс в комплексе SCAD?*
- 3. Для чего при расчете на сейсмические воздействия необходимо учитывать много форм собственных колебаний системы?*
- 4. Каким образом в комплексе SCAD задается направление сейсмического воздействия?*