

УДК 681.3:519.3

Игнатов А.Ю.

Научный руководитель: доц. Игнатюк В.И.

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЭВМ

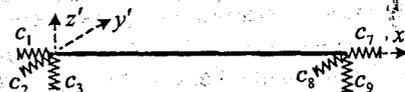
Рассматривается созданная авторами компьютерная программа статического линейного расчета пространственных стержневых систем на действие внешних нагрузок, в основу которой положены зависимости метода конечных элементов, полученные авторами [2, 4] и позволяющие учитывать упруго-податливое присоединение конечных элементов к узлам и действие трапецеидально распределенных нагрузок.

Основное разрешающее уравнение метода конечных элементов имеет вид

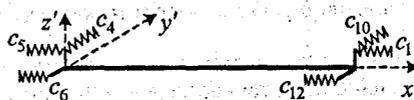
$$[K] \cdot \{\Delta\} = \{F\}, \quad (1)$$

где $[K]$ – матрица жесткости системы; $\{\Delta\}$ – вектор перемещений узлов системы; $\{F\}$ – вектор внешних узловых нагрузок. Выражения матриц жесткости конечных элементов, векторов внешних узловых нагрузок получены в работе [2].

Упруго-податливое присоединение конечных элементов к узлам расчетной дискретной модели метода конечных элементов реализуется с помощью упругих связей (рис. 1), характеристики которых представлены величинами: C_1, C_2, C_3 и C_7, C_8, C_9 – жесткости линейных упругих связей по направлениям осей x', y' и z' соответственно в начале и в конце стержня (рис. 2,а); C_4, C_5, C_6 и C_{10}, C_{11}, C_{12} – жесткости угловых упругих связей относительно осей x', y' и z' соответственно в начале и в конце элемента.



а) линейные упругие связи



б) угловые упругие связи

Рис. 1. Упругие связи пространственного стержневого КЭ

Зависимости для определения перемещений сечений пространственных стержневых конечных элементов, упруго-податливо присоединяющихся к узлам расчетной дискретной модели сооружения, получены в работе [4]. Эти зависимости позволяют определить координаты любого сечения после деформирования системы и соответственно деформированный вид сооружения.

Разработан алгоритм расчета, в соответствии с которым создана компьютерная программа «FINEЛ», программа линейного статического расчета пространственных стержневых систем на действие силовых нагрузок. Программа ориентирована на решение одного класса задач, поэтому достаточно проста в работе, работает под управлением операционных систем Windows, имеет стандартный многооконный графический интерфейс (рис. 1).

Основные функции программы собраны в главном меню (рис. 2) и включают работу с файлами, ввод и редактирование узлов и стержней, решение задачи и представление промежуточных и окончательных результатов расчета, графических изображений, их настройки, работу с окнами, настройки программы, справочную систему программы.

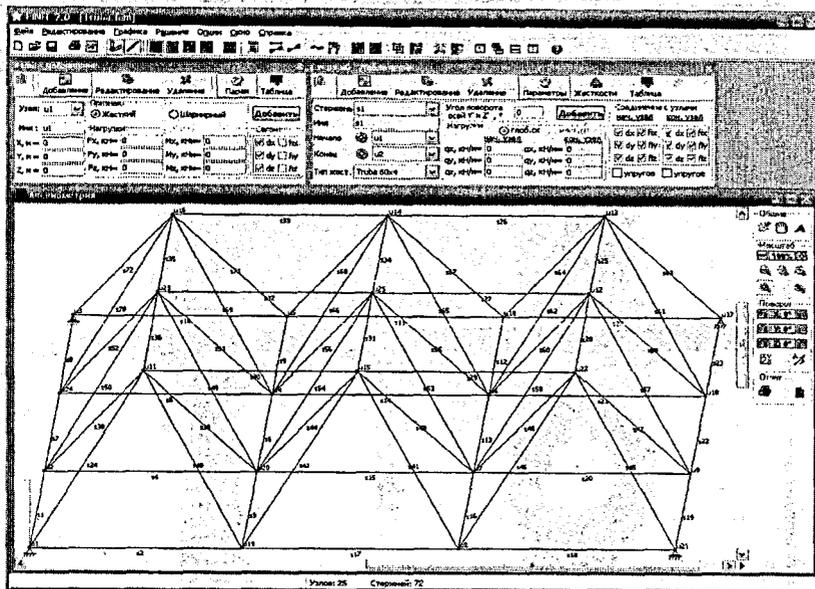


Рис.2. Основное окно программы

Ввод исходных данных производится в основном окне программы с использованием панелей «Узлы», «Стержни», располагающихся под панелью инструментов (рис. 2).

