

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЕЧАТНОЙ МАШИНЫ ROMAYOR 314 ПРИ ПОМОЩИ ПАКЕТОВ VISUALNASTRAN И MATHCAD

Гляков С.А., Вихренко В.С., Бокун Г.С., Юденков В.С.

VisuanNastran Desktop 4D is used for modelling and analyzing printing press .

Развитие компьютерной техники, программного обеспечения и численных методов представило возможность быстро и точно решать сложнейшие задачи, связанные с исследованием динамики, вибраций, распределением температуры и др. Одним из пакетов, позволяющих строить модели механизмов с целью их исследования является пакет Nastran. В данной работе также использовался пакет Mathcad для решения системы дифференциальных уравнений и Autocad для построения трёхмерных геометрических тел.

Пакет VisualNastran Desktop 4D — это программа, предназначенная для автоматического моделирования механических процессов. Она используется преимущественно для анализа уже спроектированных механизмов, а не для их проектирования, поскольку здесь отсутствует возможность программирования. Данный пакет также может применяться для анализа вибраций, устойчивости и наблюдения напряжений в объёме тела. Использование VisualNastran для анализа очень удобно, поскольку здесь не требуется составления уравнений, описывающих механизм, а только задание расположения звеньев, наложенные на них связи и приложенные силы. Всё остальное пакет сделает сам и выдаст необходимые результаты.

Для исследования динамики машины в программе VisualNastran в первую очередь необходимо построить её модель, задать все звенья, их массы, кинематические пары и приложенные нагрузки.

1. Моделирование печатной машины. Для выполнения работы, сначала в программе VisualNastran были смоделированы основные движущиеся части полиграфической машины Romayor 314 (цилиндры и валики, приводной механизм, кулачковые механизмы передаточных валиков). Геометрические размеры, массы, формы и взаиморасположение частей машины, количества зубьев в зубчатых зацеплениях берутся из каталога частей и из фотографий и эскизов сделанных непосредственно с машины. На рис. 1 изображён внешний вид модели печатной машины построенной в VisualNastran, взаимное расположение валиков и двигатель с вариатором.

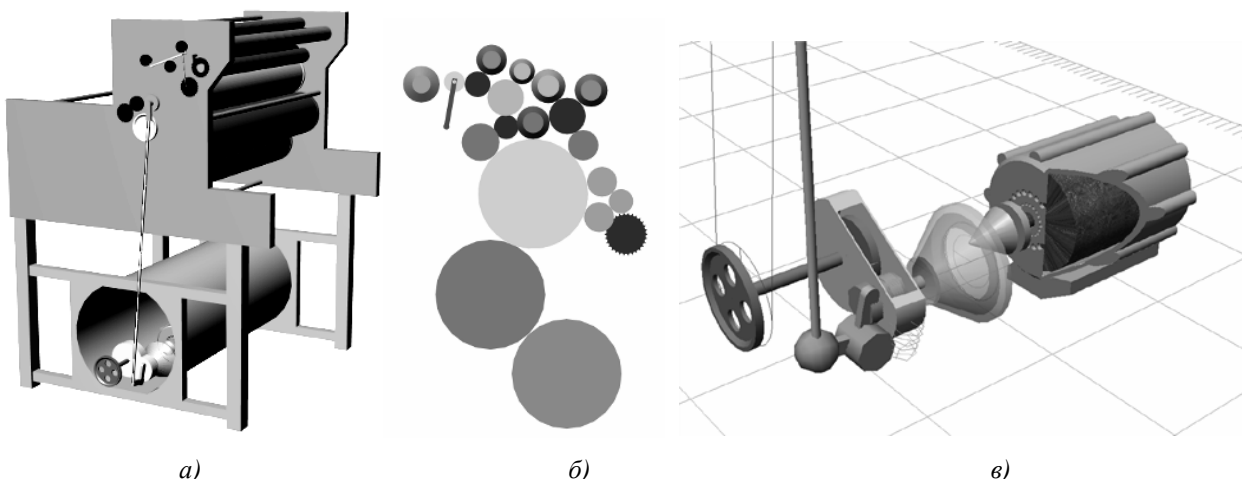


Рис.1. Внешний вид модели и отдельных её частей. а) внешний вид модели печатной машины, б) взаимное расположение валиков, в) двигатель с вариатором

