

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В.В. Бружас, Б.А. Лопатин

По результатам проведенных исследований в трех программах КОМПАС-3D, SolidWorks, Autodesk Inventor, рассчитаны напряжения изгиба зубьев цилиндрического зубчатого колеса, установлены отклонения между полученными результатами в программах и по теоретическим формулам. В системе Autodesk Inventor произведена оценка напряженно-деформированного состояния цилиндрической зубчатой передачи.

Ключевые слова: зубчатое колесо; напряженно-деформированное состояние; напряжение изгиба; САD система.

Напряженно-деформированное состояние - совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на неё внешних нагрузок, температурных полей и других факторов. Напряженно-деформированное состояние определяется расчётными и экспериментальными методами в виде распределения напряжений, деформаций и перемещений в конструкции и является основанием для оценки статической прочности и ресурса конструкций на всех этапах жизненного цикла [1].

Проблема исследования напряженно-деформированного состояния зубчатых передач со сложной геометрической формой рабочих поверхностей зубьев заключается в отсутствии для них расчетных методов. К таким передачам, например, можно отнести цилиндрические передачи внутреннего зацепления, в которых рабочая поверхность зубьев конической шестерни неэвольвентная. Такие передачи нашли применение в планетарных редукторах приводов специального назначения [2]. Оценивать напряженно-деформированное состояние таких передач целесообразно с помощью метода конечных элементов. В настоящее время для моделирования напряженно-деформированного состояния распространение получили следующие САD системы: КОМПАС-3D, SolidWorks, Autodesk Inventor. Критерии для выбора САD системы: точность расчета, доступность, простота использования. Проведем на примере прямозубого цилиндрического зубчатого колеса, сравнение результатов полученных в САD системах и расчетным методом. Для этой задачи выберем прямозубое цилиндрическое колесо со следующими параметрами: $z_1=30$; $m=5$; $b=30$; $x=0$. Рассчитаем напряжения изгиба расчетным методом и с использованием данных САD систем и сведем полученные результаты в таблицу. Расчетная схема нагружения зуба приведена на рис. 1.

Посчитаем расчетным методом изгибные напряжения [3]:

$$\sigma_F = Y_F \cdot \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot K_F \quad (1)$$

где F_t – окружная сила, H (принимается при расчете равной $1700H$);

b и m – ширина и модуль зубчатого колеса или шестерни, мм;

Y_F – коэффициент формы зуба – величина безразмерная, зависящая от числа зубьев и коэффициента смещения x ($Y_F=4$ стр.45 [3]);

K_F – коэффициент нагрузки при расчете на изгиб. (при расчете одного зуба принимается равным 1). Тогда на изгиб:

$$\sigma_F = 4,0 \cdot \frac{1700}{5 \cdot 30} \cdot 1 = 45,33 \text{ МПа}$$

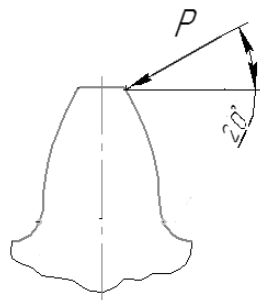


Рис. 1. Расчетная схема

Произведем оценку напряжений изгиба в CAD системах. Сформируем твердотельные модели зубчатых колес и с помощью функции прочностного анализа встроенного в данные системы и оценим напряжение изгиба зуба. Для формирования профиля зуба используется программа «Эмуляция нарезания зубчатых колес», разработанная на кафедре технической механики. Данная программа является сторонним приложением для AutoCAD. В программе задаются параметры нарезаемого колеса и параметры режущего инструмента представленные в табл. 1. Программа формирует профиль зубчатого колеса, схема которого показана на рис. 2. Импортировав профиль зубчатого колеса в каждую из CAD систем, сформируем твердотельную модель колеса.

