электронное научно-техническое издание
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0420900025. ISSN 1994-0408

Модульный принцип моделирования сочленённых машин двойного назначения

 # 08, август 2010

автор: Баженов Е. Е.

УДК 629.11.012.816

Уральский Федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
st194@yandex.ru

Сочлененная военная гусеничная машина (СВГМ) – сложная многомассовая динамическая система. Математическая модель движения корпусов СВГМ и работы системы вооружения определяется совокупностью задач теории подрессоривания, при решении которых должна быть получена необходимая информация для прогнозирования эксплуатационных свойств системы подрессоривания и активного узла сочленения.

Во время и непосредственно после импульсного воздействия со стороны метательной установки СВГМ совершает сразу несколько колебательных процессов:

- вертикальный (осадка корпуса на рессорах);

- горизонтальный линейный вдоль продольной оси изделия внутри гусеничного обвода (откат);

- горизонтальный линейный перпендикулярный продольной оси изделия

- угловой вокруг продольной оси изделия (собственное вращение);

- угловой вокруг вертикальной оси изделия (прецессия или рыскание);

- угловой вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной продольной оси изделия (нутация или тангаж или дифферент).

Анализ системы подрессоривания и её влияние на огневую мощь позволил сформулировать основные требования к математической модели:

- модель должна описывать совместную динамику корпусов СВГМ и ходовой системы с достаточной точностью, необходимой для оценки времени затухания колебаний корпусов после выстрела, нагруженности элементов системы подрессоривания;

- модель должна учитывать конструктивные особенности системы подрессоривания и движителя, характер связей, наложенных на СВГМ;

- модель должна позволять моделировать воздействия от метательной установки во всем диапазоне поворота башни и на всех углах прицеливания;

- модель должна учитывать характеристики опорной поверхности.

Исследование динамических процессов в реальном объекте требуют замены этого объекта упрощенной моделью, в которой сохранены только существенные для данного исследования свойства объекта, а все другие свойства не принимаются во внимание или заменяются более простыми связями.

Существует много разновидностей колебательных моделей транспортных систем, анализ наиболее распространенных показал, что можно найти такой универсальный элемент модели, с помощью которого можно получить любую структурную схему. В данном случае рассматривается двухмассовая модель с двумя упругими элементами и четырьмя степенями свободы (рис. 1).

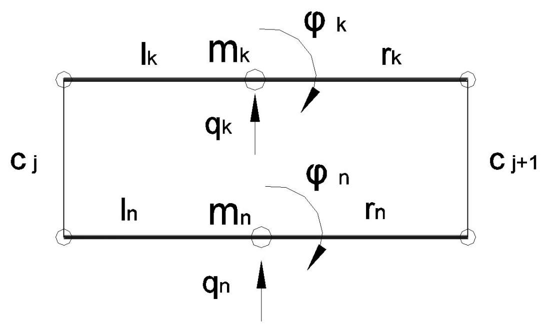


Рис. 1. Универсальный элемент

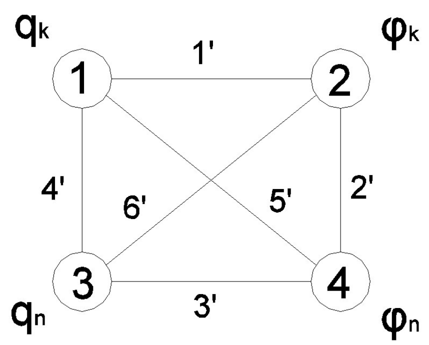


Рис. 2. Фрагмент матрицы смежности, представленный графом

При построении математической модели найденного элемента и составление уравнений связи позволяющих их комбинировать, появляется возможность получить математическую модель практически любой колесной или гусеничной машины. То есть, в дальнейшем, алгоритм построения модели можно масштабировать до объектов любой сложности.

Построение математической модели ведется с помощью теории графов и объектно-ориентированного подхода, используя известное матричное дифференциальное уравнение:

$$A\ddot{q} + B\dot{q} + Cq = D\ ,$$

$C = \pi_q^T G \pi_q$ (1)

где - матрица смежности приведенных коэффициентов жесткости; (2)

$B = \pi_q^T R \pi_q$ - матрица смежности приведенных коэффициентов диссипации; (3)

$D = \alpha_q^T X$ - вектор функция неконсервативных обобщенных сил; (4)

q– обобщенная координата;

$\chi = \alpha(q)$ – вектор координат действия внешних сил;

$\eta = \pi(q)$ – координата, по которой деформируется упругий элемент.

