

тельной погрешности направления оси сателлита

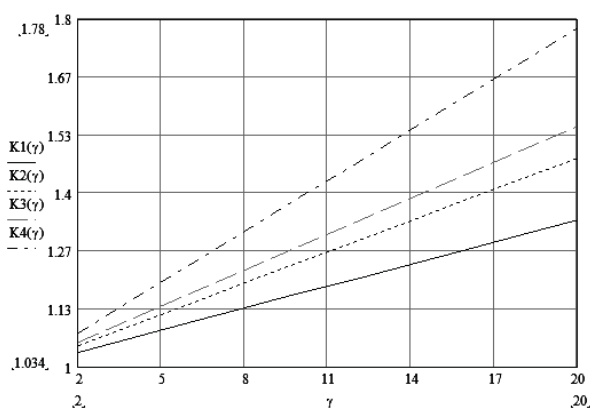
$$\gamma = \frac{\beta b_w E}{\omega_n} \quad (\omega_n - \text{средняя нормальная погонная нагрузка в зацеплениях колес) при } b = 0,4b_w.$$


Рис. 4. Зависимость коэффициента неравномерности распределения нагрузки по венцам сателлита от относительного угла перекоса оси сателлита с учетом податливости щек водила: ----- (1) – $\bar{a} = 1,1$; (2) – $\bar{a} = 1,2$; - - - - - (3) – $\bar{a} = 1,3$; - . - . - (4) – жесткое водило

Таким образом, использование в планетарных механизмах водила с податливыми щеками позволяет снизить коэффициент неравномерности распределения нагрузки по венцам сателлита на 17-35 %, следовательно, примерно на столько же повысить несущую способность привода.

Получено 07.11.2016

Экспериментальное исследование передачи подтвердило существенное положительное влияние податливости водила на распределение нагрузки как по отдельным венцам сателлита, так и по потокам мощности (рис. 5).

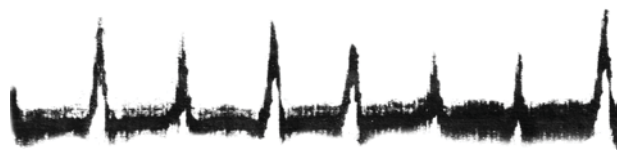


Рис. 5. Оциллограмма распределения нагрузки в зацеплениях колес планетарной передачи с податливым водилом

Коэффициент неравномерности распределения нагрузки по сателлитам снижается за счет деформативности щек водила на 10-15 %.

Библиографические ссылки

1. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н., Гинзбург Е. Г. Планетарные передачи : справочник. – Л. : Машиностроение, 1977. – 563 с.
2. Тимофеев Г. А., Самойлова М. В. Геометрико-кинематическое исследование комбинированного планетарно-волнового механизма // Вестник ИжГТУ им. Н. Э. Баумана. Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 70–80.
3. Патент № 256973, РФ, МПК F16H 1/48. Зубчатая планетарная передача / Ф. И. Плеханов, П. А. Сенюткин, А. Д. Плеханов (РФ). – Опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
4. Плеханов Ф. И., Овсянников А. В., Казаков И. А. Экспериментальное исследование деформативности элементов планетарной передачи // Сб. трудов науч.-техн. конф. ГИЭИ. – Глазов, 2010. – С. 76–78.

УДК 621.833

В. В. Бружас, аспирант, филиал Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Златоуст

Б. А. Лопатин, доктор технических наук, профессор, филиал Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Златоуст

Е. А. Полуэктов, кандидат технических наук, филиал Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Златоуст

РАЗРАБОТКА ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ

При оценке напряженно-деформированного состояния зубчатых передач возникает необходимость в получении твердотельных моделей, точно отражающих геометрию профилей зубьев, зависящих от параметров инструмента и траектории его перемещения.

Проведенный анализ существующих программных продуктов показал, что на настоящий момент не существует универсальных разработок, позволяющих произвести генерацию зубчатых колес сложной фор-

мы рабочих поверхностей зубьев [1, 2]. Указанные программные продукты представляют только графическое изображение зубчатого колеса, а библиотеки САД-систем представляют лишь упрощенное изображение, как правило, стандартного профиля.

Целью исследования являлась разработка твердотельных моделей, точно отражающих форму поверхностей зубьев, полученных при их профилировании режущим инструментом с различными параметрами исходного контура.

Получение моделей зубчатых колес

В основу получения рабочих поверхностей зубьев положен программный комплекс эмуляции нарезания зубчатого колеса производящим реечным контуром [3]. Разработанная программа позволяет реализовать процесс обработки цилиндрических зубчатых колес с различными параметрами исходного контура (α , h_a^* , h_f^* , c^* , ρ^*) и различными коэффициентами смещения x производящего реечного контура (рис. 1).