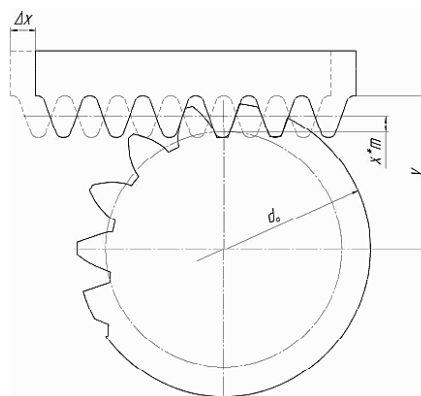


Рис. 2. Схема формирования профиля зубьев

Таблица 1

Параметры нарезаемого колеса и параметры режущего инструмента

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Параметры нарезаемого зубчатого колеса		
Число зубьев зубчатого колеса	z	30
Диаметр вершин зубьев зубчатого колеса	d_a	160
Коэффициент смещение инструмента	x	0
Параметры режущего инструмента		
Модуль зубчатого колеса	m	5
Коэффициент вершины высоты зуба в долях модуля	h_a^*	1
Коэффициент высоты зуба в долях модуля	h_1^*	2
Коэффициент радиального зазора в долях модуля	c^*	0,25
Угол зацепления	α^o	20
Радиус скругления в долях модуля	ρ^*	0,38
Толщина зуба по делительной прямой в долях модуля	s^*	1,5708

Получив твердотельную модель зубчатого колеса, был проведен анализ напряженно-деформированного состояния. Результаты, выполненные в САД системах, показаны на рисунке (рис. 3–5).

