РАЗДЕЛ XXII. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Веретенников А.Н., Турченков Д.А., Рогов Р.А., Лоскутов А.С.

Моделирование и прочностной анализ элементов редуктора

*ФГКВОУ ВО "Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина"
(Россия, Воронеж)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2021-96

Аннотация

В статье рассмотрены некоторые вопросы и проблемы изучения технических дисциплин в высшем учебном заведении. С помощью современных систем автоматизированного проектирования созданы и рассчитаны 3D-модели деталей, узлов и механизмов используемые в учебном процессе.

Ключевые слова: проектирование, САПР, 3D-модель, редуктор, детали машин, прочностной анализ, внутренние усилия.

Изучение и преподавание достаточно сложных, но в то же время интересных технических дисциплин в современных условиях постоянно изменяющихся стандартов образования – задача, требующая многогранного подхода, как со стороны обучаемого, у которого должно быть желание и включенность в процесс обучения, так и со стороны педагога, квалификация и педагогическое мастерство которого должны быть на высоком уровне.

Такая дисциплина большинства учебных планов инженерных специальностей как «Детали машин» по сути является прикладной, и в ходе различного вида занятий преподаватель может использовать различные наглядные пособия. К примеру, валы, различные механические передачи (зубчатые, червячные, ременные и т.д.), многочисленные разъемные соединения и их элементы, и многие другие обучаемый может не просто поддержать в руках, рассмотреть практически со всех сторон, но и собрать (при определенных условиях) в механизм, провести измерение геометрических и кинематических параметров, выполнить по изложенным в литературе формулам ряд расчетов, как правило, на прочность, долговечность, определить коэффициент запаса прочности.

Однако, такая дисциплина как «Сопротивление материалов» в большей степени является теоретической основой расчета прикладных задач, в ней, с учетом ряда гипотез, допущений и упрощений, рассматриваются именно методы расчета моделей различных реальных элементов конструкций на прочность, жесткость, устойчивость. Само название дисциплины говорит, что изучаются внутренние усилия/взаимодействия между частичками твердого тела, к которому приложены разные виды внешних нагрузок. т.е. именно внутренние усилия противостоят внешним и препятствуют появлению негативных и нежелательных явлений – разрушение, появление чрезмерных деформаций и т.д. – говорят «материал сопротивляется». Доступно объяснить и наглядно показать это достаточно проблематично.

Тут на помощь преподавателю и обучаемому приходят современные компьютерные технологии – системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие смоделировать как сам изучаемый объект, так разные виды внешних нагрузок, действующих на него, в последующем произвести расчет не только так называемого «опасного сечения», а элемента или их совокупности в целом, а также отобразить результаты расчета в доступном и понятном виде.

Целью работы являлось получение навыков моделирования элементов конструкции различных механизмов и машин.

- В ходе работы предстояло выполнить несколько важных этапов: Изучить имеющуюся документацию на предложенный механизм;
- Произвести его детализацию;
- Изучить возможности САПР «Компас-3 D»;
- Создать модели деталей редуктора с использованием встроенных библиотек САПР
- Выполнить расчеты деталей и узлов редуктора с помощью встроенных библиотек САПР;
- Проанализировать результаты и предложить возможные пути модернизации.

В качестве объекта моделирования был выбран двухступенчатый цилиндрический косозубый редуктор, чертеж которого был взят из атласа чертежей. Поскольку спецификация к данному чертежу отсутствовала, обучаемые сами произвели его детализацию.

Для построения моделей валов и зубчатых колес редуктора использовалась встроенная библиотека КОМПАС-Shaft 3D. Эта библиотека позволяет с легкостью создавать простые конструктивные элементы валов и зубчатых колес. Геометрический расчет зацепления зубчатых колес производился в интегрированной библиотеке КОМПАС-GEARS.

Так, при создании модели тихоходного вала достаточно указать базовую плоскость и ввести значения длины и диаметра ступени вала, с последующим повторением (при необходимости). Библиотека Shaft 3D позволяет автоматически создавать разъемные соединения на валах, в данном случае для построения шпоночного паза указывали участок и из стандартной библиотеки выбирали вид шпонки и ее длину.