Для выражения математической модели в форме матричного уравнения (1), необходимо:

1. Указать на схеме замещения все необходимые для ее описания обозначения (рис. 5).

2. Построить уравнения связей упругих и демпфирующих элементов системы (так как структура уравнений является аналогичной, для примера рассматриваются упругие элементы). Эти уравнения характеризуют зависимость деформации упруго-диссипативных элементов от обобщенных координат системы.

Составляются уравнения связей по координатам η, они совпадают с направлением деформации упругого элемента:

$$\eta_j = (q_k + l_k\varphi_k) - (q_n + l_n\varphi_n) \tag{5}$$

$$\eta_{j+1} = (q_k - r_k\varphi_k) - (q_n - r_n\varphi_n)$$

где η_j – деформация j-го упругого элемента;

$\varphi_k, \varphi_n \quad q_k, q_n$ – координаты, соответственно, вертикального и углового перемещения сосредоточенной массы;

$r_k, r_n \quad l_k, l_n$ – расстояние от центра инерции k-й и n-й массы, соответственно до точки соприкосновения левого и правого упругого элемента.

Далее производится дифференцирование уравнения (5) по всем обобщенным координатам: $\frac{\partial \pi}{\partial q} = \pi_q$, где π_q - матрица инциденции.

В матрице π_q количество столбцов соответствует числу обобщенных координат, а количество строк числу упругих элементов. Физический смысл ее заключается в формировании матрицы приведенных жесткостей. Получив матрицу π_q, по формуле (2) находится матрица смежности - *C*. Также на основе матрицы *C* можно построить граф, в котором вершины – обобщенные координаты, а ребра – уравнения показывающие взаимосвязь координат (рис. 2).

Аналогичным образом находится матрица приведенных внешних сил, по формуле (4).

В результате получим математическую модель в виде матричного дифференциального уравнения (1). Способы решения уравнений такого вида описаны в работах [1,2].

На наш взгляд большую научную и методическую ценность представляет программа, которая решает полученную математическую модель, значительно упрощая процедуру ее оптимизации и решения. Поэтому программирование математической модели велось с использованием автономных завершенных объектов (рис. 1), отсюда следует, что программировать модель целесообразней с помощью программы использующей объектно-ориентированные алгоритмы.

Объектно-ориентированное программирование базируется на следующих принципах:

1. Инкапсуляция – соединение в одном программном модуле свойств, данных и методов их обработки.
2. Наследование – определение предка (создан первым) и потомка (создан после предка и имеет все свойства предка, а также свои свойства).
3. Полиморфизм – свойство объекта обрабатывать данные разных типов и свои и своих предков.

Из множества программных продуктов, в качестве средства реализации математической модели, выбрана программа Python, на наш взгляд полностью соответствующая задачам исследования.

Программирование начинается с матрицы смежности, ее вид, представленный, на рис. 3 не удобен для сканирования. Поэтому на ребрах графа выделяются точки и с помощью их "вытягивания" за пределы графа получаем двухдольный граф (см. рис. 3).

Далее описываются все объекты движения и деформации. Необходимо подчеркнуть, что именно описание свойств объектов основано на принципе инкапсуляции.

