

ши для деформаций, законом Гука для среды и уравнением поступательного движения ударника. Начальные условия полагаются однородными. На свободной поверхности полагается отсутствие напряжений. В области контакта полагаются следующие граничные условия:

$$u_3|_{z=0} = u_{3b}(x, \tau), \quad \sigma_{13}|_{z=0} = -\kappa \sigma_{33}|_{z=0}, \quad |x| \leq b(\tau),$$

где u_{3b} – перемещение границы ударника вдоль оси Oz , κ – коэффициент трения; b – ширина области контакта. В качестве первого приближения полагается постоянное направление касательных напряжений. В общем случае направление касательных напряжений зависит от направления относительной скорости контактирующих поверхностей.

Разрешающие функциональные уравнения представлены в виде сверток с функцией влияния, которая является решением исходной задачи для полупространства со специальным граничным условием

$$\sigma_{33}|_{z=0} = \delta(x, \tau), \quad \sigma_{13}|_{z=0} = \kappa \sigma_{33}|_{z=0} \quad (x \in \mathbb{R}),$$

где δ – дельта-функция Дирака [2]. Ее решение находится в пространстве преобразований Лапласа по времени и Фурье по пространственной координате. В силу однородности степени (-1) полученной функции, для построения оригинала применяется метод совместного обращения преобразований Фурье – Лапласа [2]. Показано, что при $\kappa = 0$ функция влияния совпадает с полученным в [1] результатом, а полученную функцию можно представить в виде

$$G_0 = G_{330} - \kappa G_{310},$$

где G_{330} – оригинал решения начально-краевой задачи с граничными условиями

$$\sigma_{33}|_{z=0} = \delta(x)\delta(\tau), \quad \sigma_{13}|_{z=0} = 0;$$

G_{310} – оригинал решения начально-краевой задачи с граничными условиями

$$\sigma_{33}|_{z=0} = 0, \quad \sigma_{13}|_{z=0} = \delta(x)\delta(\tau).$$

Для определения напряжений используется представленный в [1] численный алгоритм. Учитывая вид функции G_{310} , показано, что данный алгоритм для задачи с учетом трения в первом приближении соответствует задаче без учета трения с точностью до величины коэффициентов квадратных формул $a_{nm}^{(r)}$, соответствующих регулярному слагаемому

$$G_r(x, \tau) = G_{330r}(x, \tau) + \kappa G_{310}(x, \tau).$$

Приведен пример численного расчета.

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Динамические контактные задачи с подвижными границами / А. Г. Горшков, Д. В. Тарлаковский. – М. : Наука. Физматлит, 1995. – 352 с.
- 2 Волны в сплошных средах : учеб. пособие для вузов / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : Физматлит, 2004. – 472 с.

УДК 681.5.017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ ПРОГРАММЫ МАТЛАВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

А. Г. КАПУСТИН, А. В. МАХОВ

Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

Обеспечение безопасности движения на разных видах транспорта в настоящее время является одним из приоритетных требований, которое предъявляется к техническим транспортным системам. В совокупности комплекса мероприятий по обеспечению безопасности транспортных систем отдельное внимание отводится технической надежности систем с целью предотвращения катастрофических последствий. Одним из направлений обеспечения технической надежности считается техническая диагностика.

В большинстве случаев техническая диагностика объекта сводится к оценке его исправности либо работоспособности с целью поддержания надежности. Главной задачей диагностики считается определение состояния объекта. Чаще всего результатом проведения диагностики является отнесение объекта к одному из классов: исправное или неисправное, работоспособное или неработоспособное, предельное [1, 2].

Проведение диагностики является одной из наиболее приоритетных, важных и трудоемких задач при эксплуатации транспортных систем. В связи с этим актуальным является вопрос разработки простых инженерных методов, алгоритмов, а также программ для персонального компьютера, которые позволяют с наименьшими затратами провести исследования и диагностику систем. На сегодняшний день компьютерная математика представляет целые наборы интегрированных программных ИТ-систем и пакеты программ для автоматизации математических расчетов: Eureka, Gauss, TK Solver, Derive, Mathcad, Mathematica, Maple V и др. Стоит отметить, что одним из наиболее простых и не столь трудоемких методов является метод структурного моделирования в пакете Simulink & MatLab [3].

MatLab является одной из первых систем автоматизации математических расчетов, которая построена на расширенном представлении и применении матричных операций. Синтаксис языка программирования системы продуман до такой степени, что эта ориентация почти не ощущается пользователями, которые не интересуются непосредственно матричными вычислениями. Матрицы широко применяются в сложных математических расчетах, например, для решения задач линейной алгебры и математического моделирования статических и динамических объектов и систем. Они представляют основу автоматического составления и решения уравнений состояния динамических систем и объектов. В качестве примера можно привести расширение в MatLab – пакет Simulink, что значительно повышает интерес к системе MatLab имеющей лучшие достижения в области быстрого решения матричных задач.

Система MatLab интегрируется с такими популярными математическими системами, как Mathematica, Maple V и Mathcad. Последнее средство новых версий MatLab – Notebook – позволяет готовить документы в текстовом процессоре Word 95/97/2000 со вставками в виде документов MatLab и результатов вычислений, которые представлены в численном, табличном либо графическом виде. В связи с этим становится возможной подготовка «живых» электронных книг, в которых демонстрируемые примеры можно оперативно изменить. В MatLab задачи расширения системы решаются с помощью специализированных пакетов расширения – наборов инструментов (Toolbox). Большинство из них включает специальные средства для интеграции с другими программами поддержки визуального и объектно-ориентированного программирования, с целью генерации различных приложений.

Использование пакета Simulink программы MatLab в данной работе представлено на примере автономной системы генерирования электроэнергии, состоящей из бесконтактного генератора переменного тока типа ГТ с регулятором напряжения [4]. В пакете Simulink программы MatLab они задаются в виде блоков типа Transfer Fcn. С помощью блоков типа Gain задаются звенья, характеризующие действия внешних возмущений: частоты вращения вала авиадвигателя γ , нагрузки ρ , χ – активной и индуктивной соответственно.

С целью исследования на персональном компьютере установившихся и переходных процессов по напряжению, предельных возможностей системы регулирования исходная структурная схема преобразована к виду, на котором выход каждого блока системы генерирования электроэнергии обозначен цифрой, являющейся также и номером блока в схеме. Звенья описываются стандартными подпрограммами из библиотеки Simulink Library программы MatLab. Помимо этого, при разработке математической модели системы генерирования были приняты допущения, обычные в такого рода исследованиях, которые не будут давать существенных расхождений получаемых результатов с опытом [1, 3]. Такой вид поход позволяет минимизировать затраты и трудоемкость при проведении диагностики динамических и статических характеристик автономной системы генерирования при изменении сигналов по цепям нагрузки и возбуждения [4, 5].

Моделирование установившихся и переходных процессов по напряжению в системе генерирования выполнялось при коммутациях нагрузки от 0 до 160 % при различных параметрах элементов системы генерирования, в частности, при различных регуляторах напряжения (П, ПИ и ПИД-регуляторы). По исследованиям переходных процессов в системе генерирования переменного тока было выявлено, что наиболее эффективный представляет ПИД-регулятор. Также исследования позволили определить пределы допустимых значений ступенчатых характеристик переходного напря-

жения. Таким образом, длительность переходных процессов (время регулирования) при реализации закона ПИД-регулятора сокращается до 0,02–0,05 с при одновременном уменьшении диапазона изменения напряжения с 58–160 В до 100–150 В. Такие показатели качества электроэнергии удовлетворяют современные требования, предъявляемые к системам электроснабжения, то есть это означает, что система исправна.

К тому же составлена программа, которая позволяет диагностировать подшипники качения электрических машин. В разработке программы учитывался механизм возникновения сил при отказах подшипниковых опор генераторов – осевом заклинивании и перекосе внешнего кольца «плавающего» подшипника в посадочной втулке [6, 7]. По итогам моделирования была определена зависимость преобразования колебательного движения ротора в электрический сигнал. По величине этого сигнала оценивается состояние электрической машины (исправность подшипниковых опор), прогнозируется состояние оцениваемого узла машины.

Сигнал формируется с помощью сигнальной обмотки (обмотка индуктора генератора) по величине воздушного зазора между статором и ротором электрической машины. Предложена модель источника сигнала, которая позволяет определить допустимые его значения, соответствующие нормальному режиму работы подшипниковых опор. Определены значения сигнала при допустимых значениях радиального зазора в исправных подшипниках.

Таким образом, использование пакета Simulink программы MatLab позволяет проводить диагностику и исследования элементов транспортных систем, формализовав и минимизировав при этом затраты на выполнение данных операций.

Список литературы

- 1 Схиртладзе, А. Г. Надежность и диагностика технологических систем / А. Г. Схиртладзе. – М. : Новое знание, 2008. – 518 с.
- 2 Воробьев, В. Г. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования : учеб. / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. – М. : МГТУ ГА, 2010. – 448 с.
- 3 Маслолюбов, Ю. П. Введение в Neural Network Toolbox [Электронный ресурс] / Ю. П. Маслолюбов. – Режим доступа : <http://matlab.exponenta.ru/neuralnetwork/book1/index.php>. – Дата доступа : 05.11.2019.
- 4 Алексеев, А. Е. Конструкция электрических машин / А. Е. Алексеев. – М. : Государственное энергетическое издательство, 2010. – 448 с.
- 5 Гамм, А. З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем / А. З. Гамм. – М. : Наука, 1976. – 220 с.
- 6 Ленин, В. Е. Вибродиагностика машин и механизмов / В. Е. Ленин, Л. Н. Патрикеев. – М. : НГТУ, 2010. – 106 с.
- 7 Черменский, О. Н. Подшипники качения : справочник-каталог / О. Н. Черменский. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 577 с.

УДК 539.3

НЕКОТОРЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ УПРУГИХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

А. М. КАРИМОВ

Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан

В настоящей работе дается постановка первой начально-краевой задачи для упругих волокнистых композитов периодической структуры. Поставленная задача решается методом осреднения [1], основанным на асимптотическом разложении по малому параметру α , который равен отношению характерного размера ячейки периодичности к характерному размеру рассматриваемой среды.

Анализируется случай, когда на границе композиционного тела, армированного волокнами, действует вектор усилий \vec{S}^0 , который является однородной функцией времени степени n . Тогда имеем граничные условия в виде

$$C_{ijk}u_{k,j}n_j|_{\Gamma} = S_i^0(x_{\beta}t),$$

где \vec{u} – вектор перемещений, \vec{n} – единичный вектор нормали к поверхности рассматриваемого тела.