

Игнатюк В.И., канд. тех. наук, доц.; Игнатов А.Ю.
(БрГТУ, г. Брест)

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматривается расчет пространственных стержневых систем методом конечных элементов [1] с учетом упругой податливости узловых соединений. В каждом узле таких систем имеется шесть независимых перемещений – три линейных перемещения по направлениям осей x , y и z общей декартовой системы координат и три угла поворота относительно этих осей. 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, процедура формирования матрицы жесткости системы и выражения векторов внешних узловых нагрузок представлены 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. 1, а); c_4, c_5, c_6 и c_{10}, c_{11}, c_{12} – жесткости угловых упругих связей относительно осей x' , y' и z' в начале и в конце элемента (рис. 1, б).

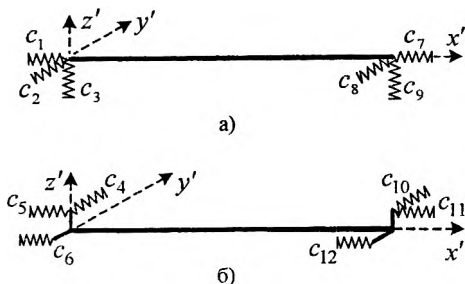


Рис. 1. Упругие связи пространственного стержневого КЭ
а – линейные упругие связи; б – угловые упругие связи

Зависимости для определения перемещений сечений пространственных стержневых конечных элементов, упругоподатливо присоединяющихся к узлам расчетной дискретной модели сооружения, получены в работе [3]. Эти зависимости позволяют определять координаты сечений после деформирования системы и соответственно деформированный вид сооружения.

Решение системы разрешающих уравнений (1) выполняется способом Гаусса с проверкой точности решения после выполнения обратного хода и, при необходимости, итерационным процессом уточнения решения.

Усилия в стержнях после определения перемещений узлов системы из решения уравнений (1) находятся с использованием выражения [1, 2]

$$\{r_s\} = [K'_s][T_{as}]\{\Delta_s\} - \{P'_{qs}\},$$

где $[K'_s]$ – матрица жесткости стержня в местной системе координат, $[T_{as}]$ – матрица преобразования координат, $\{\Delta_s\}$ – вектор перемещений концов стержня в глобальной системе координат, полученный при решении уравнений (1), $\{P'_{qs}\}$ – вектор узловых усилий по концам стержня от действия на него распределенных нагрузок.

На основе полученных зависимостей разработан алгоритм расчета, в соответствии с которым создана компьютерная программа линейного статического расчёта пространственных стержневых систем, нагруженных сосредоточенными силами и моментами, равномерно и трапецидально распределенными нагрузками – программа «FINEL» (рис. 2).

В отличие от больших расчетных комплексов, позволяющих решать широкий спектр задач и поэтому часто требующих изучения громоздких инструкций для успешной работы с ними, программа «FINEL» ориентирована на решение одного класса задач, в связи с чем достаточно проста в работе. Программа имеет стандартный многооконный графический интерфейс, достаточно развитый сервис, графическое представление исходных данных и результатов расчета. Основные функции программы собраны в главном меню (см. 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, справочную систему программы. Ввод исходных данных производится в основном окне программы с использованием панелей «Узлы», «Стержни».

Для узлов расчетной дискретной модели системы вводятся их названия, тип (жесткий, шарнирный), координаты положения (x , y , z), наличие опорных связей, нагрузки в узлах.

Для стержней вводятся их названия, указываются узлы, к которым присоединяются стержни, вид этих соединений (жесткое, шарнирное, упругое), типы и характеристики жесткостей стержней, распределенные нагрузки на стержни, углы поворота осей z' относительно вертикальной плоскости. Задание жесткостных характеристик стержней производится на панели «Стержни» (рис. 2) или в окне «Типы жесткостей». Для задания упругого соединения стержней с узлами на панели «Стержни» в блоке «Соединение с узлами» предусмотрены переключатели, включающие упругое соединение в начале и конце стержня, после чего можно задать жесткости линейных или угловых упругих связей c_1-c_{12} . При этом задание для c_1-c_{12} больших значений (больше $1E20$) соответствует жесткому присоединению концов конечного элемента к узлам; задание этих величин равными нулю отвечает отсутствию соответствующих связей вообще.

