

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR AUTOMATIC PERFORMANCE OF SPACECRAFT TESTS

Automated creation of OCS documentation at the stage of electrical tests is reviewed in this paper. A comparative analysis of software for automatic performance available in the market today.

Keywords: automatic performance, life cycle, business-systems models, informational space, earth-based tests.

© Хасанова Р. А., 2012

УДК 621.926.4

А. Н. Щепин, Б. С. Каменецкий, Г. Н. Лимаренко, В. А. Титов

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ОРИГИНАЛЬНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ*

Дается оценка динамических характеристик нового универсального измельчителя сельскохозяйственного сырья и других материалов на основе оригинальной зубчатой передачи.

Ключевые слова: динамика машин, зубчатое зацепление, вибродиагностика, измельчитель.

В Сибирском федеральном университете (СФУ) создан новый тип универсального измельчителя сырья и материалов [1; 2]. Измельчитель выполнен на основе оригинальной зубчатой передачи внутреннего зацепления [3; 4].

Для исследований измельчителя создан экспериментальный стенд (рис. 1), представляющий собой программно-аппаратный комплекс, реализованный на базе техники Siemens и технологий National Instruments, включающий в себя измельчитель, клиноременную передачу, соединяющую его с асинхронным электродвигателем Siemens мощностью 5,5 кВт (максимальная частота вращения 1500 об/мин), пульт управления, компьютер с управляющим ПО на базе LabVIEW и Simatic Net; шкаф управления [5].

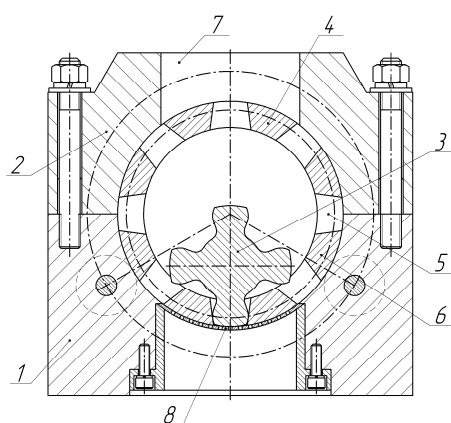


Рис. 1. Конструктивная схема измельчителя

В разъемном корпусе 1 с крышкой 2 установлен редуктор – оригинальная зубчатая передача внутрен-

него зацепления, образованная вал-шестерней 3 с наружными зубьями и колеса 4. Колесо выполнено в виде полого цилиндра, по периметру которого равномерно расположены зубья 6, боковые поверхности которых образуют окна 5. Вал-шестерня и колесо установлены на подшипниках качения в расточках корпуса. Окно 7 для загрузки сырья выполнено сверху корпуса, а для отвода продукта – снизу и в нем установлена решетка 8 с отверстиями.

В измельчителе реализован способ «экструзионного измельчения». Сырье из бункера через окно 7 поступает внутрь колеса, загружается в окна 5. При вращении передачи зубья вал-шестерни «закрывают» окна с сырьем. В результате этого под действием сдавливающих и сдвиговых усилий, создаваемых зубьями вал-шестерни, сырье измельчается. Готовый продукт отводится через отверстия в решетке.

Кинематическая схема измельчителя показана на рис. 2.

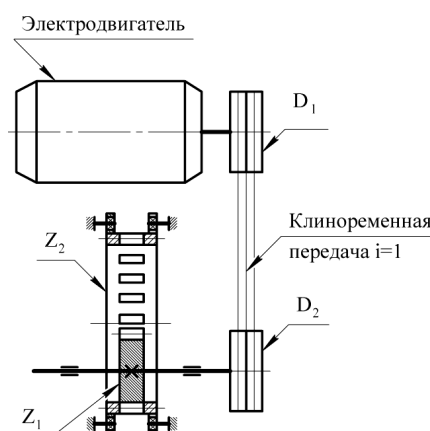


Рис. 2. Кинематическая схема привода измельчителя

* Работа выполнена в рамках проекта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., по лоту шифр «2011-1.2.2-220-010».

Оценка динамических характеристик измельчителя выполнена расчетным и экспериментальным методами. При этом рассматривались амплитудно-частотные характеристики рабочих органов, запас устойчивости динамической системы при изменении рабочих нагрузок, значения коэффициентов динамичности в опорах и передачах.

Динамическая система измельчителя представлена в виде многомерной модели, учитывающей совместное действие крутильных и поперечных (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) колебаний приведенных масс привода (рис. 3). Выходное звено – колесо, воспринимающее окружные и радиальные усилия, действующие в процессе измельчения, опирается на приведенные к местам установки масс упругие опоры.

