DOI: 10.17117/na.2016.12.02.148

<http://ucom.ru/doc/na.2016.12.02.148.pdf>

Поступила (Received): 30.12.2016

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е. Анализ динамических свойств привода машины послойно-поверхностного фрезерования МТФ-14

Fomin K.V., Krylov K.S., Harlamov V.E.
Analysis of dynamic properties of drive of machine
layer-by-layer surface milling MTF-14

В статье представлены результаты анализа динамических свойств привода машины поверхностно-послойного фрезерования МТФ-14 с помощью аналитических и экспериментальных методов. Рассчитаны собственные частоты и формы колебаний с помощью специально разработанного программного обеспечения. Проведены стендовые исследования динамических свойств привода несколькими методами. Приведены результаты исследований в производственных условиях

Ключевые слова: машины поверхностно-послойного фрезерования, собственные частоты и формы колебаний, стендовые исследования

Фомин Константин Владимирович

Доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой
Тверской государственной технической
университет

г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22

Крылов Константин Станиславович

Кандидат технических наук, доцент
Тверской государственной технической
университет

г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22

Харламов Вячеслав Евгеньевич

Кандидат технических наук, доцент
Тверской государственной технической
университет

г. Тверь, Набережная Афанасия Никитина, 22

The article presents the results of the analysis of the dynamic properties of the machine drive surface-layer milling of MTF-14 through analytical and experimental methods. Calculated natural frequencies and mode shapes with the help of specially developed software. Conducted stand studies of the dynamic properties of the machine drive in several ways. The results of researches in production conditions

Key words: machine drive surface-layer milling, natural frequencies and mode shapes, stand studies of the dynamic properties

Fomin Konstantin Vladimirovich

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Head of Department
Tver state technical university

Tver, Afanasiy Nikitin embankment, 22

Krylov Konstantin Stanislavovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Tver state technical university

Tver, Afanasiy Nikitin embankment, 22

Harlamov Vyacheslav Evgenjevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Tver state technical university

Tver, Afanasiy Nikitin embankment, 22

В настоящее время при производстве фрезерного торфа широкое распространение нашли машины послойно-поверхностного фрезерования [1]. Они

обладают высокой производительностью и позволяют получать продукцию заданного качества.

Основной чертой этих машин является резко переменный, случайный характер сил сопротивления на рабочих органах [2, 3], которые вызывают значительные динамические нагрузки в элементах привода фрезерующего агрегата [4, 5], что приводит к его недостаточной надежности в процессе эксплуатации [6].

Для разработки мер по снижению нагрузок в трансмиссии машин послойно-поверхностного фрезерования необходимо знать ее динамические свойства. Для их определения могут быть применены как аналитические, так и экспериментальные методы.

Одной из важнейших задач в оценке динамических свойств механических систем, является определение собственных частот и форм колебаний на основе их динамических моделей [7, 8].

Структура динамической системы определяется кинематической схемой привода. Опыт, накопленный различными отраслями промышленности в области динамического анализа [5, 8] показывает, что привод машины послойно-поверхностного фрезерования может рассматриваться в виде колебательной системы с сосредоточенными параметрами (массами), соединенными невесомыми связями.

В результате такой схематизации ограничиваются анализом крутильных колебаний системы. Это упрощение оправдано тем, что кинетическая энергия масс в результате крутильных колебаний значительно больше, чем энергия при поступательном перемещении при изгибных и продольных колебаниях [8]. Кинематическая схема привода МТФ-14 и соответствующая ей эквивалентная динамическая схема привода представлены на рис. 1 и 2.

