

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
«ДИНАМИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН»**

**Анципорович П.П., Акулич В.К., Дворянчикова А.Б., Дубовская Е.М.**

*The article describes the technique research of separated influence of mass-geometrical adjectives of a driver and a machine actuator on rotation inequality of the main machine drive shaft.*

В процессе схемной проработки автоматизированных технологических комплексов приходится проводить анализ скорости  $\omega_1$  главного приводного вала той или иной технологической машины или средства автоматизации как некоторой функции угла  $\varphi_1$  его поворота. Для этого формируется "жесткая" динамическая модель машины, представляющая собой вращающееся с угловой скоростью  $\omega_1 = \omega_1(\varphi_1)$  некоторое звено, обладающее приведенным моментом инерции  $I_{\Pi} = I_{\Pi}(\varphi_1)$ , к которому приложены приведенные моменты движущих сил  $M_{\Pi}^{\partial} = M_{\Pi}^{\partial}(\varphi_1)$  и сил сопротивления  $M_{\Pi}^c = M_{\Pi}^c(\varphi_1)$ . Затем для динамической модели (звена приведения) записывается уравнение движения, например, в энергетической форме / I /

$$\frac{I_{\Pi i} \omega_{1i}^2}{2} - \frac{I_{\Pi 0} \omega_{10}^2}{2} = \int_0^{\varphi_i} M_{\Pi}^{\partial} d\varphi_1 + \int_0^{\varphi_i} M_{\Pi}^c d\varphi_1, \quad (1)$$

из которого определяется зависимость  $\omega_1 = \omega_1(\varphi_1)$ .

Традиционная методика / I / не позволяет провести отдельный анализ влияния массово-геометрических характеристик привода и исполнительного механизма машины на неравномерность вращения звена приведения. Она не позволяет также выявить отдельного влияния сил технологического сопротивления (вида выполняемой операции) и сил движущих (типа приводного двигателя). Это во многом ограничивает использование математического моделирования для реализации многовариантного численного эксперимента в процессе схемной проработки автоматизированных технологических комплексов.

Чтобы избежать указанных недостатков, предложена методика и разработано программное обеспечение, используемые в лабораторном практикуме по динамике технологических машин. Ниже излагаются основные особенности и фрагменты программы «Динамика технологических машин».

Для решения задачи исследования отдельного влияния геометрических, массовых, кинематических и силовых характеристик машины и выполняемой операции технологического процесса предлагается угловую скорость определять по формуле

$$\omega_{1i} = \sqrt{\frac{2(T_{cp} + \Delta T_i^{cp})}{I_{\Pi i}}}, \quad (2)$$

где  $I_{\Pi i}$  - приведенный момент инерции машины;

$T_{cp}$  - среднее значение кинетической энергии;

$\Delta T_i^{cp}$  - отклонение кинетической энергии от среднего значения.



Рис. 1. График функции  $T = T(\varphi_1)$  кинетической энергии машины от угла  $\varphi_1$  поворота главного приводного вала машины.

Величина  $T_{cp}$  находится как среднее интегральное значение кинетической энергии за цикл установившегося движения (рис. 1)

$$T_{cp} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} T d\varphi. \quad (3)$$

Текущее значение кинетической энергии может быть вычислено по формуле

$$T_i = T_0 + \Delta T_i, \quad (4)$$

где  $T_0$  - кинетическая энергия в начале цикла;

$$T_0 = \frac{I_{\Pi 0} \omega_{10}^2}{2};$$

$\Delta T_i$  - изменение кинетической энергии.

На основании уравнения (1) имеем

$$\Delta T_i = A_{\partial i} + A_{ci} = \int_0^{\varphi_i} (M_{\Pi}^{\partial} + M_{\Pi}^c) d\varphi_1,$$

где  $A_{\partial i}$  - работа движущих сил;

$A_{ci}$  - работа сил сопротивления;

$A_{\partial i} + A_{ci}$  - алгебраическая сумма работ;

$M_{\Pi}^{\partial}$  - приведенный момент движущих сил;

$M_{\Pi}^c$  - приведенный момент сил сопротивления.