При моделировании учитывались реальные значения передаточных отношений зубчатых и фрикционных передач, к реальным массам подвижных частей, добавлялись также мас-

сы жёстко связанных с ними элементов, образующих единое звено. Кулачковые механизмы первоначально рассчитывались при помощи ранее написанного алгоритма расчёта координат точек профиля кулачка в программе Mathcad, и по этим данным строились трёхмерные модели интерпретатором Autolisp в Autocad. Из-за невозможности точно определить распределение плотности по объёму звеньев и невысокой неравномерности этого распределения все звенья считались с равными плотностями в каждой точке объёма тела.

Для наблюдения колебаний угловой скорости вала двигателя в установившемся режиме можно задавать зависимость момента двигателя от угловой скорости в виде статической механической характеристики асинхронного двигателя, поскольку отклонения скорости, вызванные непостоянством момента инерции и момента сопротивления сравнительно невелики. Механическая характеристика двигателя строится исходя из каталожных данных (номинальная мощность двигателя $P_n=1.1$ кВт, номинальное напряжение питания $U_n=380$ В, номинальная скорость вращения ротора $n_n=1450$ об/мин, синхронная скорость $n_c=1500$ об/мин, коэффициент пуска $\lambda_n=2$, критический коэффициент $\lambda_k=2.2$).

Для определения номинального момента двигателя воспользуемся формулой (1).

$$M_n = \frac{P \cdot 60}{n_n \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{1100 \cdot 60}{1450 \cdot 2 \cdot 3.14} = 14.5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1)$$

Момент пуска и критический момент определяются умножением номинального момента на соответствующие коэффициенты (2, 3), а критическая скорость ротора по формуле (4).

$$M_n = M_n \cdot \lambda_n = 14.5 \cdot 2 = 29 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2)$$

$$M_k = M_n \cdot \lambda_k = 14.5 \cdot 2.2 = 31.9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3)$$

$$n_k = n_c - \lambda_k \cdot (n_c - n_n) = 1500 - 2.2 \cdot (1500 - 1450) = 8340 \text{ град/с} \quad (4)$$

По вычисленным данным строится линеаризованная механическая характеристика двигателя. Для этого понадобятся координаты четырёх точек (точка пуска, критическая, номинальная, точка идеального холостого хода) на осях моментов и скоростей (табл. 1).

	момент, Нм	скорость град/с
т. пуска	29	0
критическая т.	31.9	8340
номинальная т.	14.5	8700
т. х.х.	0	9000

Таблица 1. Координаты точек механической характеристики.

На рис. 2 показана механическая характеристика построенная в пакете VisualNastran.

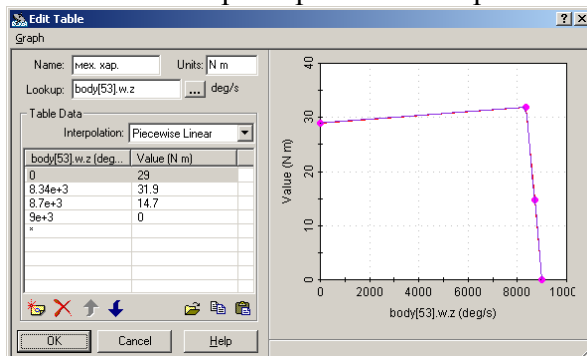


Рис. 2. Механическая характеристика в VisualNastran.

2. Измерение приведенных момента инерции и момента сил сопротивления.

При работе печатной машины, несмотря на то, что оси вращения большинства тел проходят через центр их масс, всё же приведенный момент инерции и приведенный момент сил сопротивления будут величинами не постоянными. Это обусловлено в первую очередь нали-

чем кулачковых механизмов, возвратно-поступательного движения раскатных валиков и увеличением значения трения качения между печатным и офсетными цилиндрами во время прохождения между ними листа бумаги.