Для узлов расчетной дискретной модели системы вводятся их названия (номера), тип (жесткий, шарнирный), координаты положения узлов (x ; y ; z), наличие опорных связей (линейных, угловых), нагрузки (составляющие сосредоточенных сил и моментов) в узлах.

Для стержней расчетной дискретной модели системы вводятся также их названия (номера), указываются узлы, к которым присоединяются стержни, вид этих соединений (жесткое, шарнирное, упругое), типы и характеристики жесткостей стержней, распределенные нагрузки на стержни (могут задаваться как в глобальной, так и в локальной системах координат), угол поворота оси z' относительно вертикальной плоскости. Для задания упругого соединения стержней с узлами на панели «Стержни» в блоке «Соединение с узлами» (рис. 2) предусмотрены переключатели упругое, включающие возможность задания упругого соединения в начале и конце стержня.

Пространственное сооружение в программе изображается в аксонометрии [3], может быть представлено в проекциях на три плоскости декартовой системы координат (рис. 3). При этом имеется возможность изменения угла, определяющего направление оси y аксонометрии (прямоугольной диметрии), и коэффициента искажения размера по оси y . Это, при необходимости, позволяет выбрать наиболее оптимальный вариант представления рассматриваемого пространственного сооружения. Изображение сооружения в аксонометрии можно поворачивать (вращать) относительно трех осей системы координат (x , y и z). Имеется функция «Что показывать...», позволяющая задавать вид отображаемой информации и ее параметры (узлы, стержни, их названия, положение, опоры, нагрузки, жесткости, эпюры и т.д.).

Располагать рассматриваемые окна можно разными способами – равномерно (рис. 4), каскадом, вертикально, горизонтально.

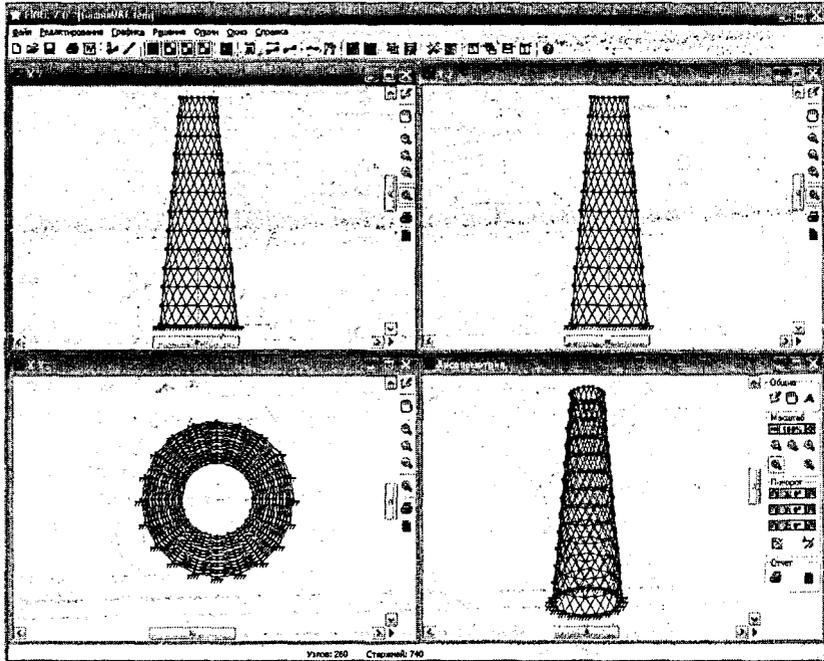


Рис. 4. Графические окна программы «Аксонметрия», «X-Y», «X-Z», «Y-Z»

После запуска программы на расчет выполняется проверка неизменяемости системы, включая наличие (отсутствие) «висячих» узлов и стержней.