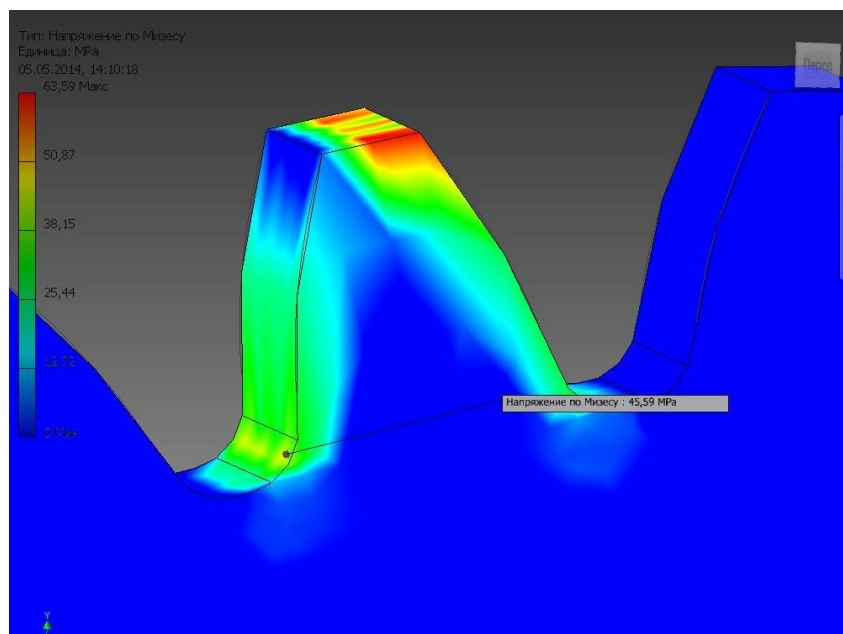


Рис. 3. Напряжения изгиба в Autodesk Inventor

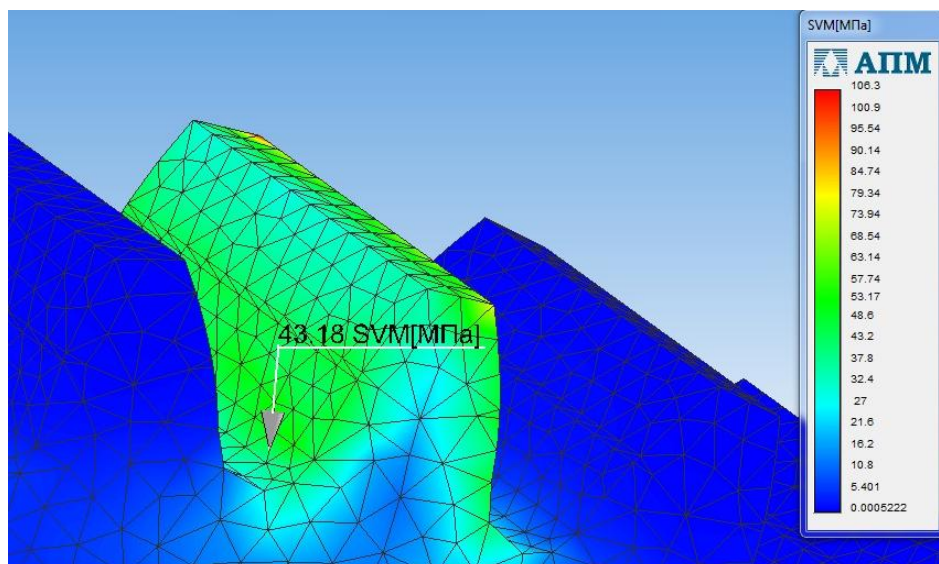


Рис. 4. Напряжения изгиба в КОМПАС-3D

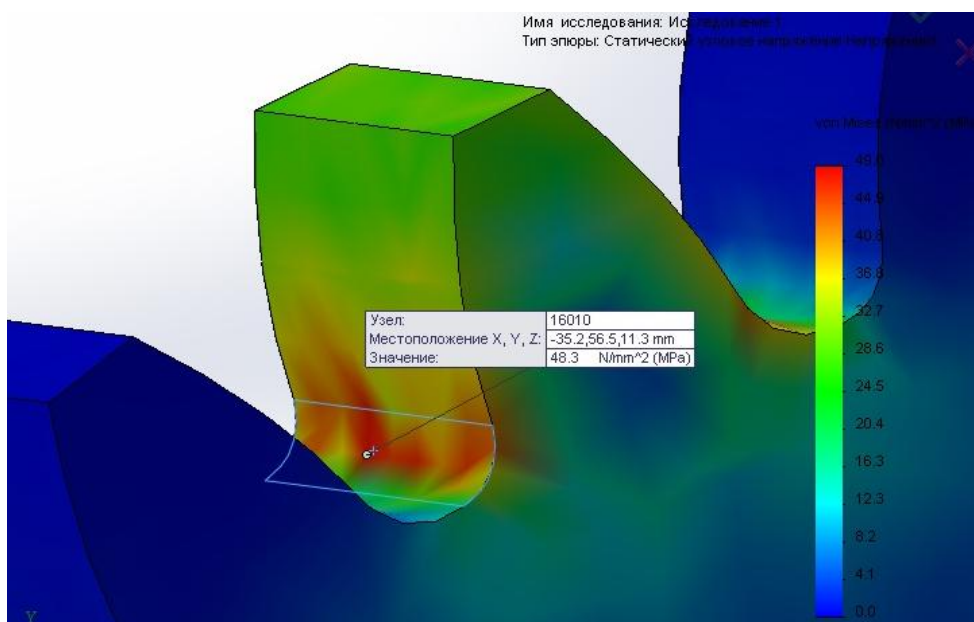


Рис. 5. Напряжения изгиба в SolidWorks

Сведем полученные результаты в таблицу (табл. 2.) и посчитаем отклонения вычислений между расчетным методом и CAD системами.

Таблица 2

Результаты расчета изгибных напряжений

Расчетным методом в МПа	Autodesk Inventor, МПа	Отклонения Inventor, %	Компас-3D, МПа	Отклонения Компас-3D, %	SolidWorks, МПа	Отклонения SolidWorks, %
45,33	45,59	1	43,18	4,8	48,3	6,5

Анализ результатов показывает, наименьшие отклонения обладает САД система Autodesk Inventor.

Используя Autodesk Inventor, оценим напряженно-деформированное состояние цилиндрической зубчатой передачи в зоне однопарного зацепления. Передача составлена из двух одинаковых колес с параметрами указанными в таблице 1, использованными ранее. К одному из колес приложим момент равный $240 \text{ Н} \cdot \text{м}$, второе колесо остается неподвижным, результаты напряженно-деформированного состояния показаны на рис. 7.