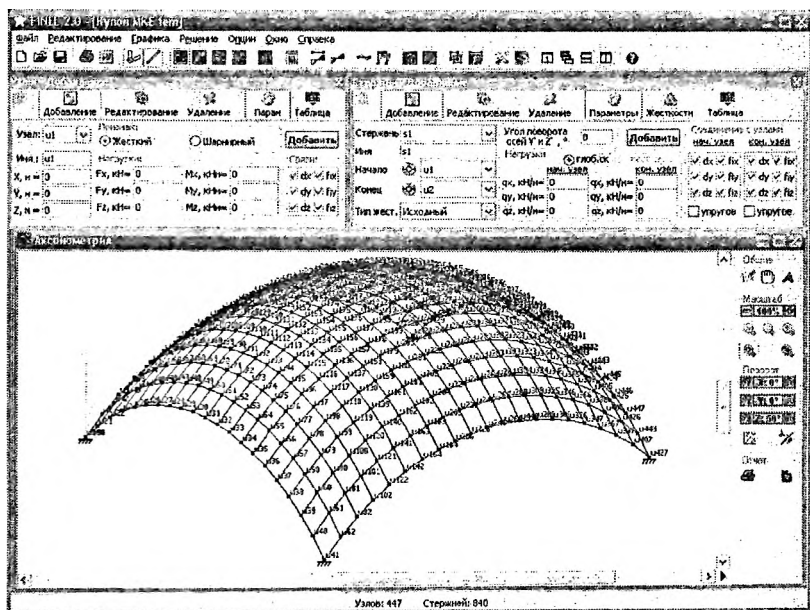


Рис. 2. Основное окно программы

Пространственное сооружение в программе изображается в аксонометрии [4], а также может быть представлено в проекциях на три плоскости декартовой системы координат, для чего в программе предусмотрено четыре окна (рис. 3).

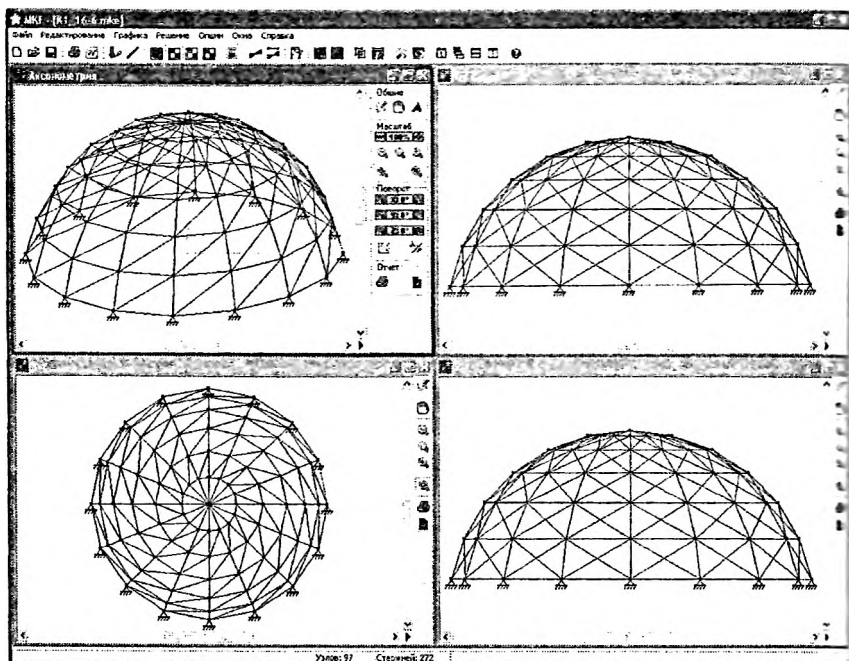


Рис. 3. Графические окна «Аксонметрия», «X – Y», «X – Z», «Y – Z»

