

УДК 004:519.8:621

И.А. Евсеенко

АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПЕРЕБОРА С ВОЗВРАТОМ

Предлагается алгоритм автоматизированного формирования структуры динамических моделей, представленных в виде плоских схем. Основу алгоритма составляет метод перебора с возвратом. Предложенный алгоритм автоматизации позволяет сформировать структуру динамической модели в матричном виде по ее графическому представлению. Матричное описание структуры моделируемых объектов реализовано применительно к структурно-матричному методу моделирования технических систем на макроуровне. Разработанный алгоритм применен в прикладном программном обеспечении SMM_Model.

Введение

Современные механизмы и машины представляют собой сложные механические системы (рис. 1) [1]. Рабочие операции, выполняемые сложными механическими системами, задаются управляющими сигналами, поступающими от человека или системы управления. Эти сигналы принимаются силовыми приводами, которые оказывают прямое воздействие на исполнительную часть. Исполнительная часть служит для выполнения основных задач сложной механической системы. Информация о перемещениях, углах поворота, скоростях, ускорениях и т. п. фиксируется с помощью измерительных устройств и поступает в управляющую систему, образуя обратную связь. Взаимодействие механической системы с внешней средой интерпретируется как возмущающее воздействие.

Характеристики функционирования сложной механической системы зависят от ее физических свойств и внешних воздействий окружающей среды. Физические свойства механической системы определяются ее структурой и параметрами элементов, из которых она состоит. Для механических систем наиболее характерно функционирование в условиях непрерывно изменяющихся внешних воздействий. Это состояние характеризуется изменением во времени фазовых координат системы (в качестве фазовых координат для механических систем могут выступать скорости, перемещения, ускорения инерционных элементов, усилия в упругих элементах и т. д.). Математическая модель механической системы, используемая для анализа таких состояний, представляет собой систему дифференциальных уравнений. Любое изменение внешних возмущающих или управляющих воздействий приводит к возникновению переходного процесса. Состояние системы при этом оказывается неустановившимся. В переходном процессе могут возникать большие амплитуды отклонений фазовых координат, сопровождающиеся значительным повышением деформаций и напряжений в конструктивных элементах механических систем. Отклонения фазовых координат могут оказать отрицательное влияние на динамическую нагруженность элементов трансмиссии, тепловую динамику фрикционных элементов управления и плавность движения автомобиля. Периодические внешние воздействия возбуждают вибрации, оказывают вредное воздействие на организм человека и сокращают срок службы механизмов системы. Поэтому функциональное проектирование сложных механических систем выполняют на основе математического моделирования переходных процессов.

Математическая модель сложной механической системы в общем случае имеет три формы представления: графическую, матричную и инвариантную.

Графическая модель представляется в виде графов, эквивалентных схем, динамических моделей, функциональных, кинематических и алгоритмических схем, диаграмм и т. п. [2, 3]. В механике для исследования динамики самое широкое распространение получили графические формы в виде динамических моделей. Это объясняется тем, что динамическая модель позволяет представить моделируемый технический объект в наиболее удобном виде для восприятия пользователя с возможностью отображения основных физических свойств и характеристик взаимодействия с внешней средой. Структура динамической модели представляется в виде

совокупности взаимодействующих дискретных элементов и связей между ними. Сложность модели зависит от степени абстрагирования при отображении физических свойств.

Математическая модель в матричной форме служит для представления в памяти ЭВМ графической формы модели и построения модели в инвариантной форме, т. е. матричная форма модели необходима для перехода от графического представления математической модели к инвариантной.