Переключение скорости в машине Adast Romayor 314 осуществляется механическим способом путём перемещения фрикционного диска по конусу. На рис. 3 изображено положение фрикционного диска в разрезе, соответствующее минимальной и максимальной скорости машины.

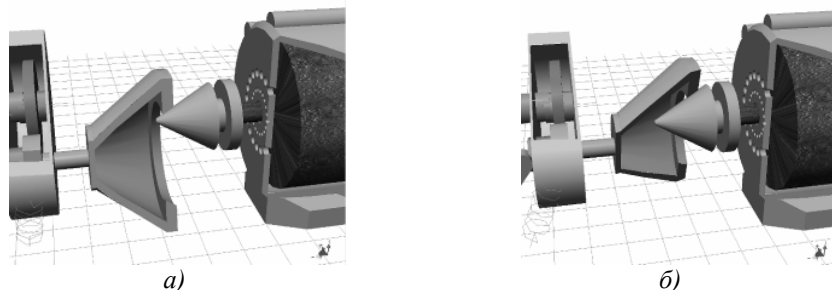


Рис. 3. Положения фрикционного диска при изменении скорости. а) положение при минимальной скорости, б) положение при максимальной скорости.

После запуска модели в VisualNastran можно сделать ряд измерений при различных положениях вариатора и получить данные, которые далее можно использовать при решении системы дифференциальных уравнений описывающей движение асинхронного двигателя с учётом магнитных процессов, проходящих в нём. Целесообразно построить графики изменения момента двигателя и момента инерции в зависимости от времени при различных положениях вариатора. Из этих графиков снимаются следующие данные: среднее значение приведенного момента сил сопротивления на максимальной скорости $M_{\max}=8.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и на минимальной скорости $M_{\min}=2.6 \text{ Н}\cdot\text{м}$, среднее значение момента инерции на максимальной скорости равняется $17.55 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и на минимальной он составит $5.32 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Вследствие достаточно высокого, отличного от нуля значения момента сил сопротивлений и момента инерции переходные процессы, связанные с пуском или изменением скорости при задании момента статической линеаризованной механической характеристикой не будут соответствовать действительности. Поэтому описание вышеуказанных переходных процессов будет основано на решении системы дифференциальных уравнений. Из-за сравнительно невысоких колебаний приведенного момента инерции и приведенного момента сил сопротивлений допускается возможность наблюдения колебаний угловой скорости в установившемся режиме вызванных непостоянством M_{np} и I_{np} при помощи задания момента двигателя рабочим участком механической характеристики.

График колебаний угловой скорости приводного вала на максимальной и на минимальной скорости показаны на рис. 4.