Изображение в аксонометрии можно поворачивать (вращать) относительно трех осей системы координат. При отображении больших систем графические данные часто накладываются друг на друга, что затрудняет чтение изображения. В программе предусмотрена функция «Что показывать...», позволяющая задавать вид отображаемой информации и ее параметры (узлы, стержни, их названия, опоры, нагрузки, жесткости и т.д.). Располагать рассматриваемые окна можно разными способами: так, как показано на рисунке 3, каскадом, вертикально, горизонтально.

После запуска программы на расчет выполняется проверка неизменяемости системы. В результате расчета для системы (сооружения) получаем:

- усилия в сечениях (изгибающие моменты относительно главных осей сечения, крутящие моменты, поперечные и продольные силы) и эпюры;
- 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. 4), так и для каждого стержня отдельно.

Представление данных в таблицах может корректироваться с помощью специальных команд, которые позволяют выбрать вид шрифта, ширину и высоту ячеек, точность, вид и форму представления значений (число знаков после запятой, экспоненциальная / обычная форма записи чисел и др.). Результаты расчета могут быть распечатаны, экспортированы в Excel, графические изображения могут быть сохранены 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).

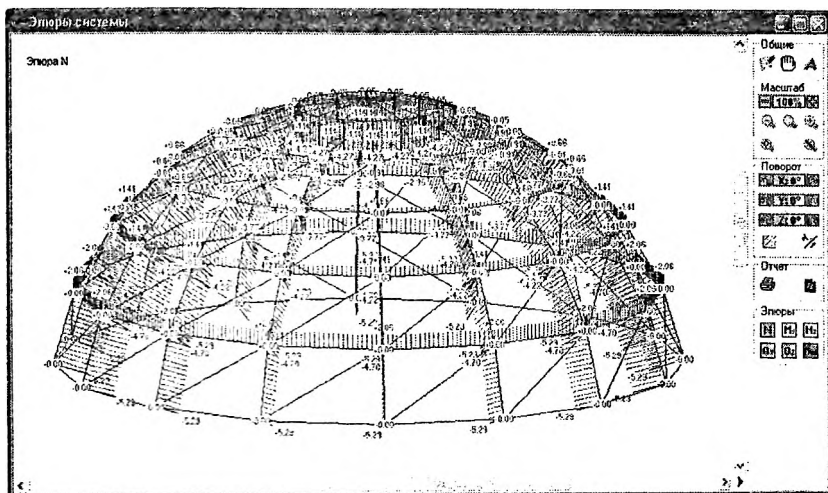


Рис 4 Окно «Эпюры системы»

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

Файл исходных данных имеет известную структуру, что позволяет создавать генераторы систем, автоматически формирующие эти файлы.

Рассматриваемая компьютерная программа может использоваться в расчетно-проектной практике и в учебном процессе.

Литература

1. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем: учебное пособие / В.И. Игнатюк. – Брест, 2007. – 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 // Вестн. БрГТУ. – 2004. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 118 – 122.
3. Игнатюк, В.И. Деформирование пространственного стержневого конечного элемента, упруго-податливо присоединенного к узлам / В.И. Игнатюк, А.Ю. Игнатов // Вестн. БрГТУ. – 2008. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 65 – 69.
4. 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.

УДК 624.012.45

Глухова Т.М.

(ПГУ, г. Новополоцк)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ В ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТАХ

В Республике Беларусь усилиями ученых Т.М. Пецольда, В.В. Тура [2], В.Г. Казачка [3] и др. ведется разработка единого методологического подхода к оценке надежности проектируемых и существующих, выполняемая по результатам обследования технического состояния, строительных конструкций. Новая концепция надежности, определенная в утвержденном постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь 29.12.2007 № 67 и вводимом в действие с 1 июля 2008 года СТБ ISO 2394-2007 «Надежность строительных конструкций».