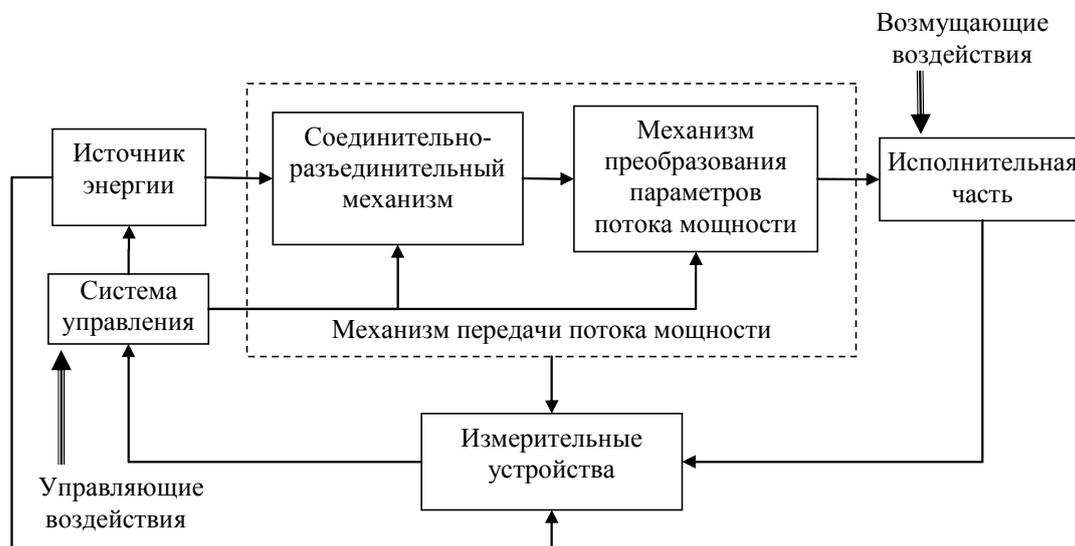


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема сложной механической системы

Инвариантная форма математической модели представляется в виде систем уравнений (дифференциальных, алгебраических) вне связи с методом решения этих уравнений и служит для организации вычислительного процесса.

Опыт решения практических задач моделирования механических систем показывает, что представление математических моделей на ЭВМ в виде систем алгебро-дифференциальных уравнений и поиск допущенных ошибок требуют высокого уровня специалистов-разработчиков, значительных затрат труда и машинного времени, зачастую превышающих затраты на сам процесс моделирования. Поэтому важную роль играет процесс автоматизированного формирования математических моделей. Именно разработка и применение алгоритмов автоматизированного формирования математических моделей позволяют ускорить и удешевить процесс проектирования, повысить качество и долговечность разрабатываемых механических систем, синтезировать системы управления и сократить число натурных экспериментов.

При автоматизации формирования динамических моделей возникает необходимость в матричном (табличном) описании структуры моделируемого объекта. Вид матриц и их размерность зависят от метода формирования математических моделей в инвариантной форме по описанию структуры моделируемого объекта (структурно-матричный метод [2], узловый метод [3], метод внутренних моментов [4] и т. д.). Процесс заполнения элементов матриц осуществляется в соответствии с принятыми правилами кодирования имеющихся в модели элементов и упорядочения их связей. Автоматизация процесса заполнения элементов матриц на основе графической формы представления моделей требует разработки алгоритма преобразования графической формы модели в матричную.

В данной работе предлагается алгоритм автоматизированного перехода от двумерного графического представления математической модели к матричному с использованием метода перебора с возвратом. Матричное представление моделей реализовано применительно к структурно-матричному методу моделирования технических систем на макроуровне [2]. Структурно-матричный метод позволяет осуществить переход от матричной формы модели к инвариантной.

1. Алгоритмы формирования динамических моделей

Различают два способа реализации алгоритма автоматизированного формирования динамических моделей [4, 5].

Первый способ разработан профессором В.Б. Альгиным и подробно изложен в работах [4, 6]. Отличительной чертой этого алгоритма является необходимость соблюдения порядка расстановки элементов динамической модели, т. е. пользователь вначале должен разместить инерционные элементы (опорные фрагменты), а лишь потом все остальные (фрагменты-соединители). Расстановка фрагментов-соединителей происходит следующим образом: пользователь выбирает тип фрагмента-соединителя из палитры элементов; указывает с помощью курсора мыши инерционные элементы, между которыми расположен фрагмент-соединитель; введенный фрагмент-соединитель отображается на экране монитора. Автоматизированное формирование матричной формы представления математической модели осуществляется в процессе расстановки фрагментов-соединителей. Для каждого типа фрагментов-соединителей предусмотрена своя матрица. Матрица соединителей представляет собой таблицу размерностью $a \times b$, где a – число строк, равное количеству фазовых переменных типа потока; b – число столбцов, равное количеству фрагментов-соединителей данного типа. Численными значениями, не равными нулю в матрицах соединителей, отмечается наличие соединений между опорными фрагментами и фрагментами-соединителями, а нулями – отсутствие связей. При выборе пользователем определенного типа фрагмента-соединителя осуществляется обращение к соответствующей матрице соединителей. Номер столбца матрицы соединителей (к которому происходит обращение при расстановке фрагментов-соединителей) соответствует номеру размещаемого фрагмента-соединителя (нумерация происходит в пределах от единицы до количества фрагментов-соединителей данного типа). Номера строк заполняемых матриц соответствуют номерам инерционных элементов, между которыми расположен фрагмент-соединитель. Элементы матрицы соединителей, расположенные на пересечении заполняемого столбца и указанных строк, отмечаются численными значениями, отличными от нуля.

