

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЗУБЬЕВ ПЛОСКОКОЛЕСНЫХ ПЕРЕДАЧ

© 2007 Д. Б. Калашников

Филиал Южно-Уральского государственного университета, г. Златоуст

В статье рассматриваются плоскоколесная зубчатая передача, вопросы применения современных компьютерных технологий для расчета на прочность зубьев и решения задач исследования нагрузочных возможностей плоскоколесных передач. Разработана компьютерная программа для расчета и построения трехмерной модели плоского неэвольвентного колеса передачи. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния зубьев колеса с использованием универсального программного обеспечения, основанного на методе конечных элементов.

Введение

Плоскоколесная зубчатая передача является частным случаем цилинд्रो-конической передачи, когда угол между пересекающимися осями колес равен 90° . В этом случае коническое колесо вырождается в плоское колесо. Плоскоколесную передачу называют также ортогональной цилинд्रो-конической зубчатой передачей [2, 5]. Достоинством таких передач являются, прежде всего, их широкие компоновочные возможности, благодаря которым они нашли применение в трансмиссиях вертолетов, приводах и цепях обкатки станков, механизмах приборов, дифференциалах автомобилей и других механизмах. Одним из основных преимуществ плоскоколесных передач является возможность получения таких компоновочных схем приводов, которые не могут быть реализованы с помощью традиционных передач. Плоскоко-

лесные зубчатые передачи с успехом применяются в легкой промышленности, станкостроении, авиационной технике.

На рис. 1 приведена плоскоколесная передача электроперфоратора, а на рис. 2 – привод несущего винта вертолета.

Однако прочностные возможности таких передач исследованы недостаточно, что сдерживает их дальнейшее применение.

В связи с этим разработка новых и совершенствование существующих методов исследования прочностных возможностей плоскоколесных передач являются актуальными задачами, решение которых способствует значительному расширению области применения указанных передач.

Методика автоматизированного расчета на прочность

Поверхность зуба плоского колеса имеет сложную форму (рис. 3) [2]. Поэтому известные методы, применяемые для расчета на прочность цилинд्रो-конических зубчатых передач в данном случае неприменимы.

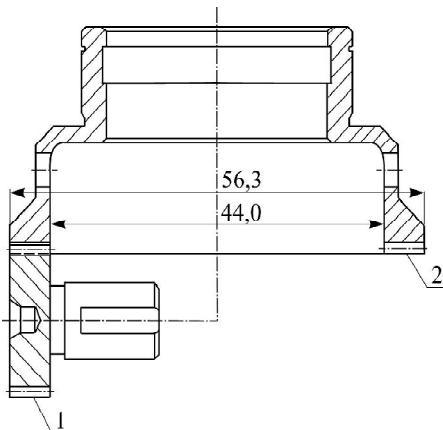


Рис. 1. Плоскоколесная передача электроперфоратора:
1 – эвольвентная шестерня;
2 – плоское неэвольвентное колесо

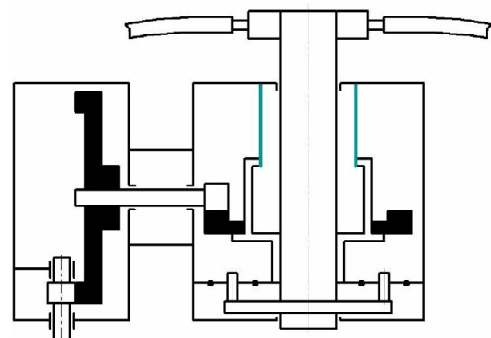


Рис. 2. Привод несущего винта вертолета

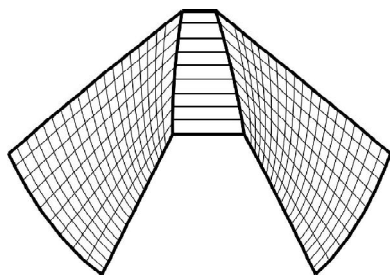


Рис. 3. Форма поверхности зуба плоского колеса

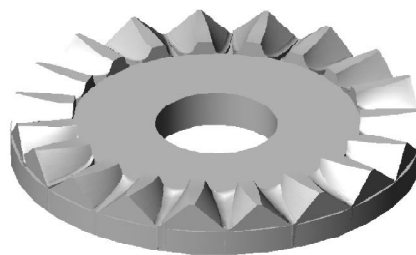


Рис. 4. Компьютерная модель неэвольвентного плоского колеса

Автоматизация расчета на прочность зубьев плоскоколесных передач сводится к компьютерному моделированию напряженно-деформированного состояния зубьев методом конечных элементов.

В связи с указанным обстоятельством для анализа напряженно-деформированного состояния зубьев плоского колеса используется его трехмерная компьютерная модель.

