

УДК 629.114.2

Исследование зависимости спектра собственных частот от упруго-инерционных параметров силовых передач лесохозяйственных машинно-тракторных агрегатов

А.И. Свитачев^{1 a}, А.Н. Чекаев^{2 b}

¹Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира 82, Красноярск, Россия

²Красноярский институт железнодорожного транспорта, ул. Ладо Кетчовели 89, Красноярск, Россия

^aa_svitach@mail.ru, ^bdante20_02@mail.ru

Статья получена 13.05.2014, принята 15.08.2014

Работа посвящена исследованию динамических свойств силовых передач машинно-тракторных агрегатов. Одним из важных динамических свойств является оценка спектра собственных частот машинного агрегата, представляемого в виде многомассовой колебательной системы. Однако собственные частоты не дают подробной картины динамических свойств силовой передачи, а более полную информацию несут амплитудно-частотные характеристики, найденные по передаточным функциям. Ведь амплитудно-частотная характеристика представляет собой дробно-рациональную функцию, и некоторые собственные частоты могут и не проявиться из-за соотношения нулей и полюсов при нахождении амплитудно-частотных характеристик. Авторами рассмотрена задача нахождения спектра собственных частот и амплитудно-частотных характеристик в зависимости от конструктивных параметров динамической модели, составлены алгоритм и программа реализации в системе MathCad. Приведены результаты расчетов спектра собственных частот шестимассовой модели трелевочного трактора ЛХТ-55, графическое изображение изменения спектра собственных частот и изменение амплитудно-частотных характеристик при различных податливостях валов заднего моста. Также представлены изменения спектра собственных частот и амплитудно-частотных характеристик при варьировании податливости первичного вала. Данная статья еще раз подтверждает, что нахождение собственных частот без исследования АЧХ не дает полной картины динамических свойств силовой передачи.

Ключевые слова: динамические характеристики, передаточные числа, силовая передача, спектр собственных частот.

Study of the dependence of the spectrum of natural frequencies on elastic-inertial parameters of power transmissions of forestry tractor units

A.I. Svitachev^{1 a}, A.N. Chekayev^{2 b}

¹Siberian State Technological University, 82 Mira Ave., Krasnoyarsk, Russia

²Krasnoyarsk State Transport University, 89 Lado Ketshoveli Str., Krasnoyarsk, Russia

^aa_svitach@mail.ru, ^bdante20_02@mail.ru

Received 13.05.2014, accepted 15.08.2014

The article is devoted to the study of dynamic properties of power transmission of tractor units. One of the important dynamic properties is to evaluate the spectrum of natural frequencies of the machine aggregate represented in the form of multimass vibration system. However, natural frequencies do not give a complete picture about dynamic properties of power transmission, and more detailed information is given by amplitude-frequency characteristics found by transfer functions. Amplitude-frequency characteristics is a rational function, and some natural frequencies might not occur due to the ratio of zeros and poles when finding amplitude-frequency characteristics. The authors of the article have considered the problem of finding the spectrum of natural frequencies and amplitude-frequency characteristics depending on the constructive parameters of a dynamic model. Algorithm and program of implementation in the MathCad system have been composed. The results of calculations of the spectrum of natural frequencies for six-mass model of a skidder LHT-55 have been presented. Graphical representation of changes in the spectrum of natural frequencies and changes in amplitude-frequency characteristics under various flexibilities of the shafts of the rear axle have also been presented in the article. Changes in the spectrum of natural frequencies and amplitude-frequency characteristics under variation of the flexibility of the primary shaft have been given. This article reconfirms that finding natural frequencies without examining amplitude-frequency characteristics does not give a complete picture of dynamic properties of power transmission.

Keywords: dynamic characteristics, ratios, power transmission, spectrum of natural frequencies

Введение. Одним из путей исследования динамических свойств силовых передач является нахождение спектра собственных частот колебательной системы, сравнение с частотными диапазонами основных

возмущающих воздействий и выявление резонансных режимов.

Анализ работ в данном направлении [1, с. 157; 2, с. 36; 3, с. 133 и др.] показал, что исследователи, построив математическую модель в виде системы дифференциальных уравнений по многомассовой упруго-инерционной крутильно-колебательной системе, вычисляют спектр собственных частот и принимают его за базовый. Далее, выбирая на основе эксплуатационных соображений и варьируя тот или иной упруго-инерционный параметр (чаще всего жесткостный или демпфирующий) вычисляют значения собственных частот. Следует отметить, что значения варьируемого параметра берутся в небольшом количестве точек (например, в уменьшенном или увеличенном в полтора, два или три раза), по которым вычисляется спектр собственных частот, а выводы изменения частот проводятся на весь диапазон значений параметра. Кроме этого, следует отметить, что собственные частоты не дают полной картины о динамических свойствах силовой передачи, а более полную информацию несут амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), найденные по передаточным функциям. Ведь АЧХ представляет собой дробно-рациональную функцию, и некоторые собственные частоты могут и не проявиться из-за соотношения нулей и полюсов при нахождении АЧХ.