Для расчета динамики измельчителя были определены параметры его динамической системы по методике [6]. При расчете поперечных колебаний пространственная динамическая модель раскладывалась на две подсистемы: вертикальную и горизонтальную,

для каждой из которых определены динамические параметры.

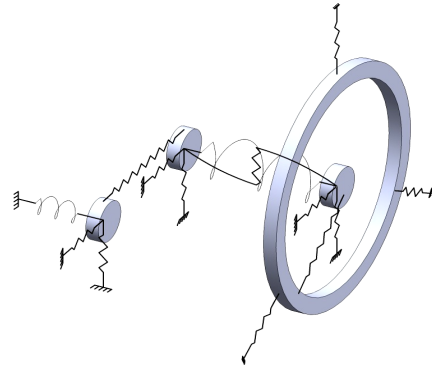


Рис. 3. Динамическая модульная модель привода измельчителя

Получены следующие матрицы инерции и жесткости:

$$\begin{pmatrix} Adv_{0,0} + Arem_{0,0} & Adv_{0,1} + Arem_{0,1} & Arem_{0,2} & Arem_{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Adv_{1,0} + Arem_{1,0} & Adv_{1,1} + Arem_{1,1} & Arem_{1,2} & Arem_{1,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Arem_{2,0} & Arem_{2,1} & Arem_{2,2} + Aval_{0,0} & Arem_{2,3} + Aval_{0,1} & Aval_{0,2} & Aval_{0,3} & 0 & 0 \\ Arem_{3,0} & Arem_{3,1} & Arem_{3,2} + Aval_{1,0} & Arem_{3,3} + Aval_{1,1} & Aval_{1,2} & Aval_{1,3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Aval_{2,0} & Aval_{2,1} & Aval_{2,2} + Azyb_{0,0} & Aval_{2,3} + Azyb_{0,1} & Azyb_{0,2} & Azyb_{0,3} \\ 0 & 0 & Aval_{3,0} & Aval_{3,1} & Aval_{3,2} + Azyb_{1,0} & Aval_{3,3} + Azyb_{1,1} & Azyb_{1,2} & Azyb_{1,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Azyb_{2,0} & Azyb_{2,1} & Azyb_{2,2} & Azyb_{2,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Azyb_{3,0} & Azyb_{3,1} & Azyb_{3,2} & Azyb_{3,3} \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} Cdv_{0,0} + Crem_{0,0} & Cdv_{0,1} + Crem_{0,1} & Crem_{0,2} & Crem_{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Cdv_{1,0} + Crem_{1,0} & Cdv_{1,1} + Crem_{1,1} & Crem_{1,2} & Crem_{1,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Crem_{2,0} & Crem_{2,1} & Crem_{2,2} + Cval_{0,0} & Crem_{2,3} + Cval_{0,1} & Cval_{0,2} & Cval_{0,3} & 0 & 0 \\ Crem_{3,0} & Crem_{3,1} & Crem_{3,2} + Cval_{1,0} & Crem_{3,3} + Cval_{1,1} & Cval_{1,2} & Cval_{1,3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Cval_{2,0} & Cval_{2,1} & Cval_{2,2} + Czyb_{0,0} & Cval_{2,3} + Czyb_{0,1} & Czyb_{0,2} & Czyb_{0,3} \\ 0 & 0 & Cval_{3,0} & Cval_{3,1} & Cval_{3,2} + Czyb_{1,0} & Cval_{3,3} + Czyb_{1,1} & Czyb_{1,2} & Czyb_{1,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Czyb_{2,0} & Czyb_{2,1} & Czyb_{2,2} + Ck & Czyb_{2,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Czyb_{3,0} & Czyb_{3,1} & Czyb_{3,2} & Czyb_{3,3} + Ckf \end{pmatrix},$$

где Adv_{ij} – элементы матрицы инерции двигателя; $Arem_{ij}$ – ременной передачи; $Aval_{ij}$ – вал-шестерни; $Azyb_{ij}$ – зубчатой передачи. Аналогично обозначаются элементы матрицы жесткости.

Расчет динамических характеристик привода измельчителя реализован в программе автоматизации математических, инженерно-технических и научных расчетов MathCAD [7].