Рис. 1. Кинематическая схема привода фрезера МТФ-14 [1]

1 – карданный вал; 2 – предохранительная муфта; коническо-цилиндрический редуктор; 4 – центральная фреза; конечная фреза

Рис. 2. Эквивалентная динамическая схема привода МТФ-14

$I_1 \dots I_{13}$ – моменты инерции сосредоточенных масс; $C_1 \dots C_{12}$ – жесткости;
 $\beta_1 \dots \beta_{12}$ – коэффициенты демпфирования; M_d – момент двигателя;
 $M_6 \dots M_{13}$ – моменты сопротивления

После определения структуры расчетной динамической схемы были определены значения ее параметров, приведенные к валу двигателя, которые представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Параметры динамической системы привода
фрезерующего агрегата МТФ-14 (приведенные к валу двигателя)**

Номер элемента	Момент инерции, кгм ²	Жёсткость, Нм/рад
1	3,85	0,29.10 ⁴
2	0,096	0,1.10 ⁵
3	0,026	0,108.10 ⁴
4	0,017	0,369.10 ⁵
5	0,032	0,38.10 ³
6	0,066	0,38.10 ³
7	0,077	0,38.10 ³
8	0,077	0,38.10 ³
9	0,076	

Собственные частоты и формы колебаний определялись с помощью метода Толле [8] с использованием специально разработанного программного обеспечения. Результаты расчета представлены в таблице 2.

С целью проверки полученных результатов при расчете собственных частот и форм колебаний были проведены стендовые исследования динамических нагрузок в элементах привода фрезерующего агрегата несколькими методами [9, 10]. Во всех случаях производилось возбуждение колебательных процессов в приводе за счет различных типов внешнего возмущения (по крутящему моменту). Нагрузки в приводе оценивались путем замера моментов на валах с помощью методов тензометрирования.

**Таблица 2. Собственные частоты и формы колебаний привода
(в диапазоне от 0 до 800с^{-1} , угловая скорость фрезы $49,82\text{с}^{-1}$)**

Номер	Собственные частоты, с^{-1}					
	27,34	75,46	110,62	130,46	166,3	495,15
	Собственные частоты, Гц					
	4,35	12,01	17,61	20,77	26,48	78,84
1	-0,059	0,0221	-0,0483	0,0569	-1,076	$0,52 \cdot 10^5$
2	0,00807	-0,1965	0,6911	-1,095	37,56	$-0,16 \cdot 10^7$
3	0,000687	-0,2493	0,8244	-1,225	38,80	$0,17 \cdot 10^7$
4	0,00701	-0,2497	0,8254	-1,251	38,87	$0,17 \cdot 10^7$
5	0,01105	-0,2624	0,849	-1,268	-50,56	$0,21 \cdot 10^7$
6	0,207	-0,8135	1,596	-1,196	15,30	$-0,109 \cdot 10^6$
7	0,577	-1,1143	-0,305	2,484	15,30	$0,22 \cdot 10^4$
8	0,85	-0,1343	-1,447	-2,404	-4,527	$-0,48 \cdot 10^2$
9	1	1	1	1	1	1

В первом случае при проведении стендовых испытаний приводной вал механизма трансмиссии фрезера, соединенный с первичным валом трактора, стопорился тормозком муфты сцепления трактора. Фрезы загружались крутящим моментом с помощью специального рычага с грузом [9]. В этом случае нагружение и разгрузка механизма привода торфяного машинно-тракторного агрегата приводило к возбуждению колебательного процесса с частотами: $f = 0,9\text{ Гц}$; $f = 12,5\text{ Гц}$; $f = 62,5\text{ Гц}$; $f = 83,3\text{ Гц}$.

Во втором случае с целью исключения раскрытия зазоров в приводе в процессе собственных колебаний системы трансмиссия была нагружена постоянным моментом, создаваемым при помощи пружин разной жесткости, устанавливаемых между корпусом фрезера и рабочим органом [10]. Нагружение системы осуществлялось рычагом с грузом. Рычаг с грузом при помощи специальных кронштейнов крепился к штифтам крайних фрез и резко сбрасывался во время опыта. При этом в системе привода были выявлены следующие частоты колебаний: $f = 0,42\text{ Гц}$; $f = 16\text{ Гц}$; $f = 25\text{ Гц}$; $f = 28\text{ Гц}$; $f = 31\text{ Гц}$; $f = 72\text{ Гц}$; $f = 83\text{ Гц}$.

В третьем случае в приводе фрезерующего агрегата возбуждались крутильные колебания с помощью планетарного дебалансного вибровозбудителя, приводимого во вращение электродвигателем постоянного тока [10].