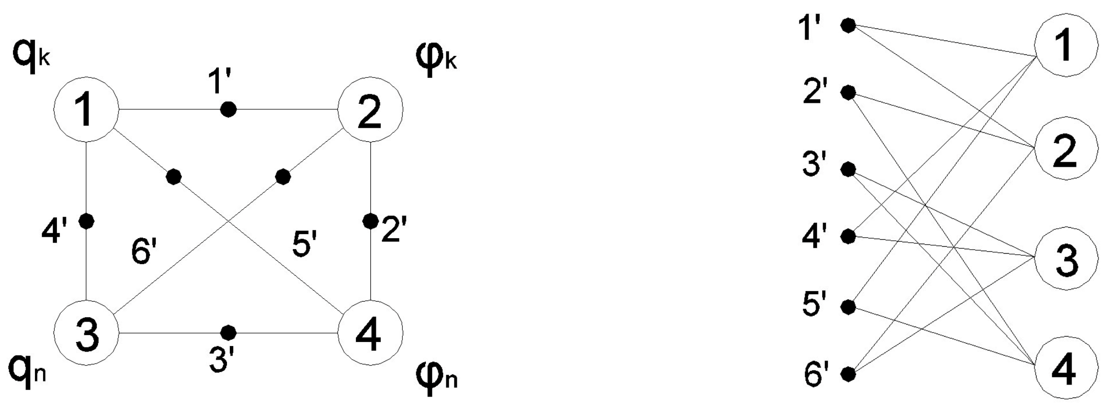


Рис. 3. Расщепление графа, переход к двухдольному графу

При учете внешних сил X_i влияющих на модель, граф после преобразований становится трехдольным (рис. 4). Процесс сканирования связей (ребер графа) занимает в программе всего несколько строк и не зависит от общего вида модели, а только от выбранного фрагмента схемы замещения. В этом фрагменте программы используется принцип полиморфизма.

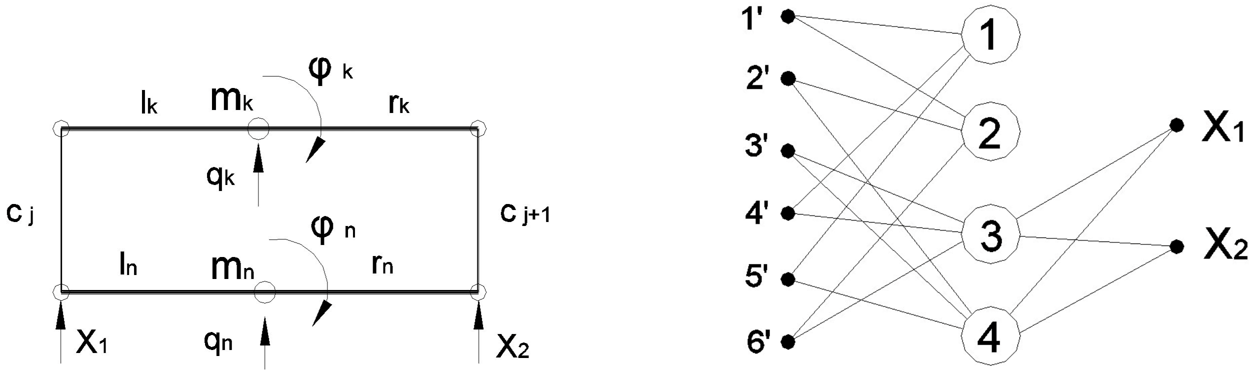


Рис. 4. Переход от фрагмента схемы замещения к трехдольному графу

При программировании был сформулирован способ текстового описания схемы замещения. Этот текстовый элемент называется кортеж (6) он описывает взаимодействие между всеми универсальными элементами в модели и определяет последовательность их расположения.

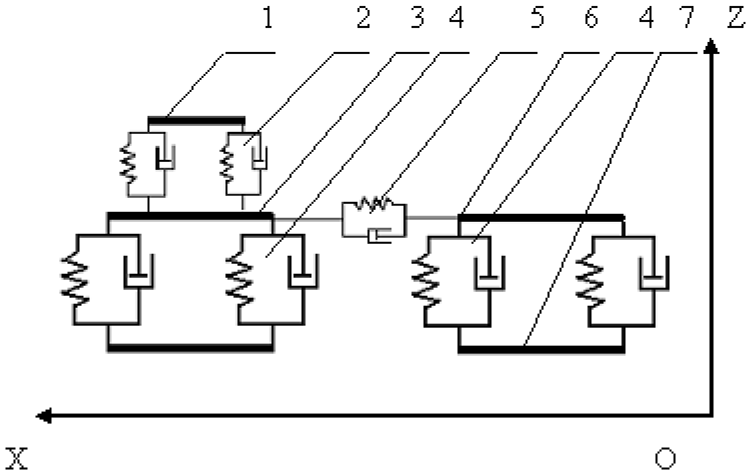
$$l=[c_j,\ c_{j+1},\ m_k,\ j_k,\ m_n,\ j_2,\ l_k,\ r_k,\ l_n,\ r_n]. \qquad (6)$$

Выражение (6) показывает, что упругие элементы с коэффициентом жесткости c_j и c_{j+1} объединяют объект k массой m_k с моментом инерции j_k и объект n массой m_n с моментом инерции j_2; расстояние от центра масс объекта k до оси упругого элемента c_j, равняется l_k, а до оси элемента c_{j+1} соответствует r_k; аналогичным образом l_n, и r_n .