Задачами компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния являются:

- получение твердотельной компьютерной модели зуба плоского колеса после расчета зацепления и нахождения рациональной части области существования зацепления;
- получение расчетной схемы для проведения анализа (метод анализа, определение граничных условий, наложение зависимостей, приложение нагрузки);
- проведение анализа напряженно-деформированного состояния и определение величин деформаций, напряжений, мест с опасной концентрацией напряжений;
- выработка рекомендаций по оптимизации формы поверхности зубьев колеса.

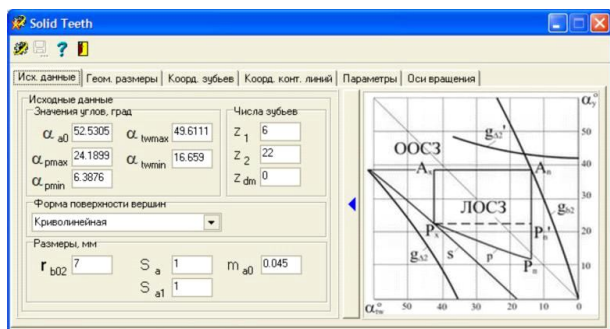
Построение компьютерной модели зуба производится после синтеза зацепления в обобщающих параметрах [1, 2, 5]. Получен-

ные на этапе синтеза значения обобщающих параметров зацепления и геометрических размеров колес используются в качестве исходных данных при расчете твердотельной модели зуба. Компьютерная модель неэвольвентного плоского колеса приведена на рис. 4.

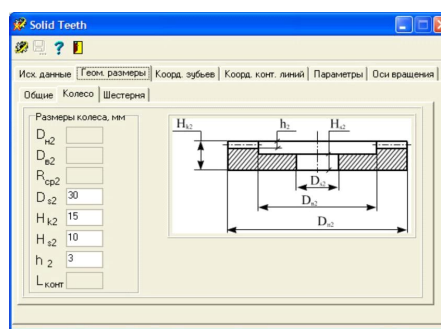
Для расчета и построения трехмерной модели зуба плоского колеса разработана компьютерная программа – “Solid Teeth” (свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 7351 от 08 декабря 2006 г.). Главное окно программы представлено на рис. 5 а, б.

После того, как введены исходные данные, строится модель зуба, используя концепцию COM (COM – Component Object Model, модель компонентных объектов). Технология COM, разработанная фирмой Microsoft, позволяет связывать между собой различные приложения. Программное обеспечение, построенное с использованием данной технологии, предоставляет описание своих компонентов и средств доступа к ним другим программам. Это дает возможность одним приложениям (приложениям-клиентам) использовать функции других приложений (приложений-серверов). В качестве COM-сервера была выбрана объектная модель AutoCAD [4].

Особенностью программы является то, что расчет координат точек поверхности зуба



а)



б)

Рис. 5. Главное окно компьютерной программы “Solid Teeth”

плоского колеса и заполнение массива выполняется средствами языка ObjectPascal, реализованного в среде разработки Delphi, а построение самой модели зуба в среде AutoCAD производится при помощи команд AutoCAD. Доступ к структуре объектов AutoCAD из под среды разработки Delphi осуществляется посредством импорта библиотеки типов `asax16enu.tlb`.

Результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния

После того, как в AutoCAD построена твердотельная модель зубьев колес передачи, происходит экспорт данной модели, используя формат IGS, в универсальную конечно-элементную CAD-систему. Наиболее известными представителями конечно-элементных программных продуктов являются COSMOSWorks, ANSYS, NASTRAN. Профессор Ф.Л. Литвин для решения исследовательских задач использует программную систему ABAQUS [3].

Концепция предложенного метода базируется на следующих основных положениях:

- с целью уменьшения размерности задачи, используя принцип симметрии, расчету на прочность была подвергнута твердотельная модель, состоящая из трех зубьев (рис. 6);

- не учитывается распределение нагрузки в зоне контакта. Расчет контактных и изгибных напряжений осуществляется на основании алгоритма универсальной компьютерной программы – конечно-элементной системы, используя величину момента, при-

ложенного к шестерне, либо величину нормальной силы, приложенной к зубу колеса;

- проектирование конечно-элементной модели осуществляется автоматически, используя уравнения зубчатых поверхностей и учитывая соответствующие переходные и кромочные участки.

Анализ напряженно-деформированного состояния был проведен для плоского колеса со следующими параметрами: число зубьев – 22, внутренний диаметр – 55,3 мм, наружный диаметр – 79,5 мм, модуль – 2,3 мм. Материал – сталь, плотность 7850 кг/м^3 , модуль Юнга $2,14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона 0,29. Нормальная сила в зацеплении 100 Н. Характеристики конечно-элементной модели: общее число элементов – 52 405, количество узлов – 76 469. На рис. 6 представлена конечно-элементная сетка, а на рис. 7 – эпюра напряжений по Мизесу.

Результаты расчета на прочность зубьев плоского колеса приведены в табл. 1.

Как видно из рис. 7, максимальные эквивалентные напряжения находятся у основания зуба на переходной кривой.