Изменение частоты вращения позволяло фиксировать резонансные частоты системы.

Наибольшее изменение нагрузки в 3 раза выше наблюдается при частоте вращения ведущего вала вибровозбудителя $n = 450...550\text{ об/мин}$, что соответствует частоте возбуждаемого процесса $f = 7,5...10\text{ Гц}$ и при частоте вращения вала вибровозбудителя $n = 700...1000\text{ об/мин}$ или $f = 12...17\text{ Гц}$.

Исследованиями в производственных условиях [6, 10] была получена информация о действительной нагруженности механизмов привода, которая позволила оценить режим нагружения и выявить на основе спектрального анализа частотный состав нагрузки в элементах привода фрезерующего агрегата МТФ-14. На графике нормированной спектральной плотности (рис. 3) можно выделить следующие характерные частоты: 5 Гц ; 12 Гц ; 15 Гц ; 18 Гц .

Рис. 3. Нормированная спектральная плотность момента на валу отбора мощности трактора фрезерного агрегата МТФ-14

Экспериментальные исследования динамических свойств привода фрезерующего агрегата МТФ-14 показывают удовлетворительную точность расчета собственных частот и форм колебаний с помощью существующих аналитических методов.

Полученные результаты могут быть в дальнейшем использованы для теоретического исследования динамических нагрузок в элементах привода машин послойно-поверхностного фрезерования [11, 12], решения задач выбора оптимальных параметров и режимов работы фрезерующих агрегатов с целью повышения их надежности [13-15].

Список используемых источников:

1. Солопов С.Г., Горцаколян Л.О., Самсонов Л.Н. Торфяные машины и комплексы. М.: Недра, 1981. 415 с.
2. Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Анализ характера нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства. 2001. С. 106-110.
3. Фомин К.В. Моделирование и анализ момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2000. Т. 2. С. 222-226.
4. Фомин К.В. Научные основы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов: Дисс....докт. техн. наук. Тверь, 2002. 330 с.
5. Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов. Тверь: ТГТУ, 2005. 168 с.
6. Харламов В.Е. Исследование нагруженности механизмов привода фрезерующих торфяных машин для повышения их надежности. Дисс...канд. техн. наук. Тверь, 1980. 145 с.
7. Ривин Е.И. Динамика привода станков. М.: Машиностроение, 1966. 204 с.
8. Маслов Г.С. Расчеты колебаний валов. М.: Машиностроение, 1980. 148 с.
9. Харламов В.Е., Крылов К.С. Амплитудно-частотные характеристики привода машино-тракторного агрегата // Технологии и управление: Проблемы, идеи, инновации. Тверь: Изд. Кондратьев А.Н., 2013.
10. Харламов В. Е., Фомин К. В., Крылов К. С., Морозихина И. К. Определение динамических параметров торфяного машинно-тракторного агрегата экспериментальным методом // Депонированная рукопись № 935/01-13 01.11.2012. 5 с.

11. Фомин К. В., Самсонов Л. Н. Методика анализа динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата // Вестник Тверского государственного технического университета. 2002. № 1. С. 10-14.
12. Фомин К. В. Моделирование и анализ динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2002. № 9. С. 189-191.
13. Фомин К. В. К вопросу о рациональной расстановке режущих элементов на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2002. № 1. С. 226-229.
14. Фомин К. В. Выбор оптимальных параметров рабочего органа с учетом динамических свойств привода торфяного фрезерующего агрегата // Вестник Тверского государственного технического университета. Тверь: ТГТУ, 2007. № 10. С. 139 – 143.
15. Фомин К.В. Методика выбора оптимальных параметров и режимов работы торфяных фрезерующих агрегатов // Труды Инсторфа. 2014. № 9 (62). С. 30-36.

© 2016, Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е.
Анализ динамических свойств привода машины
послойно-поверхностного фрезерования МТФ-14

© 2016, Fomin K.V., Krylov K.S., Harlamov V.E.
Analysis of dynamic properties of drive of machine
layer-by-layer surface milling MTF-14