Исходя из конструкции получен спектр собственных частот привода измельчителя для поперечных колебаний в вертикальной плоскости:

$$f_{\text{пверт}} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \begin{pmatrix} 1972,677 \\ 128,385 \\ 49,646 \\ 261,952 \end{pmatrix}, \text{ Гц};$$

в горизонтальной плоскости:

$$f_{\text{пгор}} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \begin{pmatrix} 180,139 \\ 2648,585 \\ 2139716,144 \\ 12211,35118 \end{pmatrix}, \text{ Гц};$$

спектр собственных частот привода измельчителя для крутильных колебаний:

$$f_{\text{крут}} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \begin{pmatrix} 29,291 \\ 106,837 \\ 285,987 \\ 1072,650 \end{pmatrix}, \text{ Гц}.$$

В ходе экспериментального исследования использован виброанализатор «Корсар+».

Вибродиагностика измельчителя проводилась на холостом ходу на частоте 500 об/мин и под нагрузкой при измельчении зерна на частотах вращения 300, 500 и 750 об/мин.

Параметры стенда, значимые для виброустойчивости, следующие: тип двигателя 1LA71648A810; подшипники в опорах вал-шестерни – 80206, в опорах колеса – 80301; номинальная мощность двигателя $P_H = 5,5$ кВт; передаточное число ременной передачи $U_{рем} = 1$; передаточное отношение рабочего органа измельчителя $U_{ред} = 2$; число зубьев шестерни $Z_1 = 4$; число зубьев колеса $Z_2 = 8$.

Параметры вибрации измеряли в местах расположения подшипниковых опор, в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, в четырех контрольных точках (рис. 4, вторая и четвертая контрольные точки не показаны).

Полученный вибрационный сигнал интерпретируется программным обеспечением «Атлант», входящим в комплект поставки вибронализатора «Корсар+», в амплитудно-частотную характеристику (АЧХ).

Для каждого измерения получены частоты колебаний и соответствующие им амплитуды (рис. 5). Результаты сведены в табл. 1, 2, в которых каждой гармонике сигнала, измеренного во взаимно-перпендикулярных плоскостях, соответствует его частота и амплитуда.

Полученная информация позволяет сопоставить измеренные частоты, с возмущающими частотами, действующими в различных частях конструкции и

проанализировать их близость к резонансу. Формулы расчета возмущающих частот приведены в работе [6].



Рис. 4. Расположение контрольных точек измерения вибрации:

- 1 – задняя опора вал шестерни (без выходного конца вала);
- 2 – передняя опора вал-шестерни (с выходным концом вала);
- 3 – задняя опора колеса; 4 – передняя опора колеса

Результаты расчета возмущающих частот оформлены в виде табл. 1.

Для каждого измерения вычислены коэффициенты близости к резонансу, которые показывают попадание возмущающей частоты в полосу реонанса. В табл. 2 приведены результаты расчетов при частоте вращения электродвигателя 350 об/мин.

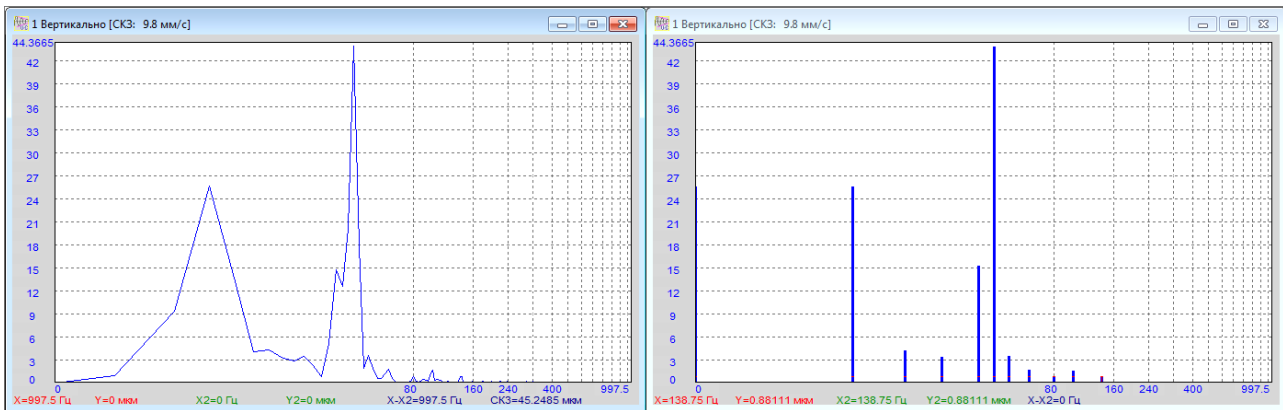


Рис. 5. АЧХ одного из измерений (слева) и разложение ее в гармонический ряд Фурье (справа)