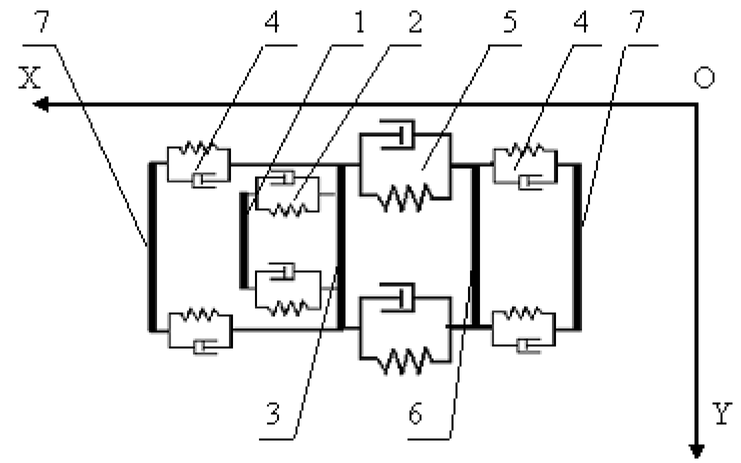
Дифференцирование переменных в программе ведется с помощью двушагового метода. Первый шаг использует метод Ньютона, а второй шаг метод трапеций. Такой подход основан на принципе предиктор-корректор и позволяет получать минимальную погрешность при дифференцировании колебательных сигналов.

И на основе алгоритма составления математической модели для универсального элемента, произведен переход от схемы замещения машины к матрице смежности и далее к эквивалентному ей графу. После проведения исследований различных типов взаимодействия и относительного расположения структурных элементов машины, были найдены зависимости, позволяющие производить переход от схемы замещения к графу, исключая нахождение матриц инциденции и смежности. Полученный граф используется для написания программы.

На рис. 5 представлена схема замещения для сочлененной военной гусеничной машины.



а



б

Рис. 5. Схема замещения СВГМ:

1 – масса башни; 2 – упруго-диссипативные элементы, характеризующие крепление башни к погону и привод поворота; 3 – масса корпуса машины; 4 – упруго-диссипативные элементы подвески первой и вто-

рой секций СБГМ; 5 – упруго-диссипативные элементы активного узла сочленения; 6 – масса корпуса второй секции; 7 – опора.

На основе математической модели был разработан алгоритм расчета показателей параметров движения корпусов СВГМ после выстрела.

1. Определение исходных данных для расчета.

   1.1 Определение схемы замещения СВГМ.

   1.2 Определение инерционных характеристик СВГМ.

   1.3 Определение упруго-демпфирующих характеристик эластичных элементов СВГМ.

   1.4 Определение геометрических характеристик схемы замещения.

   1.5 Определение характеристик возмущающих сил.

   1.6 Анализ исходных данных на предмет совместимости.

2. Определение данных для нахождения математической модели в матрично-дифференциальной форме.

   2.1. Определение матрицы инциденции.

   2.2. Определение матрицы смежности.

   2.3. Приведение возмущающих сил к обобщенным координатам.

   2.4. Составление математической модели.

   2.5. Определение диапазона и шага вычисления, по времени.

   2.6. Решение дифференциального уравнения.

На основании построенной модели были проведено численное решение системы уравнений, позволившее оценить отклик динамической системы на импульсное воздействие со стороны метательной установки. Расчеты проводились для одиночной ВГМ и СВГМ при различных курсовых углах башни и различных углах возвышения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов. –Мн.: ДизайнПРО, 2004. – 640с.: ил.
2. Вейц В.Л., Коловский М.З., Кочура А.Е Динамика управляемых машинных агрегатов, -М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 352с.