Второй способ формирования динамических моделей основан на использовании методов поиска. Общая схема такого алгоритма формирования динамических моделей была предложена ранее в работе [5]. Ключевым моментом в этой схеме является формирование математической модели в матричной форме на базе двумерного графического представления динамической модели с использованием метода перебора с возвратом.

2. Алгоритм автоматизированного формирования структуры динамических моделей на основе метода перебора с возвратом

Формирование динамической модели на экране осуществляется путем перемещения выбранного типового графического элемента из палитры элементов на рабочую область формы (поле). Поле разбито на элементы в виде квадратов. Положение элемента поля определяется двумя координатами. Образ элемента динамической модели (ЭДМ) вставляется в одно или несколько элементов поля. Каждый ЭДМ имеет полюсы. ЭДМ соединяются между собой полюсами. Ориентация полюса определяется координатами его начальной точки. Начальная точка полюса представляет собой элемент поля, примыкаемый к полюсу ЭДМ. Координаты начальных точек полюсов определяются автоматически после размещения ЭДМ на поле. При размещении ЭДМ в элементах поля необходимо отметить одну важную особенность, заключающуюся в том, что элементу поля присваиваются тип, номер и ориентация полюсов вводимого ЭДМ вместо начальных значений, равных нулю, т. е. если в элементах поля не расположены ЭДМ, то элемент поля имеет значения типа и номера, равные нулю. При удалении ЭДМ в элементах поля будет происходить обнуление их типов и номеров.

Формирование структуры математической модели в матричной форме заключается в представлении совокупности элементов динамической модели и связей между ними в виде матриц, причем для каждого вида ЭДМ предусмотрена своя матрица.

Матрица инерционных элементов принимается в качестве базисной. Она представляет собой единичную диагональную матрицу. Ее размерность равна количеству фазовых координат типа потока.

Матрица внешних воздействий – таблица, количество строк которой равно количеству инерционных элементов, а количество столбцов – количеству внешних воздействий. Заполнение каждого элемента матрицы, находящегося на пересечении j -го столбца и i -й строки, происходит по следующему принципу: если j -е воздействие подводится к i -му инерционному элементу, то элемент

матрицы принимает значение единицы; если направление j -го воздействия не совпадает с направлением фазовой координаты типа потока i -го инерционного элемента, то элемент матрицы принимает значение минус единицы; если j -е воздействие не приложено к i -му инерционному элементу, то элемент матрицы принимает нулевое значение. Приложение воздействий осуществляется следующим образом: пользователь выбирает тип воздействия, его характеристику и вводит численные значения параметров; задает знак воздействия; указывает инерционный элемент на поле, к которому приложено воздействие. В результате будет сформирован двумерный массив входных данных. Каждая строка этого массива будет содержать два элемента: первый элемент – номер воздействия; второй элемент – номер инерционного элемента, к которому приложено воздействие.

Матрица упругих ЭДМ представляет собой матрицу размерностью $n \times m$, где n – число строк, равное количеству инерционных элементов; m – число столбцов, равное количеству упругих ЭДМ. Единицами в матрице отмечается наличие соединений между инерционными и упругими ЭДМ, а нулями – их отсутствие. При этом направление потока мощности по отношению к упругому ЭДМ учитывается с помощью знака: «-1» – мощность отводится; «1» – мощность подводится. Направление потока мощности определяется в зависимости от направления и величины источников внешних воздействий.

Матрица диссипативных ЭДМ формируется аналогично матрице упругих ЭДМ.

Для фрикционных ЭДМ предусмотрены два типа матриц: матрицы фрикционов переключения и матрицы фрикционов ограничения. Фрикционы переключения представляют собой фрикционные элементы, расположенные между инерционными элементами (моделирование фрикционных муфт и тормозов в автомобильных трансмиссиях). Фрикцион ограничения располагается всегда между инерционным и упругим элементами динамической модели (моделирование сцепления колеса с дорогой). Матрица фрикционов переключения формируется аналогично матрице упругих ЭДМ с той лишь разницей, что количество столбцов соответствует количеству фрикционов переключения. Матрица фрикционов ограничения представляет собой таблицу размерностью $a \times b$, где a – число строк, равное количеству инерционных элементов; b – число столбцов, равное количеству упругих и диссипативных ЭДМ. При наличии фрикциона ограничения между i -м инерционным элементом и j -м упругим и (или) диссипативным ЭДМ элемент матрицы фрикционов ограничения принимается равным единице. Все остальные ее элементы будут иметь нулевые значения.