Из рис. 1 видно, что выражение  $T_i = T_0 + \Delta T_i$  можно представить следующим образом:

$$T_i = T_{\min} + \Delta T_{\min cp} + A_{c-i}^{\partial} + A_{c-i}^c, \quad (5)$$

где  $T_{\min}$  - минимальное значение кинетической энергии машины;

$\Delta T_{\min cp}$  - разность между средним и минимальным значениями кинетической энергии;

$$\Delta T_{\min cp} = T_{cp} - T_{\min}; \quad (6)$$

$A_{c-i}^{\partial}$  - работа движущих сил на интервале  $[\varphi_c, \varphi_i]$ ;

$$A_{c-i}^{\partial} = \int_{\varphi_c}^{\varphi_i} M_{II}^{\partial} d\varphi_1; \quad (7)$$

$A_{c-i}^c$  - работа сил сопротивления на интервале  $[\varphi_c, \varphi_i]$ ;

$$A_{c-i}^c = \int_{\varphi_c}^{\varphi_i} M_{II}^c d\varphi_1. \quad (8)$$

Угол  $\varphi_c$  соответствует угловому положению приводного вала, при котором  $T_i = T_{cp}$ .

Тогда выражение (2) для определения угловой скорости звена приведения можно представить в следующем виде:

$$\omega_{1i} = \sqrt{(\Delta\omega_{1i})^2 + (\Delta\omega_{2i})^2 + (\Delta\omega_{3i})^2 + (\Delta\omega_{4i})^2}, \quad (9)$$

где

$$(\Delta\omega_{1i})^2 = \frac{2T_{\min}}{I_{IIi}}, \quad (10)$$

$$(\Delta\omega_{2i})^2 = \frac{2\Delta T_{\min cp}}{I_{IIi}}, \quad (11)$$

$$(\Delta\omega_{3i})^2 = \frac{2 \int_{\varphi_c}^{\varphi_i} M_{II}^{\partial} d\varphi_1}{I_{IIi}}, \quad (12)$$

$$\left(\Delta \omega_{4i}\right)^2 = \frac{2 \int_{\varphi_c}^{\varphi_i} M_{II}^c d\varphi_1}{I_{IIi}}. \quad (13)$$

Уравнения (9) - (13) позволяют провести анализ отдельного влияния динамических характеристик машины и выполняемой технологической операции на неравномерность вращения главного приводного вала.

Как видно из уравнения (10), функция  $\Delta \omega_{1i} = \Delta \omega_{1i}(\varphi_1)$  определяет влияние "внутренней" динамики машины. Здесь  $T_{\min}$  - постоянное значение кинетической энергии всех звеньев механизмов с постоянными передаточными отношениями (винт-гайка, шестерня-рейка, ременная передача, коробки скоростей с круглыми зубчатыми колесами и т.п.), т.е. эта величина учитывает массовые и кинематические характеристики привода. Величина  $I_{IIi}$  определяется суммой двух слагаемых  $I_{IIi} = I'_{II} + I''_{II}$ . Здесь  $I'_{II} = const$  - приведенный момент инерции всех звеньев машины от двигателя до звена приведения.  $I''_{II} = I''_{II}(\varphi_1)$  является периодической функцией с периодом  $2\pi$ . Таким образом, формула (10) позволяет судить о влиянии значения  $I'_{II}$  и амплитудного значения функции  $I''_{II} = I''_{II}(\varphi_1)$  на неравномерность движения звена приведения. Если  $\left(I''_{II}\right)_{\max} < I'_{II}$  и  $T_{\min}$  - достаточно большое число, то колебание амплитудных значений величины  $\Delta \omega_{1i}$  будет несущественным.

Из формулы (11) и рис. 1 следует, что величина  $\Delta T_{\min cp}$  характеризует превышение значения средней кинетической энергии  $T_{cp}$  над ее минимальным значением  $T_{\min}$ . Поэтому числитель формулы (11) есть постоянное число. Знаменатель же переменный. Это означает, что амплитудные значения функции  $\Delta \omega_{2i}$  будут меньше амплитудных значений функции  $\Delta \omega_{1i}$ . Их значения определяются соотношением значений  $T_{\min}$  и  $\Delta T_{\min cp}$ . Разница в физическом смысле величин  $T_{\min}$  и  $\Delta T_{\min cp}$  состоит в том, что приращение кинетической энергии определяется алгебраической суммой работ сил движущих и сопротивления. Величина же  $T_{\min}$  определяется только массами (моментами инерции) и скоростями центров масс звеньев (угловыми скоростями звеньев).

