

УДК 531.3+004.02

Г. С. Бокун, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ);
Д. В. Гапанюк, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель (БГТУ);
Н. В. Козырский, студент (БГТУ)

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATHCAD И NASTRAN

Пакеты Mathcad и Nastran использованы для решения задач динамического анализа и синтеза шестизвенных рычажных механизмов с низшими кинематическими парами. Осуществлен сравнительный анализ возможностей и преимуществ использования названных пакетов на каждом отдельном этапе моделирования работы механизмов.

Packages Mathcad and Nastran are used to solve the problems of dynamical analysis and synthesis of lever mechanisms composed of six links with lower kinematics couples. Comparative analysis of possibilities and advances of the packages is carried out on each particular stage of the modeling of mechanisms operation.

Введение. Совместное использование пакетов Mathcad и Nastran открывает дополнительные возможности при моделировании и конструировании машин и механизмов.

Так, в среде Mathcad удобно осуществлять синтез оптимальных схем путем решения соответствующих систем нелинейных уравнений, ориентируясь на общепринятые методы, предполагающие выполнение кинематического анализа, определение передаточных функций, решения затем дифференциального уравнения движения машины с последующим расчетом требуемых значений параметров и характеристик.

Специализированный пакет Nastran удобен для детального анализа работы спроектированного механизма, применяется уже с целью «экспериментальной проверки» при работе в различных условиях и определения эффективности принятых решений в условиях, приближенных к реальным.

Рассмотрим отмеченное, ограничиваясь этапом конструирования, традиционно относящимся к дисциплине теории механизмов и машин. Здесь решаются задачи синтеза кинематических схем механизмов с последующим уточнением некоторых характеристик, обеспечивающих требуемый режим эксплуатации машин и механизмов.

Для исследования пригодности принятой кинематической схемы в Mathcad необходимо построить уравнения движения каждого звена. Для этого используются специально разработанные подходы [1]. Численное решение систем определяющих уравнений позволяет установить все функции положения и передаточные функции механизма. Вычислительная среда пакета Nastran организована так, что система «сама» составляет и решает уравнения Лагранжа для случая плоских и пространственных рычажных механизмов. В ре-

зультате это дает преимущества на начальной стадии проектирования, но не позволяет корректировать процесс на отдельных этапах, так как с помощью Nastran сразу виден конечный результат, порождаемый исходным решением, а Mathcad позволяет отслеживать возможности механизма на каждой отдельной стадии, корректируя по отдельности соответствующие системы уравнений и условия, отражающие структуру, кинематическую и динамическую схемы механизма. Ранее было изучено соответствие обоих подходов при компьютерном построении схем механизмов и их кинематическом анализе [2].

В данной работе рассматриваются задачи динамики машин и механизмов, заключающиеся в определении момента инерции маховика, который обеспечивает заданный уровень неравномерности движения в установившемся режиме работы, и выполнении силового расчета, позволяющего определить величины реакций в кинематических парах. Трением и силами вредных сопротивлений пренебрегается, что дает возможность отдельного рассмотрения вопросов динамического анализа и синтеза.

Построение механизма. Для построения механизма в среде Mathcad необходимо составить системы уравнений, определяющих положение звеньев механизма и координат их центров масс, для чего используем метод замкнутых контуров. Кинематическая схема механизма (рис. 1), длины всех звеньев и величина силы полезных сопротивлений $P_{п.с.}$, которая действует только на рабочем ходу, заданы по условию. Для нахождения координат всех необходимых точек (кинематических пар и центров масс каждого звена) в пакете Mathcad составляются системы уравнений для каждой группы Ассура.

По вычисленным координатам кинематических пар и центров масс каждого звена

составляются функциональные зависимости, позволяющие построить механизм в любом произвольном положении и выполнить его последующую анимацию.