Для трансформаторных ЭДМ, как и для фрикционных, предусмотрены два вида матриц: матрицы трансформаторных ЭДМ, расположенных между инерционными элементами, и матрицы трансформаторных ЭДМ, расположенных между упругими и инерционными ЭДМ. Формирование матриц трансформаторных ЭДМ осуществляется по аналогии с матрицами фрикционных ЭДМ.

Заполнение матриц осуществляется в следующем порядке: инерционные элементы; внешние воздействия; упругие, диссипативные, фрикционные и трансформаторные элементы. Заполнение матриц для фрикционных и трансформаторных ЭДМ происходит в последнюю очередь в связи с возможным взаимодействием их с упругими и диссипативными ЭДМ и сложной конфигурацией трансформаторных ЭДМ (систем с пространственным движением твердых тел, планетарных коробок передач и т. д.).

Матрицы ЭДМ, кроме матриц инерционных элементов и внешних воздействий, заполняются с использованием метода перебора с возвратом.

Основной принцип работы алгоритма автоматизированного формирования матрицы инцидентий упругих ЭДМ методом перебора с возвратом (рис. 2) заключается в поиске на поле вдоль полюсов упругого ЭДМ инерционных элементов, а также разветвителей и ЭДМ, которые имеют более двух полюсов, расположенных на маршруте поиска. Упругие ЭДМ перебираются поочередно по номерам. Номер упругого ЭДМ соответствует номеру заполняемого столбца матрицы инцидентий. Для каждого упругого ЭДМ составляется список его полюсов. Для каждого полюса определяется начальная точка и направление, необходимые для поиска. При наличии в схемной модели разветвителей и ЭДМ, имеющих более двух полюсов, происходит добавление полюсов этих ЭДМ к списку полюсов упругого ЭДМ и удаление полюса, на маршруте которого был найден разветвляющий ЭДМ. Если с полюсом упругого ЭДМ не взаимодействует ни один из элементов динамической модели, т. е. начальная точка поиска вдоль рассматриваемого полюса на-

ходится в элементе поля с типом ноль, то происходит удаление этого полюса из списка и осуществляется переход к следующему полюсу для организации поиска.