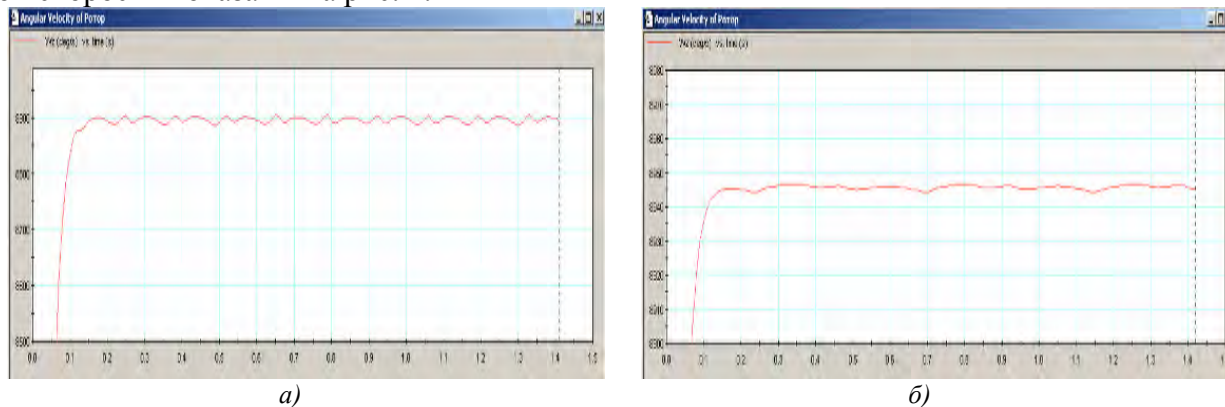


Рис. 4. Графики колебания угловой скорости ротора двигателя. а) на максимальной скорости, б) на минимальной скорости.

Видно, что на минимальной скорости амплитуда колебаний значительно меньше, а среднее значение угловой скорости двигателя больше чем на максимальной. Увеличение среднего значения и уменьшение амплитуды произошло вследствие снижения приведенного момента сил сопротивления и момента инерции из-за изменения передаточного отношения во фрикционной передаче.

3. Построение графиков переходных процессов системы печатная машина — асинхронный электродвигатель. Для построения графиков переходных процессов при пуске необходимо решить систему дифференциальных уравнений (5), в которой учитываются магнитные процессы.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{sa}}{dt} = \sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos(\omega_s \cdot t) - A \cdot r_s \cdot (\psi_{sa} \cdot L_r - \psi_{ra} \cdot L_m) \\ \frac{d\psi_{sb}}{dt} = -\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \sin(\omega_s \cdot t) - A \cdot r_s \cdot (\psi_{sb} \cdot L_r - \psi_{rb} \cdot L_m) \\ \frac{d\psi_{ra}}{dt} = -A \cdot r_r \cdot (\psi_{ra} \cdot L_s - \psi_{sa} \cdot L_m) + \omega \cdot \psi_{rb} \\ \frac{d\psi_{rb}}{dt} = -A \cdot r_r \cdot (\psi_{rb} \cdot L_s - \psi_{sb} \cdot L_m) - \omega \cdot \psi_{ra} \\ M = \frac{3}{2} p \cdot L_m \cdot A \cdot (\psi_{sa} \cdot \psi_{rb} - \psi_{sb} \cdot \psi_{ra}) \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J} \cdot (M - M_s) \end{array} \right. \quad (5)$$

где $\psi_{sa}, \psi_{ra}, \psi_{sb}, \psi_{rb}$ — проекции потокосцепления статора и ротора на оси α и β ;

U_n — номинальное напряжение питания двигателя;

ω_s — скорость вращения поля статора;

ω — скорость вращения ротора;

t — время;

A — константа, определяемая формулой: $A = \frac{1}{L_s \cdot L_r - L_m^2}$

r_s, r_r — приведенные активные сопротивления обмоток статора и ротора;

L_s, L_r — приведенные реактивные сопротивления обмоток статора и ротора;

M, M_s — момент двигателя и момент сопротивления;

J — момент инерции;

p — число пар полюсов;

Эту систему можно решить методом Эйлера в любой среде программирования. Из-за удобства представления графиков в Mathcad была выбрана именно эта программа для написания алгоритма решения системы. При использовании метода Эйлера появляется ещё одна переменная h — шаг, которым можно регулировать точность решения системы. Также при решении методом Эйлера существуют ограничения, накладываемые на величину шага, он должен быть достаточно малым для корректного решения системы. Из-за этого целесообразно ввести ещё одну переменную f , которая уменьшает массив полученных значений при выводе графиков в f раз для увеличения скорости вычислений. Введение этой переменной необходимо, поскольку при очень маленьких шагах массивы могут содержать более миллиона значений, хотя для построения графиков достаточно и нескольких сотен значений. Такое уменьшение массивов сокращает время решения системы в десятки раз.

На рис. 4 приведены графики переходных процессов связанных с пуском машины на минимальной скорости (сплошная чёрная линия) и на максимальной (пунктирная серая линия). Момент сопротивления и момент инерции, которые подставляются в систему уравнений, определены при моделировании печатной машины в VisualNastran (п. 2).