Таблица 1

Результаты расчета возмущающих частот

Обороты двигателя, об/мин	f_1 , Гц	f_{22} , Гц	$f_{ш}$, Гц	f_k , Гц	$f_{5нар}$, Гц	$f_{5внут}$, Гц	$f_{5сеп}$, Гц	$f_{бнар}$, Гц	$f_{бвнут}$, Гц	$f_{бсеп}$, Гц
300	5	5	20	10	18	27	2	8	12	1
500	8,3	8,3	33,3	16,7	30	45	3,33	13,33	20	1,66
750	12,5	12,5	50	25	45	67,5	5	20	30	2,5

Примечание. Введены следующие обозначения возмущающих частот: электродвигателя f_1 , ведущего шкива ременной передачи f_{21} , ведомого шкива ременной передачи f_{22} , зубцовая шестерни $f_{ш}$, зубцовая колеса f_k , подшипника в опорах вал-шестерни от взаимодействия тел качения с наружным кольцом $f_{нар}$, с внутренним кольцом $f_{внут}$, с сепаратором $f_{сеп}$.

Таблица 2

Коэффициенты близости к резонансу

Измеренная частота, Гц	Возмущающая частота, Гц								
	1,667	3,333	8,333	13,333	16,667	20	30	33,33	45
8,371	5,022	2,512	1,005*	0,628	0,513	0,42	0,279	0,251	0,186
23,988	14,39	7,197	2,87	1,799	1,469	1,199*	0,80**	0,720	0,533
32,7	19,61	9,811	3,92	2,453	2,002	1,63	1,090*	0,981*	0,727
41,24	24,74	12,376	4,95	3,094	2,526	2,06	1,375	1,238**	0,917*
59,182	35,50	17,756	7,102	4,439	3,623	2,95	1,973	1,776	1,315
67,3	40,37	20,192	8,07	5,048	4,120	3,36	2,243	2,019	1,496
79,25	47,54	23,779	9,51	5,944	4,853	3,96	2,642	2,378	1,761
87,5	52,49	26,253	10,5	6,563	5,357	4,37	2,917	2,625	1,944
100	59,98	30,003	12,0	7,50	6,12	5,0	3,33	3,0	2,22
132,79	79,66	39,844	15,94	9,96	8,13	6,64	4,43	3,98	2,95

Примечание: *значения с недопустимым уровнем близости к резонансу; **совпадающие с частотами резонанса.

Таблица 3

Оценка динамического качества по коэффициентам близости к резонансу

Возмущающая частота	Частота вращения электродвигателя, об/мин											
	300				500				750			
	Недопустимая	Плохая	Сумма оценок	Близость к резонансу, %	Недопустимая	Плохая	Сумма оценок	Близость к резонансу, %	Недопустимая	Плохая	Сумма оценок	Близость к резонансу, %
f_1	0	0	0	0	6	1	7	0,556	12	2	14	1,01
f_{22}	0	0	0	0	6	1	7	1,496	12	2	14	1,01
f_3	3	0	3	0,641	14	6	20	4,273	16	16	32	2,309
f_4	1	2	3	0,641	3	3	6	1,282	10	5	15	1,082
$f_{5нар}$	2	3	5	1,068	18	1	19	4,059	22	3	25	1,804
$f_{5внут}$	3	2	5	1,068	20	1	21	4,487	21	1	22	1,587
$f_{5сеп}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_{6нар}$	2	1	3	0,641	8	1	9	1,923	7	4	11	0,793
$f_{6внут}$	3	1	4	0,855	2	3	5	1,068	11	1	12	0,866
$f_{6сеп}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

По рассчитанным коэффициентам близости к резонансу можно оценить динамическое качество элементов конструкции измельчителя.

В виду стохастичности процессов, происходящих при работе машин, анализ результатов вибродиагностики сводится к выявлению коэффициентов близости к резонансу частот, имеющих недопустимые и плохие оценки на определенных режимах работы машины, и расчет их количества в общем количестве замеров при определенной частоте вращения электродвигателя.

Результаты анализа для различных частот вращения электродвигателя представлены в табл. 3.

Согласно табл. 3, равной при частоте вращения электродвигателя привода измельчителя 300 об/мин, существенное влияние на уровень вибрации оказывают возмущающие частоты подшипниковых опор вал-шестерни. Возмущающие зубцовые частоты и частоты опор колеса вносят примерно одинаковое возмущение в систему, но оно значительно ниже возмущения от подшипниковых опор вал-шестерни.