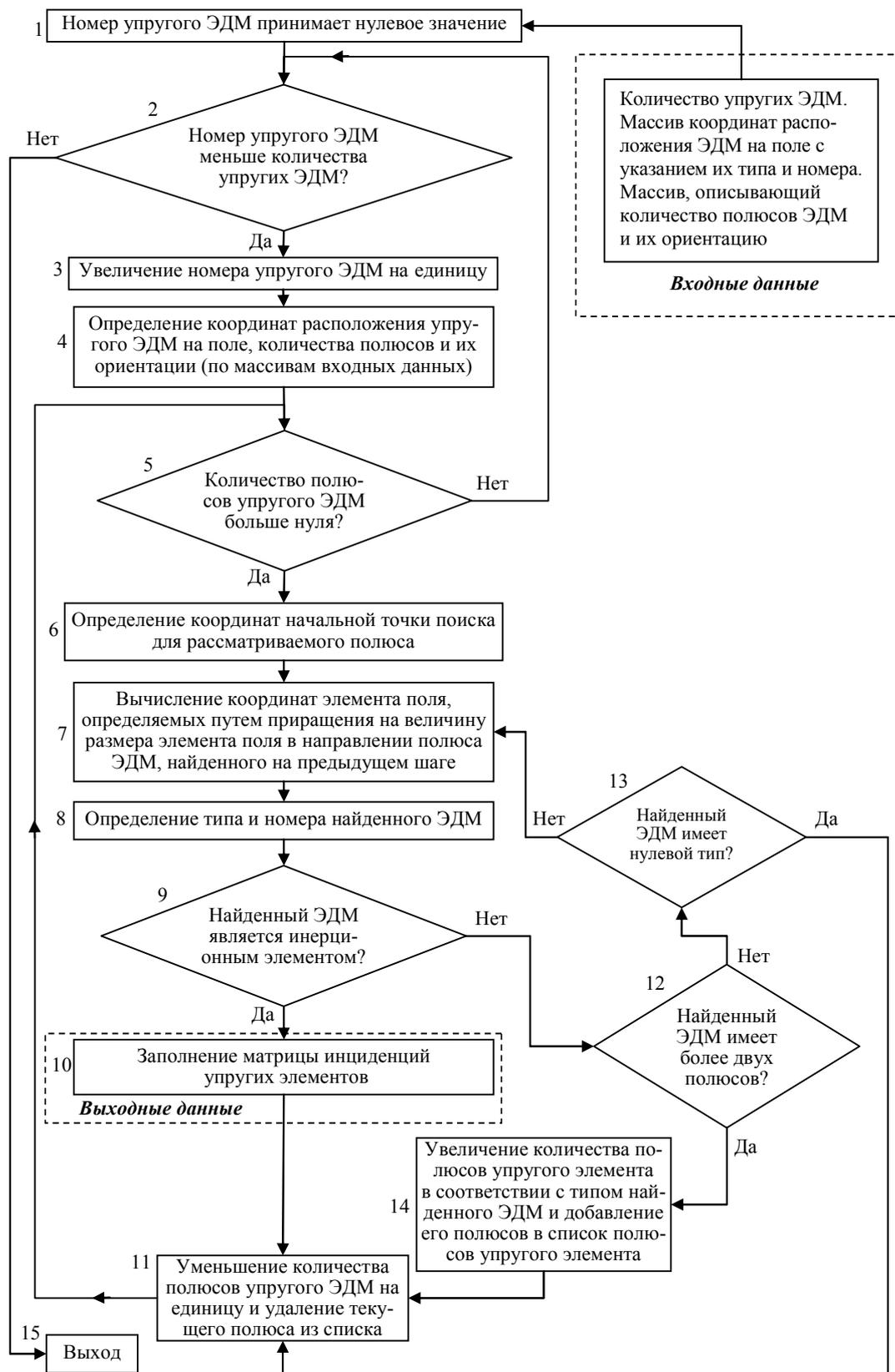


Рис. 2. Алгоритм автоматизированного заполнения матрицы инцидентий упругих ЭДМ

При нахождении инерционного ЭДМ выполняются следующие операции: заполнение матрицы упругих ЭДМ; удаление полюса (вдоль которого производился поиск) из списка полюсов упругого ЭДМ; переход к организации поиска вдоль следующего полюса упругого ЭДМ (выбранного из списка). Номер заполняемой строки матрицы инцидентий определяется номером найденного инерционного элемента. Заполнение столбца матрицы инцидентий будет продолжаться до тех пор, пока вдоль всех полюсов упругого ЭДМ не будет организован поиск инерционных элементов, т. е. пока все полюса упругого ЭДМ не будут удалены из списка.

После заполнения матрицы упругих ЭДМ начнет работу алгоритм заполнения матрицы диссипативных ЭДМ и т. д. Алгоритмы заполнения матриц для остальных ЭДМ работают аналогично.

Рассмотрим алгоритм метода перебора с возвратом на примере динамической модели ведущего моста автомобиля с симметричным дифференциалом и бортовыми редукторами (рис. 3). На рис. 3 использованы следующие обозначения: J_1 – момент инерции ведущего вала главной передачи с учетом приведенного момента инерции корпуса дифференциала; J_2, J_3 – моменты инерции левого и правого колес автомобиля с учетом приведенных моментов инерции зубчатых колес бортовых редукторов и полуосей; c_1 – упругий элемент, характеризующий упругие свойства дифференциала и полуосей; μ_1 – коэффициент демпфирования, характеризующий демпфирующие свойства дифференциала, полуосей и бортовых редукторов; u_1, η_1 – передаточное число и КПД главной передачи; u_2, u_3, η_2, η_3 – передаточные числа и КПД бортовых редукторов правого и левого колес ведущего моста автомобиля; M_1 – момент двигателя, приведенный к входному валу главной передачи; M_2, M_3 – моменты сопротивления движению правого и левого колес ведущего моста автомобиля.