С использованием результатов компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния зубьев плоского колеса даются рекомендации по оптимизации формы переходной кривой, наиболее полно определяются условия эксплуатации передачи.

В большинстве случаев наиболее нагруженными будут зубья цилиндрической шестерни, расчет на прочность которой выполняется по известной методике для эвольвентных цилиндрических колес.

Можно составить расчетную схему из

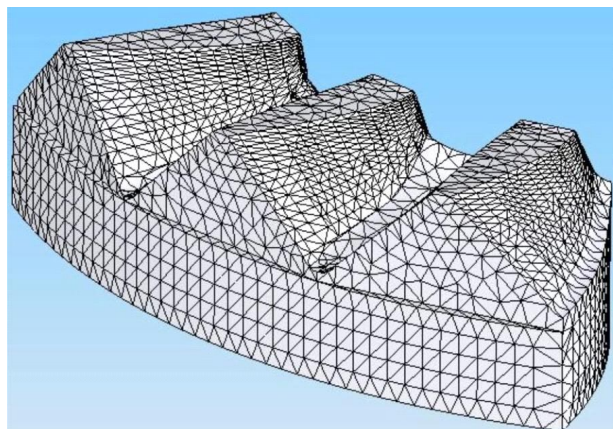


Рис. 6. Конечно-элементная сетка

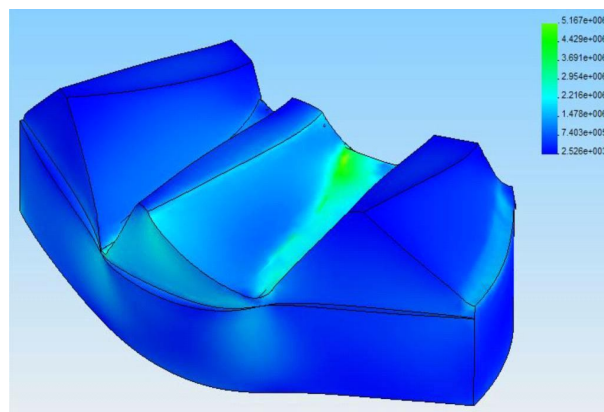


Рис. 7. Эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу, Н / м²

Таблица 1. Результаты расчета на прочность зубьев плоского колеса

Нормальная сила в зацеплении, Н	Главное напряжение σ_1 , Н / м ²	Главное напряжение σ_2 , Н / м ²	Главное напряжение σ_3 , Н / м ²	Максимальная деформация, м
100	$6,43 \cdot 10^6$	$1,71 \cdot 10^6$	$9,133 \cdot 10^5$	$2,225 \cdot 10^{-7}$

двух колес передачи. Для уменьшения размерности задачи рационально использовать не все зубья колес, а оставить для расчета на прочность по три зуба у каждого из колес передачи. В этом случае определяются не только эквивалентные, но и контактные напряжения. Такая расчетная схема позволит выполнять полностью автоматизированный комплексный расчет на прочность плоскоколесных зубчатых передач в наиболее удобной для пользователя конечно-элементной программной системе.

Заключение

Таким образом, применение современных компьютерных технологий для расчета на прочность зубьев плоскоколесных передач позволяет значительно снизить трудоемкость их прочностного расчета, повысить скорость и качество проектирования данного вида передач. Кроме того, использование формата AutoCAD предоставляет широкие возможности по графической обработке трехмерной модели зуба, а также возможность экспорта в другие приложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калашиников Д.Б.* Объектная модель AutoCAD в проектировании плоскоколесных зубчатых передач. Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2006): Материалы V Международной научно-практической конференции (10–10 ноября 2006 г.). Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. Ч. 1.
2. *Лопатин Б.А., Цуканов О.Н.* Цилиндроконические зубчатые передачи. Челябинск: ЮУрГУ, 2005.
3. *Литвин Ф.Л., Фуэнтеси А., Занзи К., Понтиджиа М.* Проектирование, формообразование и анализ напряженного состояния двух разновидностей плоскоколесных передач // Передачи и трансмиссии. 2004. №1.
4. *Полещук Н.Н.* AutoCAD 2004: разработка приложений и адаптация. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
5. *Цуканов О.Н., Лопатин Б.А., Калашиников Д.Б.* Проектирование ортогональных цилиндрико-конических зубчатых передач в обобщающих параметрах // Теория и практика зубчатых передач: Сборник докладов научно-технической конференции. Ижевск: ИжГТУ, 2004.

APPLICATION OF THE MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES FOR STRENGTH ANALYSIS OF FACE-GEAR DRIVES

© 2007 D.B. Kalashnikov

Branch of South Ural State University, Zlatoust

In a paper face-gear drives, questions of application of the modern computer technologies for strength analysis and problem solvings of research of loading opportunities face-gear drives are considered. The computer program for calculation and construction of three-dimensional model of a not involute face-gear drives is developed. The stress analysis of face-gear drives with use of the universal software based on a finite element method is executed.