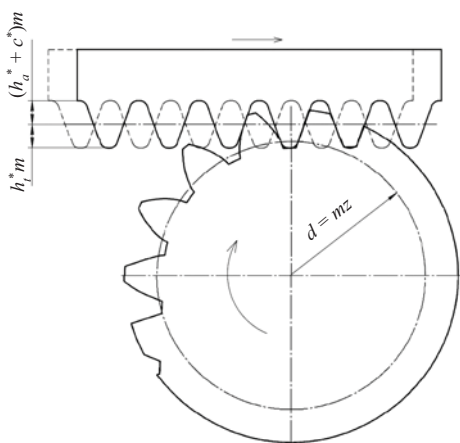


Рис. 1. Схема формирования профиля зубьев в торцовом сечении колеса

Для дальнейшего построения трехмерной модели используется программа Autodesk Inventor, с помощью которой на основе полученного профиля можно создать модели различных зубчатых колес.

Прямозубое и косозубое цилиндрическое зубчатое колесо

Для создания модели цилиндрического прямозубого зубчатого колеса (рис. 2) достаточно воспользоваться операцией выдавливания. В отличие от цилиндрического прямозубого зубчатого колеса, созданного стандартными средствами Autodesk Inventor (через *Мастер проектирования зубчатых колес*) профиль поверхностей зубьев полностью соответст-



Рис. 2. Цилиндрическое прямозубое зубчатое колесо

вует профилю, реально получаемому при обкатке реечным инструментом с заданными параметрами исходного контура.

В случае создания цилиндрического косозубого зубчатого колеса (рис. 3) выдавливание происходит не по прямой линии, а по винтовой. Для этого можно воспользоваться приложением *Пружина*. В этом приложении задаем форму в виде эскиза профиля полученного зуба и его положение относительно оси колеса. Угол наклона зуба колеса β задается через шаг винтовой линии и длину делительной окружности.

Эвольвентно-коническое зубчатое колесо

Твердотельные модели зубчатых колес с более сложной геометрией поверхностей зубьев можно создать сочетанием работы двух вышеописанных программных комплексов. Например, эвольвентно-конические колеса (рис. 4). Эвольвентно-коническое зубчатое колесо (ЭКК) – это колесо, нарезаемое инструментом реечного типа (зуборезная гребенка, червячная фреза, шлифовальный круг) с переменным вдоль оси колеса смещением инструмента [4]. Особенностью таких колес является то, что в каждом торцовом сечении получается профиль с определенным коэффициентом смещения, который изменяется в каждом сечении на величину

$$\Delta x = s \cdot \operatorname{tg} \delta / m,$$

где s – шаг; Δx – приращение коэффициента смещения; δ – угол конусности ЭКК; m – модуль.

Коэффициент радиального зазора:

$$c_t^* = c^* \frac{\cos \beta}{\cos \delta}.$$

Коэффициент высоты головки зуба инструмента:

$$h_{at}^* = h_a^* \frac{\cos \beta}{\cos \delta}.$$

Торцовый модуль:

$$m_t = \frac{m}{\cos \beta}.$$



Рис. 3. Цилиндрическое косозубое зубчатое колесо



Рис. 4. Эвольвентно-коническое зубчатое колесо

С помощью программы эмуляции профиля зуба инструментом реечного типа создаем ряд профилей с определенным шагом s вдоль оси колеса. В программе Inventor создаем рабочие плоскости на расстоянии друг от друга, равном шагу s , и копируем туда соответствующие профили. Твёрдотельную модель ЭКК получаем с помощью приложения *Лофт*.

Коническое колесо с неэвольвентным профилем зубьев

Такие колеса формируются на базе производящего эвольвентного колеса и используются в редукторах специального назначения.

Для построения модели используем программный комплекс «Расчет и анализ геометрии зацеплений цилиндрических зубчатых передач», созданный на кафедре технической механики филиала ЮУрГУ [5].

Данный комплекс состоит из нескольких модулей:

а) модуль для расчета координат точек боковой поверхности конического колеса с неэвольвентным

профилем зубьев, представляющий собой исполняемый ехе файл MS-DOS (KOORD.exe);

б) модуль для расчета коэффициентов смещения различных сечений неэвольвентного конического зубчатого колеса, представляющий собой исполняемый ехе файл MS-DOS (KOSM.exe);

в) модуль для подготовки данных по модификации профиля неэвольвентного конического зубчатого колеса, представляющий собой файл автоматизированного расчета и хранения данных приложения Microsoft Excel (MOD.xls);

г) модуль для расчета траектории движения фрезы, представляющий собой исполняемый ехе файл MS-DOS (FREZ.exe);

д) подробной инструкции по эксплуатации программного комплекса «Расчет и анализ геометрии зацеплений цилиндрических зубчатых передач», включающей пошаговое описание действий оператора автоматизированного рабочего места (представляет собой твердотельную копию и электронную версию в формате PDF).

Порядок построения твердотельной модели конического колеса с неэвольвентным профилем зубьев с параметрами $z = 38$, $m = 2$ мм, $\beta = 0^\circ$, $b = 5$ мм следующий.

1. С помощью модуля программного комплекса [6] рассчитываются параметры торцовых сечений колес через определенный шаг вдоль оси колес (см. табл.).

2. Используя комплекс эмуляции нарезания зубчатых колес производящим реечным контуром, формируем торцовые сечения зуба. При этом параметры исходного контура выбираем из таблицы для каждого значения w .