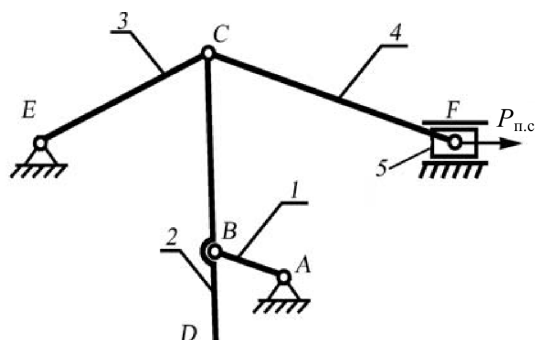


Рис. 1. Кинематическая схема механизма:
1 – кривошип; 2, 4 – шатун;
3 – коромысло; 5 – ползун

Особенностью использования пакета Nastran для моделирования механизмов является то, что он не требует задания каких-либо уравнений, а следует задать лишь свойства, расположение, взаимодействие тел друг с другом и вид моделирования. Также Nastran предоставляет возможность автоматического измерения некоторых физических величин и построения их графиков в зависимости от времени.

Средства моделирования Nastran позволяют создавать реалистичные тела и механизмы в четырехмерном пространстве (X, Y, Z, t), в отличие от пакета Mathcad, где все построения двумерны. Построение механизма производится с помощью инструментов Cylinder, Coord, Box, Revolute Motor, Revolute Joint, Spherical Joint и Rigid Joint on Slot. Пример созданного механизма показан на рис. 2.

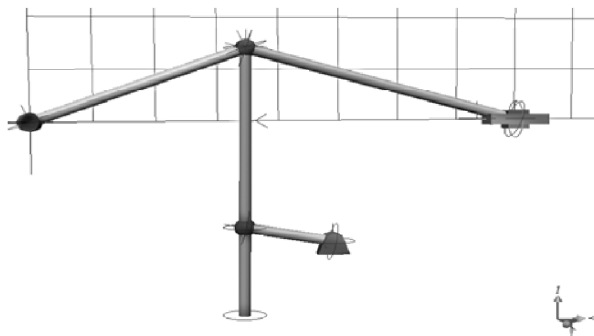


Рис. 2. Объемная модель механизма в пакете Nastran

Определение кинематических характеристик звеньев механизма. В работах [1, 2] был описан способ определения передаточных функций механизма в программе Mathcad, основанный на взятии центрированной производной от функций координат центров тяжести и углов поворота звеньев механизма, которые

были определены при построении его схемы. Таким образом, вычислив первые и вторые производные, получаем первую и вторую передаточные функции ползуна (рис. 3).

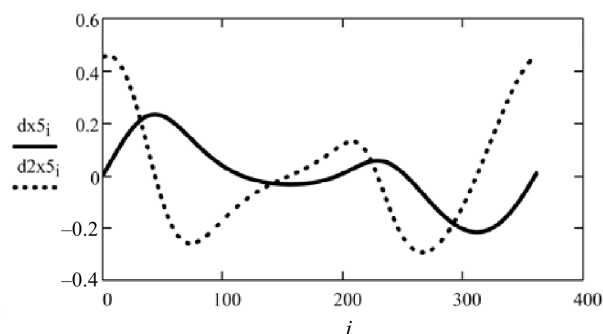


Рис. 3. Первая и вторая передаточные функции ползуна в Mathcad

На рис. 4 приведены результаты расчета скоростей и ускорений выходного звена в пакете Nastran. Необходимо отметить, что для получения представленных графиков функций не требовалась запись каких-либо уравнений или зависимостей, а были использованы встроенные средства пакета: Velocity и Acceleration. Сопоставляя приведенные зависимости на рис. 3 и 4, видно, что результаты расчета идентичны в обоих пакетах, если учесть различие единиц измерения, откладываемых по осям координат.