В результате расчета для системы (сооружения) получаем усилия в сечениях (изгибающие моменты относительно главных осей сечения, крутящие моменты, поперечные и продольные силы) и их эпюры, а также перемещения узлов и промежуточных сечений стержней и соответственно деформированный вид системы.

Результаты расчета представляются и в графическом, и в численном (табличном) видах. Эпюры усилий и деформации представляются как в целом в системе (рис. 5), так и для каждого стержня (конечного элемента) отдельно.

Представление данных в таблице может корректироваться с помощью специальных команд на панели инструментов, которые позволяют выбрать ширину и высоту ячеек таблицы, вид шрифта, точность, вид и форму представления чисел (число знаков после запятой, отображение нулевых значений, экспоненциальная или обычная форма записи чисел). Результаты расчета представляются на экране монитора, могут быть распечатаны, экспортированы в MS Office Excel, графические изображения можно сохранить в форматах JPG или BMP.

Программа позволяет просмотреть промежуточные результаты расчета, включая матрицы жесткости элементов в локальной и глобальной системах координат, матрицы преобразования координат, вектора узловых нагрузок в местных и общей системах координат, матрицу жесткости системы, коэффициенты разрешающих уравнений, перемещения узловых и промежуточных точек (сечений).

Задание жесткостных характеристик для стержней производится на панели «Стержни» (рис. 1) в окне «Типы жесткостей».

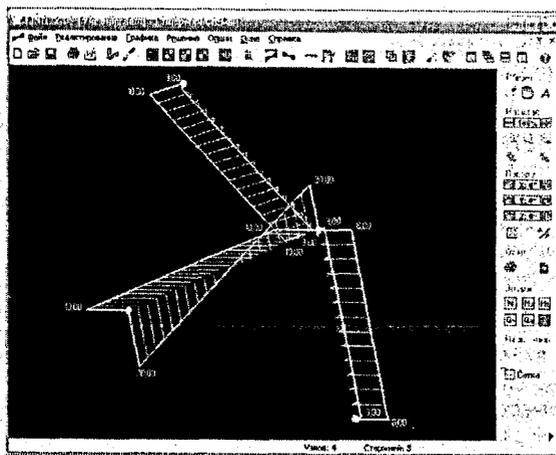


Рис. 5. Окно «Эпюры системы»

Задание жесткостных характеристик для стержней производится на панели «Стержни» (рис. 1) в окне «Типы жесткостей».

Тестирование программы выполнено на примерах, просчитанных вручную и взятых из литературы [5, 6]. Результаты расчетов соответствующих систем, выполненных по программе «FINEL» и по программе «Lira», также совпадают.

Файл исходных данных имеет известную структуру, что позволяет создавать генераторы систем – программы автоматического формирования исходных данных.

Рассматриваемая компьютерная программа статического линейного расчета пространственных стержневых систем на действие внешних нагрузок, разработанная авторами на базе метода конечных элементов, позволяющая учитывать упруго-податливое присоединение конечных элементов к узлам и действие трапециевидально распределенных нагрузок, может использоваться в расчетно-проектной практике, в учебном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем: учебное пособие / В.И. Игнатюк. – Брест, 2004. – 172 с.
2. Игнатюк, В.И. Об учете упругой податливости узловых соединений в расчетах методом конечных элементов пространственных стержневых систем / В.И. Игнатюк, А.Ю. Игнатов // Вестник БрГТУ. – 2004. – № 1(25): Строительство и архитектура. – С. 118–122.
3. Игнатюк, В.И. Моделирование вращения аксонометрического изображения пространственной стержневой системы на экране монитора / В.И. Игнатюк, А.Ю. Игнатов // Вестник БрГТУ. – 2006. – № 5: Физика, математика, информатика. – С. 67–70.
4. Игнатюк, В.И. Деформирование пространственного стержневого конечного элемента, упруго-податливо присоединенного к узлам / В.И. Игнатюк, А.Ю. Игнатов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2008. – № 1: Строительство и архитектура.
5. Борисевич, А.А. Общие уравнения строительной механики и оптимальное проектирование конструкций / А.А. Борисевич. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 144с.
6. Трущев, А.Г. Пространственные металлические конструкции: учебное пособие / А.Г. Трущев. – М.: Стройиздат, 1983.