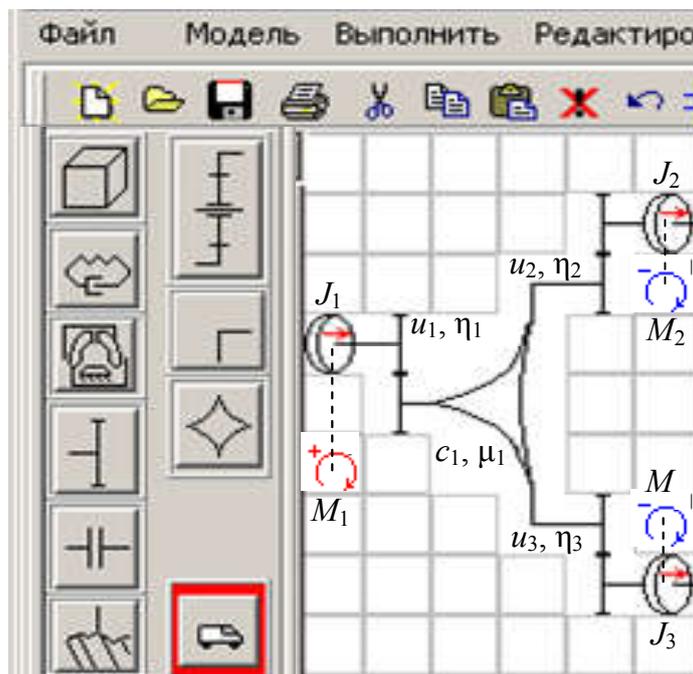


Рис. 3. Динамическая модель механической вращательной системы

Рассмотренная динамическая модель и параметры трансформаторных элементов получены на основании кинематической схемы трансмиссии карьерного самосвала грузоподъемностью 135 т с гидромеханической трансмиссией БелАЗ-7516. Параметры инерционных и упругих элементов определены по чертежам конструкторской документации, предоставленной заводом-изготовителем. Параметры диссипативных элементов определялись согласно рекомендациям [4]. Исходные данные для динамической модели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры элементов динамической модели

Тип ЭДМ	Параметр, характеризующий физическое свойство ЭДМ	Номер ЭДМ	Координаты расположения ЭДМ на поле		Количество полюсов	Координаты начальной точки поиска вдоль полюса		
			x	y		Номер полюса	X	Y
Инерционный	$J_1=8,108 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	1	1	4	2	1	-	-
						2	2	4
Инерционный	$J_2=6795,525 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	2	6	2	2	1	5	2
						2	7	2
Инерционный	$J_3=6795,525 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	3	6	8	2	1	5	8
						2	7	8
Трансформаторный	$u_1=2,05;$ $\eta_1=0,97$	1	2	4	3	1	1	4
						2	2	3
						3	2	5
			2	5	3	4	2	4
						5	2	6
6	3	5						
Трансформаторный	$u_2=9,4;$ $\eta_2=0,97$	2	5	2	3	1	5	1
						2	5	3
						3	6	2
			5	3	3	4	5	2
						5	5	4
6	6	2						
Трансформаторный	$u_3=9,4;$ $\eta_3=0,97$	3	5	7	3	1	5	6
						2	5	8
						3	4	7
			5	8	3	4	5	7
						5	5	9
6	6	8						
Упругий и диссипативный	$c_1=335358$ Н·м/рад $\mu_1=91,7585$ Н·м·с/рад	1	3	4	3	1	2	5
			3	5				
			3	6				
			4	4				
			4	5				
4	6							
Удлинитель	-	1	4	3	2	1	5	3
						2	4	4
Удлинитель	-	2	4	7	2	1	4	6
						2	5	7
Внешнее воздействие	$M_1=f(\omega_{\text{двиг.}}, \gamma)$	1	1	6	-	-	-	
Внешнее воздействие	$M_2=21923 \text{ Н}$	2	6	3	-	-	-	
Внешнее воздействие	$M_3=21923 \text{ Н}$	3	6	7	-	-	-	

Примечание: $\omega_{\text{двиг.}}$ – угловая скорость коленчатого вала двигателя;
 γ – положение педали акселератора.

Знак «+» на графическом образе ЭДМ внешних воздействий говорит о том, что воздействие подводится к инерционному элементу, иначе к графическому образу добавляется знак «-». Для указания связи инерционного элемента и внешнего воздействия используется штриховая линия (см. рис. 3).

ЭДМ «Дифференциальное соединение» с тремя полюсами представляет собой упругий c_1 и диссипативный μ_1 ЭДМ, расположенные параллельно друг другу. Для большинства механических систем характерно параллельное расположение упругого и диссипативного элементов. Графические изображения диссипативных элементов на динамических моделях могут значительно усложнить схему, но если диссипативные элементы расположены параллельно упругим, тогда их графические изображения можно исключить, а вместо них наличие диссипативных элементов отметить записью параметров μ рядом с параметрами упругих элементов c (при этом обозначения c_j и μ_j должны разделяться между собой запятой) [2], т. е. вводится дополнительный тип ЭДМ «упругий и диссипативный элемент». Трансформаторный элемент типа «зубчатая передача» состоит из двух трехполюсных ЭДМ.

Маршруты поиска инерционных ЭДМ вдоль полюсов упругого элемента, представленные в виде ориентированных графов, показаны на рис. 4. Вершинами орграфов являются элементы поля, а ребрами – направления движения поиска. Черными кружочками отмечены элементы поля, соответствующие начальным точкам поиска вдоль полюсов упругого ЭДМ, белыми кружочками – элементы поля, в которых расположены ЭДМ, а двойными кружочками отмечены поля, в которых отсутствуют ЭДМ. Прерывистыми изогнутыми линиями на орграфе отмечены переходы в начальные точки полюсов, образованных зубчатыми зацеплениями. Арабскими цифрами обозначены номера выполняемых шагов поиска, а римскими – номера полюсов упругого ЭДМ.