Формулы (12), (13) дают возможность судить о раздельном влиянии сил движущих ( $M_{II}^{\partial}$ ) и сопротивления ( $M_{II}^c$ ) на неравномерность вращения главного приводного вала.

Таким образом, раздельный анализ зависимостей (10) - (13) позволяет судить о динамике машины раздельно по силовым и массовым ее характеристикам. Сравнения зависимостей (10)-(13) полезно проводить по их амплитудным значениям между собой, а также сравнением их с амплитудными значениями зависимости (9).

В соответствии с вышеизложенным разработана программа «Динамика технологических машин», используемая в лабораторном практикуме, позволяющая исследовать зависимость неравномерности вращения главного вала машины от следующих факторов:

- а) массово-геометрической характеристики привода;
- б) массово-геометрической характеристики исполнительного механизма;

в) механической характеристики выполняемой операции.

В качестве показателя неравномерности вращения главного вала машины выбран коэффициент неравномерности его вращения.

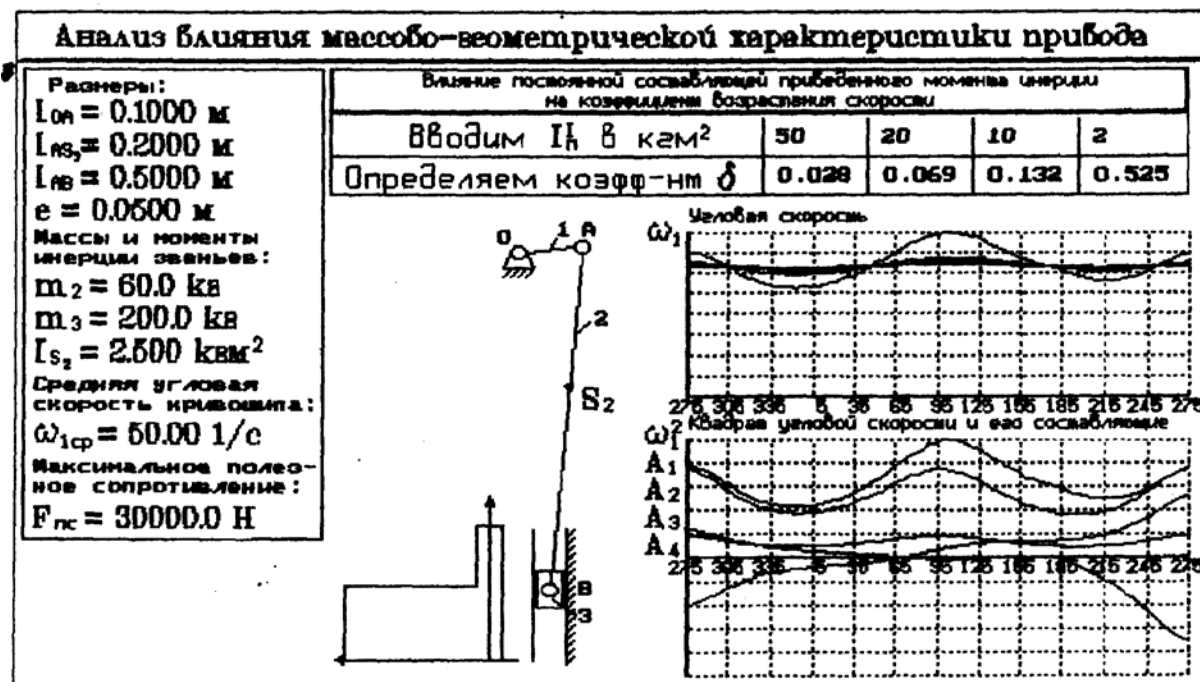


Рис.2 Пример вывода результатов исследования

Пользователю предоставлена возможность использования двух режимов работы - демонстрационного, при котором показ влияния вышеназванных факторов производится с использованием заранее заложенных в программу данных, и исследовательского, когда пользователь самостоятельно вводит интересующие его параметры и при необходимости распечатывает результаты расчетов. Кроме того, результаты расчетов могут сохраняться.

Программа предназначена для инженерно-технических работников, выполняющих проектные работы, в процессе которых требуется исследовать характер вращения главного вала машины, а также для студентов, изучающих курсы теории механизмов и машин, проектирования схем технологических машин и манипуляторов, прикладной механики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. -640 с.