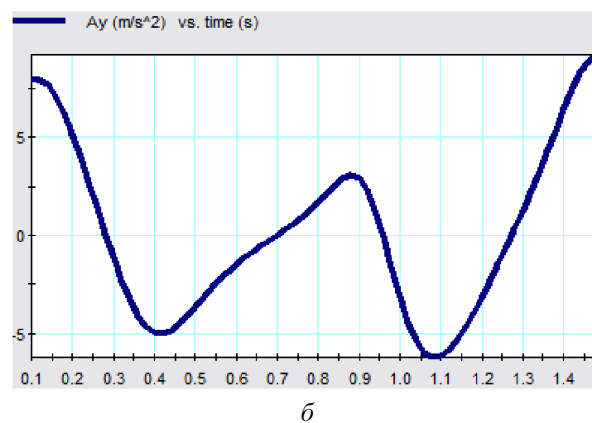
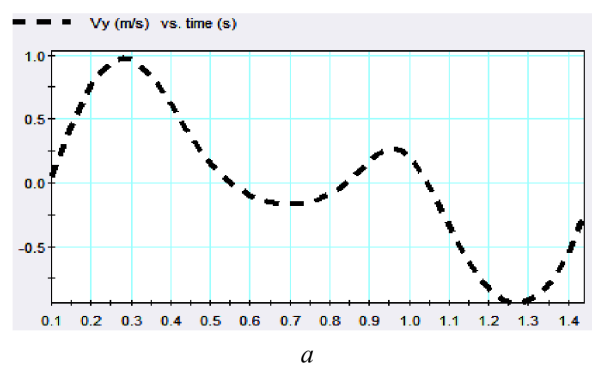


Рис. 4. Первая (а) и вторая (б) передаточные функции ползуна в Nastran

Подбор момента инерции маховика. Одной из главных задач динамического синтеза является подбор момента инерции маховика. В Mathcad расчет маховика ведется по аналитическим зависимостям с использованием метода Мерцалова [1]. В пакете Nastran момент инерции маховика в результате прямого моделирования определить нельзя, так как его значение является входным параметром для последующего моделирования. Способ определения момента инерции маховика, использованный в данной работе, заключается в последовательном увеличении момента инерции звена 1 и анализе результатов моделирования (анализ зависимости изменения угловой скорости входного звена за один цикл установившегося движения). Подбор ведется до тех пор, пока коэффициент неравномерности движения не станет меньше либо равным допустимому значению.

На рис. 5 представлены результаты расчета угловой скорости с учетом момента инерции маховика в пакетах Mathcad и Nastran. Различие в числовых значениях, отображаемых на соответствующих осях, зависит от разных единиц измерения, используемых в пакетах. В Mathcad построена зависимость угловой скорости (рад/с) от угла поворота (градус), а в Nastran выводится зависимость угловой скорости (градус/с) от времени (с).

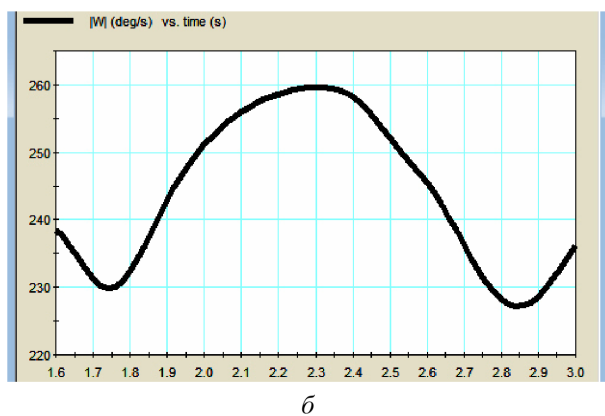
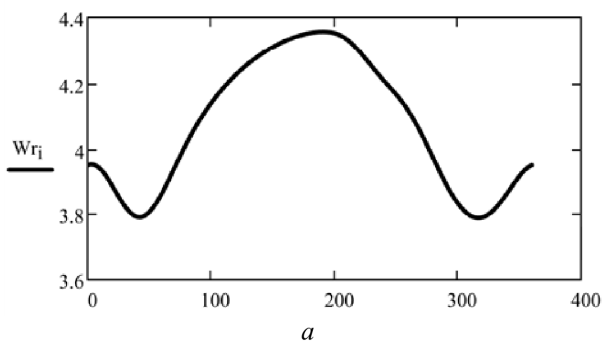


Рис. 5. Графики изменения угловой скорости входного звена в Mathcad (а) и Nastran (б)

Силовой расчет. Задачей силового расчета механизма является определение реакций в кинематических парах при заданных внешних силах. Возникновение реакций в кинематических парах обусловлено не только воздействием внешних сил, но и движением звеньев с ускорениями. Дополнительные динамические составляющие реакций учитываются путем введения в расчет сил инерции звеньев. В основе данного метода расчета лежит принцип Даламбера.