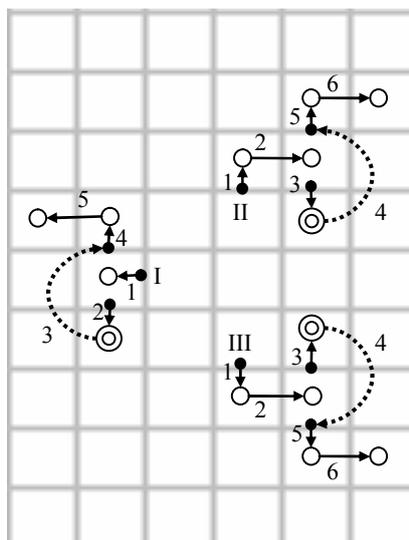


Рис. 4. Маршруты поиска инерционных элементов вдоль полюсов упругого элемента

Направленность поиска осуществляется только вдоль полюсов ЭДМ (как жидкость течет по трубопроводу). Если движение по маршруту вдоль полюса становится невозможным, т. е. попадаем в элемент поля с типом ноль (ЭДМ не расположен в элементе поля), необходимо прекратить поиск вдоль текущего полюса и перейти к поиску вдоль следующего полюса. Невозможность продолжения поиска вдоль полюса ЭДМ отображена двойным кружком.

Рассмотрим поиск вдоль полюса III. На первом шаге поиска из начальной точки полюса попадаем в элемент поля, в котором расположен удлинитель, на втором шаге перемещаемся вдоль полюса удлинителя в элемент поля, в котором расположен трансформаторный ЭДМ «зубчатая передача». На трансформаторных элементах типа «зубчатая передача» происходит разветвление на два полюса, так как зубчатое колесо, расположенное на выходе трансформаторного элемента, можно разместить в одном из двух элементов поля (выше либо ниже зубчатого колеса на входе). Поэтому из списка полюсов упругого ЭДМ удаляется полюс, вдоль которого был организован поиск, и добавляются два полюса, образованных трансформаторным элементом типа «зубчатая передача». После этого осуществляется поиск вдоль полюсов, образованных трансформаторным элементом типа «зубчатая передача». На третьем шаге происхо-

дит перемещение в элемент поля с типом ноль и дальнейшее движение становится невозможным, поэтому происходит удаление текущего полюса и переход ко второму полюсу, образованному трансформаторным элементом «зубчатая передача» (четвертый шаг). На пятом шаге поиска перемещаемся в элемент поля, где расположено зубчатое колесо на выходе трансформаторного элемента. Выполняя на шестом шаге перемещение вдоль полюса зубчатого колеса, расположенного на выходе «зубчатой передачи», находим инерционный элемент. Определяем его номер и в соответствии с номером упругого ЭДМ заполняем матрицу инцидентий.

Поиск инерционных ЭДМ организуется поочередно вдоль всех полюсов упругого ЭДМ. Полученные матрицы (для динамической модели, показанной на рис. 3) представлены в табл. 2–6.

Таблица 2

Матрица инерционных элементов

Инерционные элементы	J_1	J_2	J_3
J_1	-1	0	0
J_2	0	-1	0
J_3	0	0	-1

Таблица 3

Матрица внешних воздействий

Инерционные элементы	Воздействия		
	M_1	M_2	M_3
J_1	1	0	0
J_2	0	-1	0
J_3	0	0	-1

Таблица 4

Матрица упругих элементов

Инерционные элементы	Упругие элементы
	c_1
J_1	-1
J_2	1
J_3	1

Таблица 5

Матрица диссипативных элементов

Инерционные элементы	Диссипативные элементы
	μ_1
J_1	-1
J_2	1
J_3	1

Таблица 6

Матрица трансформаторных элементов

Инерционные элементы	Упругие и диссипативные элементы	
	c_1	μ_1
J_1	1	1
J_2	1	1
J_3	1	1