Постановка задачи. Разработать метод оценки зависимости спектра собственных частот и динамических характеристик от упруго-инерционных параметров машинно-тракторных агрегатов (МТА).

В данной работе рассмотрено решение задачи нахождения спектра собственных частот и АЧХ в зависимости от конструктивных параметров динамической модели МТА, составлены алгоритм и программа реализации в системе MathCad.

Решение задачи. Многомассовая механическая система МТА в линейном приближении может быть представлена системой дифференциальных уравнений (в матричном виде):

$$J \cdot Y'' + B \cdot Y' + C \cdot Y = P(t), \quad (1)$$

где J, B, C – матрицы моментов инерции, коэффициентов демпфирования, жесткостей; $P(t)$ – вектор возмущающих воздействий, $Y(t)$ – вектор угла закрутки масс системы. Применяя преобразование Лапласа к системе (1) в предположении нулевых начальных условий, уравнение в изображениях в матричной форме имеет вид:

$$M(b)Y(b) = P(b),$$

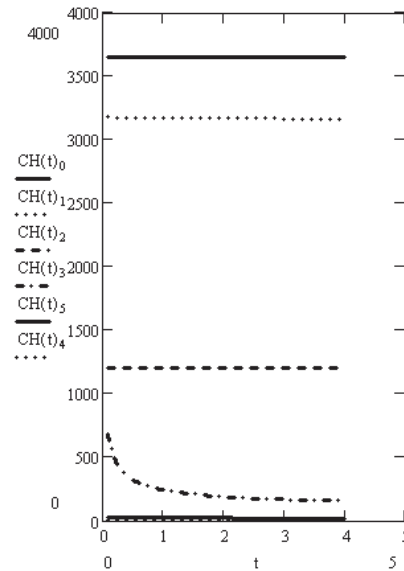
где $M(b) = |J \cdot b^2 + B \cdot b + C|$ – характеристическая матрица, зависящая от конструктивных параметров.

Для исследования зависимости спектра собственных частот от какого-либо упруго-инерционного коэффициента умножаем данный коэффициент на безразмерный варьируемый в некотором диапазоне параметр t (например, от 0,4 до 4) и получаем матрицу $M(b,t) = |J \cdot b^2 + B \cdot b + C|$. Далее, применяя встроенные

функции системы MathCad $VE(t) := \text{eigenvals}(M(0,t))$ и $CH(t) := \sqrt{|VE(t)|}$, получим вектор собственных частот и графики изменения в зависимости от изменения параметра t . Параметр t , по существу, представляет собой коэффициент роста исследуемого упруго-инерционного коэффициента. На рис. 1 представлены результаты расчетов спектра собственных частот шести-массовой модели трелевочного трактора ЛХТ-55 и графическое изображение изменения спектра собственных частот в зависимости от изменения податливости валов заднего моста в t раз (при $t > 1$ – увеличение, при $0 < t < 1$ – уменьшение). Как видим, наибольшее влияние варьирование податливостью полюсей оказывает на изменение третьей собственной частоты, остальные же собственные частоты остаются без изменения. Этим свойством можно воспользоваться при выборе рациональных параметров путем снижения динамических воздействий от карданной передачи, наблюдаемых в данном диапазоне частот.

$$CH(1) = \begin{pmatrix} 3.647 \times 10^3 \\ 3.168 \times 10^3 \\ 1.208 \times 10^3 \\ 242.321 \\ 8.442 \times 10^{-6} \\ 23.271 \end{pmatrix}$$

а)



б)

Рис. 1. а) $CH(t)$ – вектор-столбец спектра собственных частот в рад./с., б) – графическое изображение изменения спектра собственных частот в зависимости от изменения податливости валов заднего моста в t раз (при $t > 1$ – увеличение, при $0 < t < 1$ – уменьшение)

На рис. 2 представлены АЧХ $A_{с.п.в.}(\omega)$ – от сопротивления со стороны пачки до первичного вала при различных податливостях валов заднего моста.

Расчет АЧХ проводился при нулевом демпфировании по методике, изложенной в работах А.И. Свитаче-

ва. На рис. 2 можно наблюдать значительные изменения АЧХ в диапазоне 3-й собственной частоты. Естественно, следует заключить, что рис. 1 и 2 несут более полную информацию о динамических свойствах силовой передачи, чем простое вычисление собственных частот.