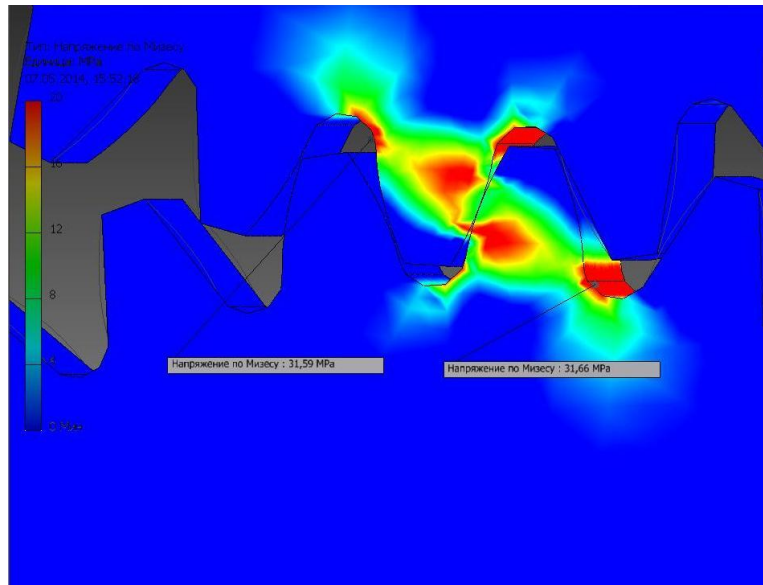


Рис. 7. Напряженно-деформированное состояние зубьев в зубчатой передаче

Рассмотрим эту же задачу на примере одного колеса, сила прикладывается к зоне однопарного зацепления, величина силы составляет 1700 Н , что соответствует ранее прикладываемому моменту, результаты нагружения показаны на рис. 8.

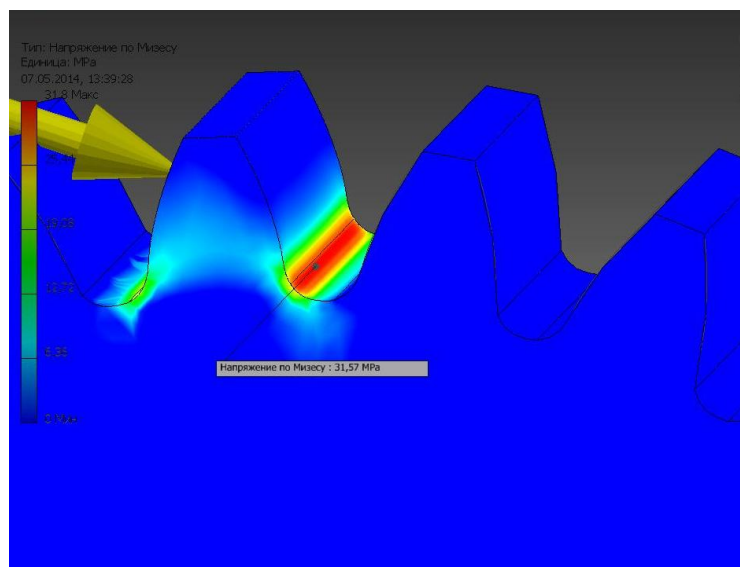


Рис. 8. Напряженно-деформированное состояние зуба колеса

Анализ нагруженности показывает, что результаты идентичны.

В дальнейшем данный подход будет использоваться для оценки напряженно-деформированного состояния передач сложной геометрии рабочих поверхностей [4].

Библиографический список

1. Свищев, Г.П. Авиация: Энциклопедия/ под ред. Г.П. Свищева. – М.: БРЭ, 1994. - 736 с.
2. Лопатин, Б.А. Цилиндро-конические зубчатые передачи: монография / Б.А. Лопатин, О.Н. Цуканов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 200 с.
3. Андреев, В.И. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование: Учебное пособие / В.И. Андреев, И.В. Павлова. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 352 с.
4. Плотникова, С.В. Разработка твёрдотельных моделей зубчатых колёс различной геометрии / С.В. Плотникова, И.В. Мурзина. – Статья в настоящем сборнике.