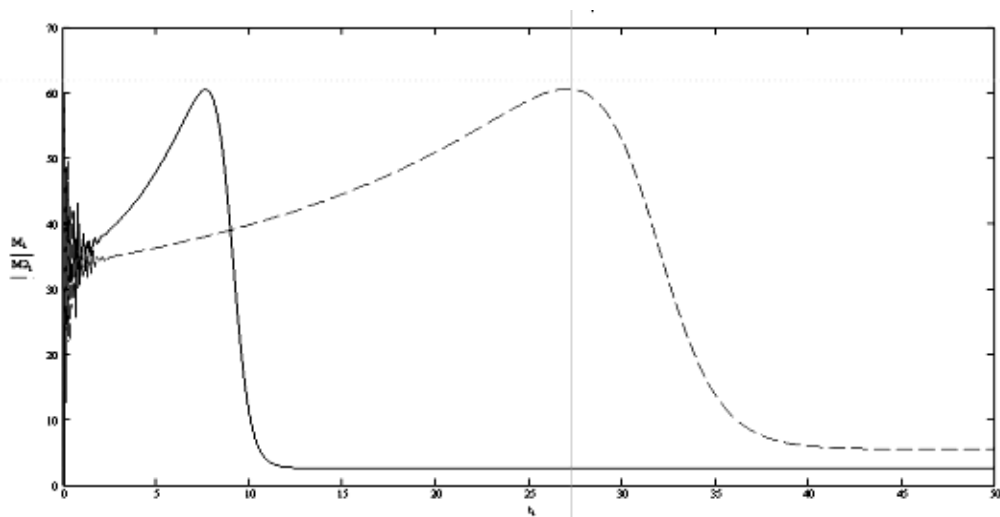


Рис. 4. Зависимость изменения момента двигателя от времени на минимальной скорости (сплошная линия) и на максимальной (пунктирная линия).

На рис. 5. показана зависимость угловой скорости двигателя от его момента (динамическая механическая характеристика) построенная по результатам решения вышеприведенной системы в Mathcad (серая линия – на минимальной скорости, чёрная – на максимальной).

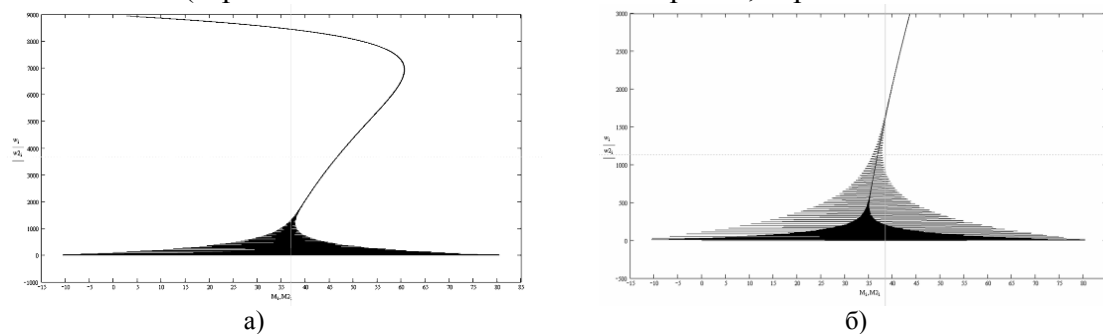


Рис. 5. Динамическая механическая характеристика. а) полная, б) увеличен только начальный участок.

В установившемся режиме при моделировании машины в Nastran среднее значение угловой скорости вала двигателя составляет 8930 град/с (на максимальной скорости), и 8890 град/с (на минимальной), а при решении системы дифференциальных уравнений в Mathcad значения получились 8937 град/с (отклонение 0,08 %) и 8905 град/с (отклонение 0,06 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов С.А., Тимофеев Г.А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин. – М.: Высш. шк., 2002.
2. Кирьянов Д.А. Самоучитель Mathcad 2001. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003.
3. Шимкович Д. Г., Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001.