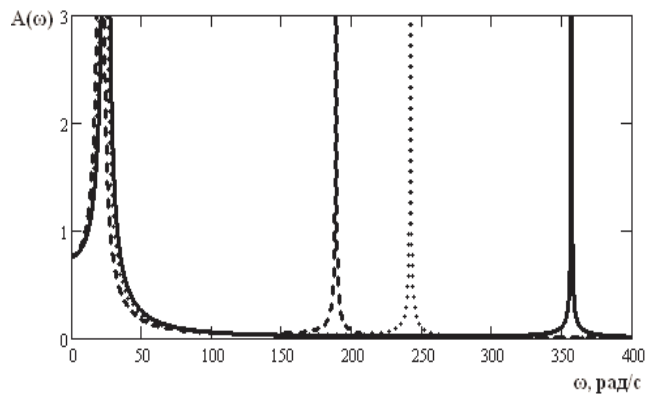


Рис. 2. АЧХ $A_{c, п.в.}(\omega)$ при $t = 0,4$ (—), при $t = 2$ (- -) и при $t=1$ (••••) – базовый вариант

При варьировании других параметров податливости (например, податливости первичного вала) получаем иную картину изменения собственных частот и АЧХ.

Как видим на рис. 3, 3-я и 5-я собственные частоты претерпевают значительные изменения при варьировании податливости, а остальные остаются без изменения, но это не значит, что АЧХ не меняется. На данном примере мы можем наблюдать (рис. 4), как меняется амплитуда колебаний при неизменной собственной частоте. При увеличении податливости в два раза амплитуда колебаний увеличивается примерно в два раза, при уменьшении в 0,4 раза – падает примерно наполовину.

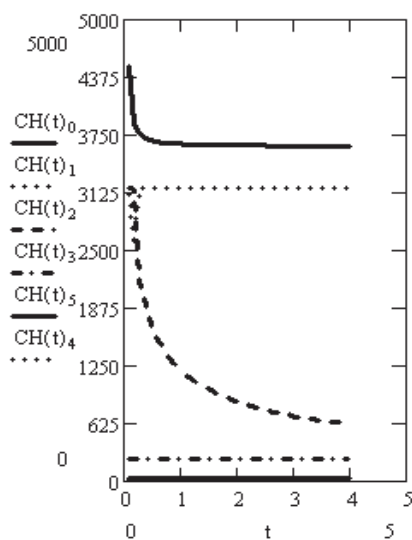


Рис. 3. Изменения спектра собственных частот при варьировании податливости первичного вала

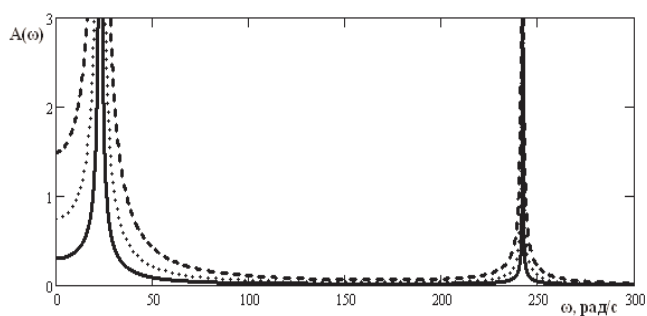


Рис. 4. АЧХ $A_{c, п.в.}(\omega)$ при $t=0,4$ (—), при $t = 2$ (- -) и при $t = 1$ (••••) – базовый вариант (изменение податливости первичного вала)

Как видим на рис. 3, 3-я и 5-я собственные частоты претерпевают значительные изменения при варьировании податливости, а остальные остаются без изменения, но это не значит, что АЧХ не меняется. На данном примере мы можем наблюдать (рис. 4), как меняется амплитуда колебаний при неизменной собственной частоте. При увеличении податливости в два раза амплитуда колебаний увеличивается примерно в два раза, при уменьшении в 0,4 раза – падает примерно наполовину.

Выводы

Предложен метод нахождения спектра собственных частот силовой передачи МТА, в зависимости от конструктивных параметров, для оценки и оптимизации динамических свойств.

Литература

1. Анисимов Г.М. Условия эксплуатации и нагруженность трансмиссии трелевочного трактора. М.: Лесн. пром-сть, 1975. С. 157.
2. Чернявский И.Ш. Снижение динамической нагруженности трансмиссии трактора Т-150 // Тракторы и сельхозмашины. 1999. № 4. С. 35-37.
3. Шеховцов В.В. Влияние на частоты собственных колебаний упруго-инерционных параметров элементов силовой передачи трактора ВТ-100 // Материалы XVII заоч. науч. конф. Междунар. науч.-исслед. журн. Екатеринбург: МНИЖ. 2013. № 7 (14). Ч. 2. С. 132-135.

References

1. Anisimov G.M. Operating conditions and ladenness transmission skidder. M.: Lesn. prom-st', 1975. P. 157.
2. Chernyavskii I.Sh. Reduced dynamic ladenness of the T-150 tractor transmission // Traktory i sel'khoz mashiny. 1999. № 4. P. 35-37.
3. Shekhovtsov V.V. Influence on the eigenfrequency of the elastic-inertial parameters of power transmission elements tractor VT-100 // Mezhdunar. nauch.-issled. zhurn. Ekaterinburg: MNIZh, 2013. № 7 (14), Ch. 2. P. 132-135.