

Рисунок 1 – Вольт-ампернометрические характеристики образцов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kawana, A., Ishimura, H., Iwata, Y., Ono, S. Development of PVD ceramic coatings for valve seats // Surf. Coat. Tech., № 86–87, 1996. P. 212–217.
2. Чаевский, В.В., Злоцкий, С.В. Структура и механические свойства нитридных систем Ti–Cr–N, сформированных при совмещении плазменных потоков различной плотности // Взаимодействие излучений с твердым телом: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. / БГУ. – Мн., 2005. – С. 170–172.

УДК 624.04(07)

Игнатов А.Ю.

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КУРСА  
«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ»**

*УО «Брестский государственный технический университет»,  
г. Брест, Республика Беларусь*

*Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Игнатюк В.И.*

*Рассматривается созданная авторами компьютерная программа расчета пространственных стержневых систем при действии статических нагрузок. Расчет выполняется методом конечных элементов, учитывается упругая податливость присоединения стержней к узлам.*

Рассматривается расчет пространственных стержневых систем, нагруженных сосредоточенными силами и распределенными равномерно и по трапецеидальным законам нагрузками. Расчет выполняется методом конечных элементов, учитывается упругая податливость присоединения стержней к узлам. Матрицы жесткости и вектора нагрузок с учетом упругой податливости узловых соединений получены в работе [1]. Учитывая, что узел в пространстве имеет шесть степеней свободы, матрица жесткости пространственного стержневого конечного элемента имеет размер 12 на 12, а вектор нагрузок содержит 12 элементов. Алгоритм расчета представлен в работе [2]. Система уравнений метода конечных элементов может содержать тысячи уравнений, решается способом Гаусса с последующим уточнением решения на основе итерационного процесса вычисления возможных погрешностей и внесением коррективов в решение до получения заданной точности.

Ввод исходных данных выполняется в основном окне программы (рис. 1) с помощью редактора узлов и редактора стержней. Редактор узлов позволяет задавать новые узлы (жесткие, шарнирные), их координаты, связи в узлах (опоры) и нагрузки в них. В редакторе стержней задаются стержни (по начальному и конечному узлам), вид их присоединения к узлам (жесткое, шарнирное, с ограниченным числом связей, упруго податливое), жесткостные характеристики стержней (изгибные относительно главных осей сечения, продольная, сдвиговые по направлениям главных осей сечения и при кручении), распределенные (равномерно, треугольные, трапецеидальные) нагрузки на стержни в местных либо общей системах координат. При упруго податливом присоединении стержней к узлам задаются коэффициенты упругой податливости связей по каждому из шести направлений возможных перемещений (линейных связей по направлениям осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  пространственной декартовой системы координат и угловых связей, закрепляющих точки соединения от поворота относительно этих же осей).

Получены зависимости и алгоритм представления пространственных стержневых систем в аксонометрической проекции на плоскости экрана монитора (принята прямоугольная диметрия), разработана процедура пространственного поворота (вращения) изображения относительно осей декартовой системы координат [3], реализованные в программе. В программе предусмотрена возможность изменения угла, определяющего направление оси  $u$  прямоугольной диметрии, и коэффициента искажения размеров по этой оси, что позволяет пользователю выбрать наиболее оптимальный вариант представления рассматриваемого пространственного сооружения. Имеется также возможность увидеть сооружение в проекциях на все три плоскости ( $xu$ ,  $xz$ ,  $yz$ ) пространственной декартовой системы координат.

В результате расчета получаем: усилия (эпюры усилий) в стержнях системы (изгибающие моменты относительно главных осей сечения, крутящие моменты, поперечные и продольные силы), перемещения узловых и промежуточных точек и соответственно деформированный вид сооружения.

Программа позволяет просмотреть промежуточные результаты расчета, включая матрицы жесткости элементов и вектора узловых нагрузок в местных и

общей системах координат, коэффициенты разрешающих уравнений, перемещения узловых точек. Эпюры усилий можно увидеть как в целом в системе, так и для каждого стержня (конечного элемента) отдельно. Результаты расчета представляются графическим и в численном (табличном) видах. В программе имеются также возможности масштабирования графических объектов, настройки параметров и форм представления характеристик сооружений – названий узлов, их координат, названий стержней, их жесткостных характеристик, нагрузок и т.д.