Перед формированием зубчатого колеса в программе Autodesk Inventor необходимо в каждом профиле формата AutoCAD выделить сегменты с одним зубом, как при построении цилиндрического косозубого колеса.

Параметры торцового сечения конического колеса

Аппликата сечения w	Коэф. смещения x_t	Средний радиус зуба r_1	Толщина зуба s	α_t	h_{ta}^*	h_{te}^*	c_t^*
0,0	2,584	42,517	2,815	19,887	1,006	2,012	0,252
0,5	2,556	42,447	2,853	19,865	1,007	2,015	0,252
1,0	2,525	42,377	2,886	19,841	1,009	2,017	0,252
1,5	2,491	42,307	2,912	19,815	1,010	2,020	0,253
2,0	2,453	42,236	2,934	19,788	1,012	2,023	0,253
2,5	2,414	42,166	2,951	19,759	1,013	2,027	0,253
3,0	2,371	42,096	2,964	19,728	1,015	2,030	0,254
3,5	2,325	42,026	2,972	19,695	1,017	2,034	0,254
4,0	2,278	41,955	2,977	19,660	1,019	2,038	0,255
4,5	2,229	41,885	2,978	19,624	1,021	2,042	0,255
5,0	2,178	41,815	2,976	19,586	1,023	2,046	0,256

В программе Inventor создаем эскизы торцового сечения зубьев на определенном расстоянии друг от друга вдоль оси колеса и вставляем в каждый свой сегмент.

С помощью приложения *Лофт* формируем твердотельный зуб, на котором, применяя массив, образуем коническое зубчатое колесо (рис. 5).



Рис. 5. Коническое колесо с неэвольвентным профилем зубьев

Получено 15.11.2016

Библиографические ссылки

1. Пат. № 6853 / Б. А. Лопатин, С. А. Хаустов. – 2006.
2. Лопатин Б. А., Цуканов О. Н., Полуэктов Е. А. Угловая регулировка электромеханических приводов в авиационно-космической промышленности // Вестник Машиностроения. – 2009. – № 2. – С. 14–16.
3. Пат. № 6853.
4. Лопатин Б. А., Цуканов О. Н. Эвольвентно-конические колеса : монография / ЮУрГУ. – Челябинск, 2005.
5. Св. о гос. регистрации пакета компьютерного программного обеспечения № 2009614819 / Б. А. Лопатин, С. А. Хаустов, Е. А. Полуэктов. – 2009.
6. Там же.

УДК 532.525.2:621.5

С. Н. Храмов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОННОГО ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВЫХЛОПНОМ ДИФFUЗОРЕ

Цилиндрические выхлопные диффузоры используются для имитации высотного давления при стендовых испытаниях ракетных двигателей [1]. Одной из задач, решаемых при подготовке стендового оборудования, является выбор конструктивных параметров диффузора, обеспечивающих заданные эксплуатационные характеристики выхлопного диффузора. Технической характеристикой выхлопного диффузора является разрежение, соответствующее расчетной высоте, характерной для испытываемого ракетного двигателя.

Обзоры методов расчета донного давления, например [2], показывают, что практически все они основаны на схеме Г. Корста [3] с разделительной линией тока. Положение этой линии определяется как профилем скорости в окружающем струю пограничном слое, так и условиями натекания струи на стенку диффузора. Сложные газодинамические процессы, сопровождающие распространение сверхзвуковой струи в диффузоре, предполагают либо экспериментальные методы определения донного давления, либо использование «тяжелых» программных пакетов типа ANSYS или Flow Vision [4]. К сожалению, оба подхода достаточно трудоемки, требуется значительное время для получения практических результатов.

Существенно ускорить получение исходных данных, необходимых для начала проектирования выхлопного диффузора для испытаний конкретного

ракетного двигателя, можно при использовании аналитических моделей, реализованных на простых программах типа Mathcad. Базовой для них является модель максимального диаметра начального участка недорасширенной сверхзвуковой струи [5]. Многочисленные эксперименты на различных рабочих телах показали, что линия максимальных диаметров начального участка сверхзвуковой недорасширенной струи может использоваться в качестве масштаба, определяющего характеристики диффузора [6]. Анализ моделей, определяющих течение в выхлопных диффузорах, приведен в [7].

Типичным приложением аналитической модели такого уровня является расчет донного давления при истечении сверхзвуковой недорасширенной струи в цилиндрический диффузор (рис. 1).

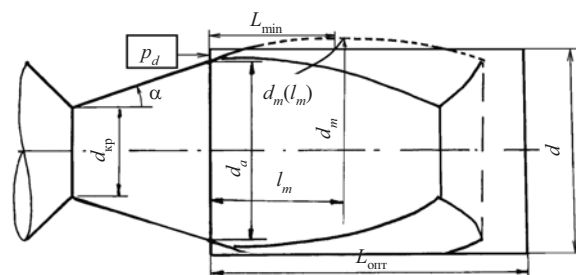


Рис. 1. Начальный участок струи в цилиндрическом диффузоре