Для построения вала-шестерни указывали базовую плоскость построения зубьев шестерни и в открывшейся библиотеке КОМПАС-GEARS выбирали «Геометрический расчет», вводили необходимые параметры и выполняли расчет. Также эта библиотека позволяет осуществлять прочностные расчеты зубчатых передач. Для этого в новом окне необходимо было внести несколько исходных величин, выбрать материалы зубчатых колес и запустить расчет. Результаты проведенных расчетов выводятся в виде таблиц в отдельные файлы – все расчетные параметры в норму.

Построение венца зубчатого колеса производилось аналогичным образом. Для облегчения колеса вводились параметры кольцевых пазов и кольцевых отверстий.

Выполнение прочностных расчетов элементов редуктора проводилось во встроенном приложении APM FEM – Система прочностного анализа.

Это приложение предназначено для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов и визуализации результатов этих расчетов.

Результатами расчетов являются цветные карты распределения различных параметров и величин по исследуемому объекту.

Для выполнения прочностных расчетов необходимо было знать усилия, действующие на отдельные детали.

По исходным данным с имеющегося чертежа определены ряд необходимых величин: окружная сила $F_t=10,55$ кН, радиальная сила $F_r=3,84$ кН, осевая сила $F_a=1,74$ кН.

При расчете на прочность зубчатого колеса первой ступени указывалась опорная поверхность – внутренняя поверхность ступицы колеса, контактирующая с валом.

К одному из зубьев прикладывались усилия радиальное F_r , осевое F_a , и окружное F_t , рассчитанные ранее. Производилась генерация сетки конечных элементов и выполнялся статический расчет.

После этого формируем отчет – цветовую карту распределения эквивалентных напряжений по 4-ой гипотезе прочности (рисунок 1). Видно, что наиболее напряженным участком является нагруженный усилиями зуб колеса.

Рисунок 1 – Карта распределения эквивалентных напряжений

Из карты перемещений (рисунок 2) видно, что нагруженный усилиями зуб колеса перемещается на 0,02 мм (при условии жесткого, неподвижного закрепления ступицы).

Рисунок 2 – Карта суммарных перемещений

Коэффициент запаса по текучести для нагруженного усилиями зуба колеса (рисунок 3 а) более 7, коэффициент запаса по прочности - более 12 (рисунок 3 б), по усталости - более 7,7 (рисунок 4).

а – по текучести; б – по прочности
Рисунок 3 – Карты коэффициентов запаса

Рисунок 4 – Карта коэффициента запаса по усталости

Из цветовых карт главных напряжений прослеживается связь с теорией, видно области сжатия и растяжения в корневых участках нагруженного зуба.

σ_1 : $-12,5 \dots +42,7$ МПа σ_2 : $-17,7 \dots +15,9$ МПа σ_3 : $-48,7 \dots +9$ МПа

Рисунок 5 – Карты главных напряжений

Произведена сборка смоделированных элементов редуктора (рисунок 6).

Рисунок 6 – Сборка редуктора

Возможные пути модернизации, судя по расчетам, – можно снизить массу зубчатого колеса за счет уменьшения размеров слабонагруженных его элементов – ступицы, диска.

Кроме того, из-за наличия шпоночного паза желательно произвести балансировку колеса.

Прочностной анализ нагруженных элементов конструкций с применением современных компьютерных технологий позволяет достаточно быстро получить наглядную информацию о внутренних усилиях в элементе, выявить наиболее опасные зоны, понять какими путями можно усилить конструкцию. Использование САПР в

процессе обучения значительно облегчает и ускоряет понимание сути различных видов нагружения, и позволяет наглядно это демонстрировать.

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин Учебник. – Москва: Высшая школа, 2008. - 410 с.
2. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для студ. техн. спец. вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 496 с.
3. Ефремов Г. В. Инженерная и компьютерная графика на базе графических систем : учебное пособие для вузов / Г. В. Ефремов, С. И. Ньюкалова. - Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 256 с.
4. Большаков В. П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D : Учебное пособие / БХВ-Петербург, 2010. - 496 с.
5. Современные системы САПР в изучении технических дисциплин [Текст] / Веретенников А.Н., Турченков Д.А., Рогов Р.А., Лоскутов А.С., Котенев М.А. // Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов, по материалам XIV международной научно-практической конференции 10 апреля 2019 г. Часть 4 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2019. – Екатеринбург, 2019. – С. 57 – 60.