Программа реализована в среде программирования Delphi 7 с применением объектно-ориентированной модели программирования. Исполняемый файл программы имеет размер 2,4 Мб, работает под управлением операционных систем Windows 98, XP, не требует специальной установки. Стандартный для Windows графический многооконный интерфейс и достаточно развитый сервис, наглядное представление исходных данных, промежуточных и окончательных результатов расчета делают работу в программе достаточно простой, удобной и понятной.

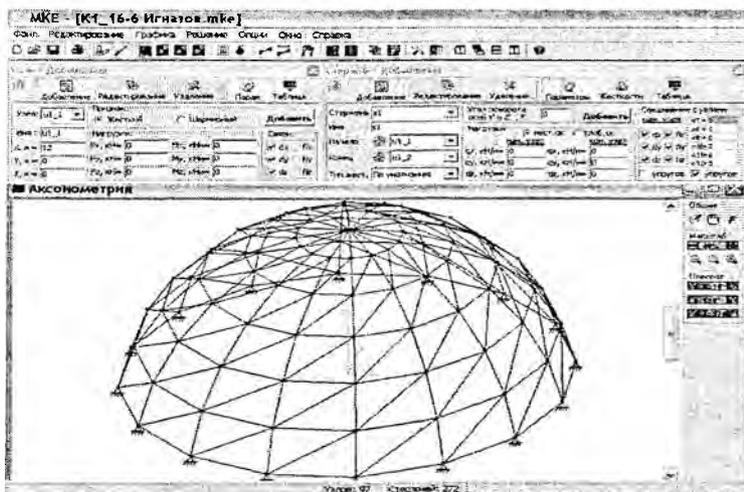


Рисунок 1 – Основное окно программы

Исходные данные и результаты расчета сохраняются в программе в файлах текстового формата известной структуры, что позволяет использовать и, так называемые, генераторы систем, которые автоматически формируют файлы исходных данных для рассматриваемых сооружений.

Программа позволяет рассчитывать любые пространственные стержневые системы, включая различного рода структуры, покрытия, купола, на действие статических нагрузок, позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние этих сооружений при изменении их расчетных схем и характеристик. Программа удобна в учебно-исследовательском процессе, может применяться в расчетно-проектной практике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатюк, В.И., Игнатов, А.Ю. Об учете упругой податливости узловых соединений в расчетах методом конечных элементов пространственных стержневых систем // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2004. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 118–122.
2. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем: Учебное пособие. – Брест: БГТУ, 2004. – 172 с.
3. Игнатюк, В.И., Игнатов, А.Ю. Моделирование вращения аксонометрического изображения пространственной стержневой системы на экране монитора // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2006. – № 5: Физика, математика, информатика.

УДК 621.793.18

Каланда Д. С.

### ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научные руководители: доктор техн. наук, доцент Иванов И. А.  
канд. техн. наук, доцент Фролов И. С.*

Анализ современного состояния вакуумно-плазменных методов формирования защитных и упрочняющих покрытий показывает, что область их использования постоянно расширяется. Значительную роль в этом играют технологические возможности методов позволяющие получать многокомпонентные защитные покрытия на основе соединений, синтез которых при температуре основы менее 500°C невозможен. На практике надежность покрытий определяется составом, структурой и морфологией поверхности, величиной общей и сквозной пористости, остаточных напряжений. Эти технологические параметры оказывают решающее значение на эксплуатационные свойства покрытий.

Цель данной статьи - выявить роль качества подготовки поверхности основы на шероховатость поверхности формируемых покрытий.

Формирование покрытий проводилось с использованием вакуумной установки УРМ3.279.048, оснащенной дополнительно импульсным генератором плазмы для получения покрытий из УАПП. Эксперименты проводились на образцах из аустенитной стали 12Х18Н10Т, бронзы БрА10, алюминиевого сплава Д16Т, титановых сплавов ВТ1 и ВТ3-1, имевших различную исходную шероховатость поверхности. Параметры шероховатости ( $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $t_p$ ) измерялись на профилографе-профилометре модели 252. Режимы очистки и формирования покрытий TiN и Me-Si, Me-Si-N, Me = Ti, Zr были следующие: