

Конструирование лесных машин на ЭВМ

В. Н. Коршун,¹

Д. Г. Кокотов

Сибирский государственный технологический университет

АННОТАЦИЯ

Предложена общая методика конструирования лесных машин на ЭВМ на основе объемных моделей, метода конечных элементов, численных способов решений уравнений, получения конструкторской документации.

Ключевые слова: конструирование, объемная модель, метод конечных элементов, динамика машин.

SUMMARY

The conception method of the computer design of forest machines is presented on the basis of the Solid-simulation. The Finite-element Method and Numerical analysis are discussed as computer designing documentation.

Keywords: computer design, Solid-simulation, Finite-element Method, machine dynamics, designing documentation

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью конструирования лесных машин (ЛМ) является анализ и синтез конструктивных параметров, которые минимизируют или ограничивают последствия динамических воздействий. Конструирование при статических нагрузках позволяет создавать равнопрочные конструкции. Исследование конструкции ЛМ при динамических воздействиях позволяет решать ряд проблем: устранение пиковых напряжений от нестационарных или импульсных воздействий от взаимодействия рабочих органов с предметом труда или опорных элементов со средой движения; снижение амплитуд нагружения конструкции за счет оптимизации формы деталей; ограничение амплитуд колебаний и ускорений в заданном диапазоне частот колебаний (виброзащита); управление устойчивостью рабочих процессов и движением ЛМ. Указанные задачи решаются различными методами, в которых конструкция ЛМ представляется в виде эквивалентных расчетных схем, а элементы – в виде ограниченного числа приведенных масс, соединенных упругими связями с демпфированием [1].

МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ

Развитие технических и программных средств ЭВМ позволяет конструировать ЛМ при статических и динамических нагрузках в полуавтоматизированном

режиме и получать описание технической системы в виде конструкторской документации. Задача решается следующими путями.

1. Создание объемной модели ЛМ. На основе конструкторской документации или натурных образцов компьютерными средствами создаются объемные модели деталей и сборочных единиц ЛМ, максимально соответствующие оригиналу. Опыт проектирования показывает, что наиболее удобными и наглядными средствами обладают программы SolidWorks (SolidWorks, Corp.), AutoCAD (Autodesk, Inc.) [2], Mechanical Desktop (Autodesk, Inc.) [3], ADAMS (Mechanical Dynamics, Inc.), NASTRAN (MacNeal-Schwendler, Corp.) [4] и др. Среди отечественных разработок, не уступающих зарубежным аналогам, отметим систему КОМПАС (АСКОН), снабженную большой библиотекой объемных моделей стандартных (ГОСТ РФ) деталей и позволяющую получать конструкторскую документацию, полностью соответствующую ЕСКД. Все названные пакеты программ обеспечивают трансляцию описания объемных моделей в международные форматы данных: ACIS (*.sat); Parasolid (текстовый или бинарный); 3D Studio и др. На объемных моделях можно определять массу, объем, моменты инерции, положения центра масс, решать несложные задачи проектирования.

2. Трансляция объемных моделей в программы конструктивных динамических расчетов. В программе COSMOS Works (Structural Research & Analysis, Corp.), функционирующей совместно с SolidWorks; Visual Nastran Desktop (MSC.Software) [4]; ANSYS (ANSYS, Inc.); LS-DYNA (Livermore Software Tech., Corp.) и др., реализован метод конечных элементов (МКЭ) и численные алгоритмы решения уравнений статики и динамики. Указанные программные средства могут решать и задачи кинематики. Разбиение модели на конечные элементы (КЭ) и построение сетки осуществляются автоматически. Объемная конструкция ЛМ может разбиваться на линейные КЭ (стержень, труба, брус, балка, пружина), плоские КЭ (мембрана, пластина, многослойная пластина) и объемные КЭ (тела), с плоскими или криволинейными поверхностями. Для КЭ задается материал (из библиотеки) с изотропными или анизотропными свойствами. Все свойства КЭ можно задавать в виде зависимостей или из файла данных.

Уравнения динамики ЛМ в общем виде можно представить формулой

$$[M] \ddot{x} + [K] \dot{x} + [C] x = F(t), \quad (1)$$

где $[M]$ – матрица инерционности конструкции (масс и моментов инерции); $[K]$ – матрица коэффициентов сил вязкого демпфирования, пропорциональных скоростям; $[C]$ – матрица жесткости; $F(t)$ – вектор нагрузок как функция времени, x – вектор переме-

щений (деформаций); \dot{x} , \ddot{x} – первая и вторая производные от перемещений соответственно.

¹ Авторы – соответственно доцент и аспирант кафедры проектирования лесного оборудования
© В. Н. Коршун, Д. Г. Кокотов, 2003

Матрица масс включает в себя: массы КЭ, обусловленные плотностью задаваемого материала; дополнительные (неконструктивные) массы КЭ; сосредоточенные (точечные) массы. Матрица $[K]$ учитывает диссипацию энергии в динамической системе посредством задания: демпфирующих свойств материалов коэффициентом $K_d = 2 \cdot K/K_0$ (K – коэффициент пропорциональности для силы вязкого демпфирования как функции скорости, K_0 – коэффициент критического демпфирования, при котором колебательная форма движения сменяется монотонно затухающей (по экспоненте)); коэффициентом демпфирования для элементов типа многослойных пластин или комбинаций пружин (жесткой) и демпферов; общего коэффициента (конструктивного) демпфирования.

Уравнения (1) дополняются начальными условиями

$$[x(0)] = x_0, \quad [\dot{x}(0)] = \dot{x}_0, \quad (2)$$

где x_0 , \dot{x}_0 – векторы перемещений и скоростей в начальный момент времени ($t = 0$).

При задании нагрузок при конструировании на ЭВМ учитывают специфику работы ЛМ. Большинство программных систем позволяют задавать следующие виды нагрузок: силы и моменты (Force/Moments), сосредоточенные и распределенные по длине и поверхности; кинематические (несиловые) воздействия (ускорения, скорости и перемещения); тепловые воздействия (температура, тепловыделение, тепловой, конвективный и радиационный потоки). К самим моделям нагрузки могут прикладываться по объему (гравитация, центробежные и силы инерции), к узлам (силы), к КЭ (в точке, на линии и на поверхности). Нагрузки могут задаваться в виде выражений, зависящих от параметров динамической системы, или вводиться из файла данных. Нелинейные нагрузки, зависящие от перемещения или скоростей КЭ, используются для моделирования нестационарных процессов. Нагрузки от рабочих органов и опорных элементов ЛМ моделируются как стационарные с единичными импульсными воздействиями от единичных включений в предмете труда и препятствий в среде движения. На моделях также указываются ограничения (связи).

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Для решения уравнений (1) и (2) в компьютерных программных системах используются различные методы: непосредственное численное интегрирование по времени уравнений (1) при начальных условиях (2) (Direct Transient); разложение вектора перемещений $[x]$ в ряд по формам собственных колебаний (без демпфирования) (Modal Transient) для переходных процессов; частотный анализ (Frequency) при гармоничном законе движения; быстрое преобразование Фурье (FFT); быстрый нелинейный анализ (FNA) (метод Вильсона) для динамических систем с предопределенными физическими или геометрическими ограниченными нелинейностями (шарниры с зазорами, подвеска с нелинейными показателями, сухое трение) (SAP2000). Программные средства могут

передавать информацию для расчетов в другие системы, в том числе и математические MathCAD и MATLAB.

ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ

Все указанные программные средства позволяют выводить для конструктивного анализа перемещения, напряжения, деформации геометрии структур, нагрузки и внутренние силовые факторы. Для первоначального анализа данные выводятся в виде трехмерных или плоских изображений с цветной заливкой, соответствующей величине результата, или в виде анимации деформированных форм и очертаний формы колебаний модели. Кроме расчетов системы NASTRAN, ANSYS позволяют проводить оптимизацию для задач статики, установившихся и переходных динамических процессов, расчеты долговечности, собственных частот и форм колебаний, тепловых процессов. В результате динамического анализа получается оптимальная объемная модель ЛМ. На основе объемной модели ЛМ формируется конструкторская документация в виде чертежей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерное конструирование на начальных стадиях создания ЛМ без значительных материальных затрат в многовариантном режиме позволяет проводить анализ и синтез кинематических и динамических параметров, выполнять прочностные расчеты, оптимизировать марки материалов, форму, структуру и геометрию конструкции, оценивать поведение системы при различных внешних воздействиях, определять безрезонансные режимы работы и параметры виброзащиты, выводить результаты расчетов и конструктивных решений в виде конструкторской документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. А. Моделирование технологических процессов лесных машин. М.: Экология, 1995. 257 с.
2. Коршун В. Н. Основы автоматизированного проектирования: Объемное конструирование деталей на основе редактора AutoCAD: Учебное пособие. Красноярск, 2002. 128 с.
3. Дэниел Т. Банах. Mechanical Desktop 4. М: Лори, 2001. 526 с.
4. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MS/NASTRAN for Windows. М.: ДМК Пресс, 2001. 448 с.