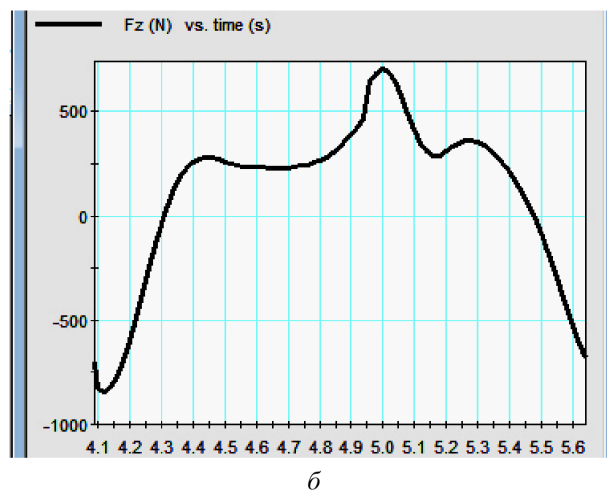
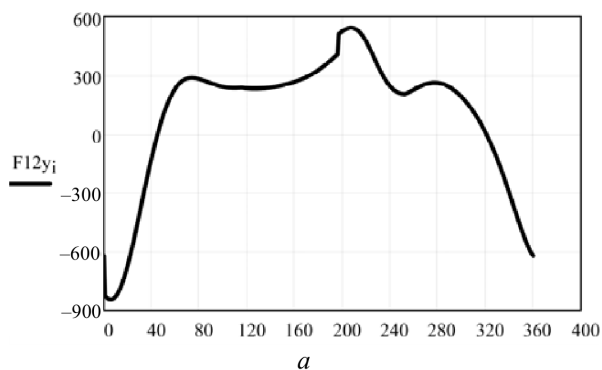


Рис. 6. Графики изменения вертикальной составляющей реакции в шарнире в Mathcad (а) и Nastran (б)

Выполнение силового расчета в Mathcad ведется путем составления систем уравнений равновесия: рассматриваются группы Ассур в порядке, обратном их присоединению; составляются системы уравнений, состоящие из проекций всех сил, действующих на группу Ассур, и момента сил относительно какой-либо точки. В Nastran определение сил, действующих в кинематических парах, производится с помощью встроенного средства измерения Meter. На рис. 6 приведен пример расчета вертикальной составляющей реакции в шарнире, соединяющем звенья 1 и 2.

Заключение. Несмотря на то, что в Mathcad все уравнения, закономерности и законы

задавались вручную, а в Nastran они заложены в пакет и недоступны для редактирования и просмотра, мы получили одинаковые результаты расчета. На основании этого можно сделать вывод, что для моделирования рычажных механизмов можно использовать как Mathcad, так и Nastran. Однако в каждом из них есть свои преимущества: если важен только конечный результат (кинематический расчет, силовой расчет), то целесообразнее использовать Nastran, если же необходим синтез оптимальных схем, требующий промежуточной корректировки входных данных и уравнений, то – Mathcad.

Литература

1. Компьютерная механика. Динамический и кинематический анализ механических систем: курс лекций / С. А. Гляков [и др.]; под ред. М. А. Журавкова. – Минск: БГУ, 2006. – 375 с.

2. Бокун, Г. С. Использование пакетов Mathcad и Nastran для построения схем механизмов и их кинематического анализа / Г. С. Бокун, Д. В. Гапанюк, Н. В. Козырский // Теоретическая и прикладная механика. – 2011. – Вып. 26. – С. 252–255.

Поступила 01.03.2011