Математическая модель в инвариантной форме, полученная на основе структурно-матричного метода моделирования [2], будет иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{M_1 - (M_{y1} + M_{\partial 1}) / (u_1 \cdot \eta_1)}{J_1}; \\ \frac{d\omega_2}{dt} &= \frac{(M_{y1} + M_{\partial 1}) \cdot u_2 \cdot \eta_2 - M_2}{J_2}; \\ \frac{d\omega_3}{dt} &= \frac{(M_{y1} + M_{\partial 1}) \cdot u_3 \cdot \eta_3 - M_3}{J_3}; \\ \frac{dM_{y1}}{dt} &= c_1 \cdot (2 \cdot \omega_1 / u_1 - \omega_2 \cdot u_2 - \omega_3 \cdot u_3); \\ M_{\partial 1} &= \mu_1 \cdot (2 \cdot \omega_1 / u_1 - \omega_2 \cdot u_2 - \omega_3 \cdot u_3), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$(2)$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – угловые скорости инерционных элементов;
 M_{y1} – момент в упругом элементе;
 M_{o1} – момент в диссипативном элементе.

В качестве граничных условий для системы дифференциальных уравнений (1) выступают: минимальная $\omega_{xx \min}$ и максимальная $\omega_{xx \max}$ угловые скорости холостого хода двигателя (угловая скорость холостого хода двигателя зависит от положения педали акселератора γ и может принимать значение из интервала $\omega_{xx \min} \leq \omega_{xx} \leq \omega_{xx \max}$); момент двигателя, описываемый функцией $M = f(\omega_{\text{двиг.}}, \gamma)$; момент сцепления ведущих колес с дорогой, представленный в виде функции $M_\phi = f(\phi)$, где ϕ – коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой.

3. Преимущества предлагаемого алгоритма формирования структуры динамических моделей

При использовании методов поиска для автоматизированного формирования структуры плоских динамических схем от пользователя не требуется соблюдение правил очередности размещения ЭДМ, т. е. размещение ЭДМ на поле может происходить в любом порядке (кроме источников внешних воздействий типа потенциала, приложение которых осуществляется после размещения на поле инерционных элементов). Кроме того, пользователю не надо указывать инерционные элементы, между которыми будет расположен ЭДМ, соединяющий их, т. е. снижается количество вводимых пользователем исходных данных.

Эффективность предлагаемого алгоритма заключается в его универсальности. Часть информации входных данных определяется автоматически в соответствии с принятыми допущениями и предположениями. Это позволяет реализовывать графические образы сложной конфигурации (кинематические схемы планетарных коробок передач, гидрообъемных трансформаторов, систем с пространственным движением твердых тел и т. д.).

Заключение

Разработан алгоритм автоматизированного перехода от двумерного графического представления структуры динамических моделей к матричной форме с использованием метода перебора с возвратом. Использование методов поиска позволяет избежать соблюдения правил очередности размещения ЭДМ на поле и снизить количество вводимых пользователем исходных данных.

Предложенный алгоритм формирования матричного представления динамических моделей реализован в прикладном программном обеспечении SMM_Model [5]. Он может быть применен не только для динамических моделей, но также и для автоматизации формирования структуры математических моделей в матричном виде для любого схемного представления технического объекта.

Список литературы

1. Ксенович, И.П. Теория и проектирование автоматических систем: учебник для студентов высш. учеб. заведений / И.П. Ксенович, В.П. Тарасик. – М.: Машиностроение, 1996. – 480 с.
2. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – Минск: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.
3. Трудоношин, В.А. Математические модели технических объектов: учеб. пособие для втузов. В 9 кн. Кн. 4 / В.А. Трудоношин, Н.В. Пивоварова. – Минск: Выш. шк., 1988. – 159 с.
4. Альгин, В.Б. Динамика, надежность и ресурсное проектирование трансмиссий мобильных машин / В.Б. Альгин. – Минск: Наука и техника, 1995. – 256 с.
5. Тарасик, В.П. Разработка прикладного программного обеспечения для математического моделирования сложных динамических систем / В.П. Тарасик, И.А. Евсеенко // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления: сб. науч. тр. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. – С. 99–104.

6. Высоцкий, М.С. Пакеты программ для схемных представлений и расчетов машин / М.С. Высоцкий, В.Б. Альгин, С.В. Харитончик // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 9. – С. 35–38.

Поступила 05.12.06

*Белорусско-Российский университет,
Могилев, пр. Мира, 43
e-mail: 327igor@rambler.ru*

I.A. Yeuseyenka

**AUTOMATION OF STRUCTURE FORMING
OF DYNAMIC MODELS ON THE BASIS
OF BACKTRACKING METHOD**

An algorithm of automated structure forming of dynamic models represented as schemes is proposed. The algorithm allows to generate the structure of dynamic models in a matrix form. The description of structure of objects under modelling is realized on the basis of a structural-matrix method of technical systems simulation on macro level.