При частоте вращения электродвигателя 500 об/мин существенное влияние на уровень вибрации оказывают возмущающие частоты подшипниковых опор вал-шестерни, а так же возмущающая зубцовая частота. По сравнению с этими возмущающими частотами, остальные возмущающие воздействия существенно меньше.

При частоте вращения электродвигателя 750 об/мин основное возмущающее воздействие в систему вносит возмущающая зубцовая частота вал-шестерни, воздействие подшипниковых опор вал-шестерни также велико.

По результатам исследований динамики привода видно, что на частоте вращения 500 об/мин наблюдаются нежелательные коэффициенты близости к резонансу при крутильных колебаниях (расчетная частота 29 Гц) вал-шестерни в подшипниковых опорах, как и при поперечных (расчетная частота 49 Гц) колебаниях в подшипниковых опорах вал-шестерни. На частоте вращения двигателя 750 об/мин коэффициенты

близости к резонансу в этих элементах принимают нежелательное значение на частотах 29 и 49 Гц.

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Подшипниковые опоры вал-шестерни и сама шестерня вносят значительные возмущения в упругую систему – необходимо изменить конструкцию опор и вал-шестерни.

2. Внести изменения в конструкцию измельчителя – усилить подшипники вал-шестерни, изменить передаточное отношение зубчатой передачи измельчителя и ременной передачи привода, провести подбор соотношения массы и моментов инерции шкивов.

Библиографические ссылки

1. Пат. № 2412006 Российская Федерация, МПК ВО2С 15/16. Измельчитель / В. А. Титов, заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU); опуб. 20.02.2011, Бюл № 5.

2. Пат. № 2424057 Российская Федерация, МПК ВО2С 15/16, 7/06. Измельчитель-кормопроизводитель / В. А. Титов, заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU); опуб. 20.07.2011, Бюл № 20.

3. Титов В. А., Колбасина Н. А. Геометрия оригинальной цилиндрической передачи внутреннего зацепления для измельчителя материалов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2011. № 3. С. 91–93.

4. Морозов Д. И., Колбасина Н. А., Титов В. А. Автоматизированное построение трехмерной параметрической модели для проектирования передачи внутреннего зацепления механизма измельчителя // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2010. № 3. С. 87–90.

5. Экспериментальный стенд на базе техники SIEMENS и технологий NATIONAL INSTRUMENTS для исследования измельчителя материалов / В. А. Титов, А. А. Рыбин, Ю. А. Пикалов и др. // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2011. № 1. С. 119–124.

6. Динамика машин. Анализ динамического качества механических приводов при проектировании : учеб. пособие / Г. Н. Лимаренко, А. Н. Щепин, М. П. Головин и др. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006.

7. А. с. о регистрации программы для ЭВМ № 2012612813 / Б. С. Каменецкий, Г. Н. Лимаренко, А. Н. Щепин ; заявитель и правообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU); дата рег. 21.03.2012.

A. N. Schepin, B. S. Kamenetskiy, G. N. Limarenko, V. A. Titov

ASSESSMENT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF DESINTEGRATOR WITH ORIGINAL TOOTH GEARING

The authors give an assessment of dynamic characteristics of a new universal grinder of agricultural raw materials and other materials based on an original tooth gearing.

Keywords: dynamics of machines, gear, vibration based diagnostics, grinder.

© Щепин А. Н., Каменецкий Б. С., Лимаренко Г. Н., Титов В. А., 2012

УДК 519.6+004.4:504.05

О. Э. Якубайлик

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Рассматриваются особенности, проблемы и задачи формирования информационной инфраструктуры системы экологического мониторинга, обсуждаются ее характеристики и программно-технологическая платформа. Приводятся примеры – система экологического мониторинга территорий в Красноярском крае и решение задач геоинформационного обеспечения экологического мониторинга особоохраняемых территорий с помощью технологий геопортала.

Ключевые слова: экологический мониторинг, геопортал, ГИС, геопространственные данные, веб-картография, веб-сервисы.

Эффективность мониторинга состояния окружающей природной среды в значительной степени определяется его информационно-аналитическим обеспечением. Чтобы успешно управлять территорией и рационально распоряжаться ее ресурсами, нужно хорошо представлять себе обобщенные характери-

сти ее состояния и иметь возможность в кратчайшие сроки в наглядной форме получать необходимые для принятия решений детальные сведения об объектах управления. Эти потребности могут быть обеспечены путем создания современной информационно-коммуникационной инфраструктуры экологического