

MathCAD, выражение (1) можно представить в виде следующей пользовательской функции *Cross*:

$$Cross(\vec{r}_A, \vec{r}_B, \vec{r}_C, \vec{r}_D) = \frac{(\vec{r}_B - \vec{r}_A)((\vec{r}_D \times \vec{r}_C)\vec{e}_Z) - (\vec{r}_D - \vec{r}_C)((\vec{r}_B \times \vec{r}_A)\vec{e}_Z)}{(\vec{r}_D - \vec{r}_C) \times (\vec{r}_B - \vec{r}_A)\vec{e}_Z}. \quad (2)$$

Для данной функции входными параметрами будут являться радиус-векторы точек шарниров двух звеньев рычажного механизма, а выходным – рассчитанный радиус-вектор особой точки. Используя трижды указанную функцию (2), находим положение радиус-векторов трех особых точек для рассматриваемого рычажного механизма:

$$\begin{aligned} \vec{S}_1(\varphi) &= Cross(\vec{A}(\varphi), \vec{B}(\varphi), \vec{F}, \vec{C}(\varphi)); \quad \vec{S}_2(\varphi) = Cross(\vec{E}, \vec{D}(\varphi), \vec{F}, \vec{C}(\varphi)); \\ \vec{S}_3(\varphi) &= Cross(\vec{A}(\varphi), \vec{B}(\varphi), \vec{E}, \vec{D}(\varphi)). \end{aligned}$$

Предложенный аналитический способ позволяет доступно и наглядно определять положение особых точек группы Ассура III класса. Данный способ легко поддается формализации и алгоритмизации с применением математических пакетов (MathCAD, Maple, Mathematica и др.) и может найти свое применение для решения 2-й и 3-й задачи кинематического, а также динамического анализа механизма.

Литература

1. Артоболевский, И. И. Теория механизма и машин : учебник / И. И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1988 г. – М. : Транспорт. компания, 2023. – 640 с.
2. Кошель, С. А. Определение ускорений точек сложных плоских механизмов графоаналитическим способом / С. А. Кошель, А. В. Кошель // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2015. – № 2 (29). – С. 55–62.
3. Кіницький, Я. Т. Аналітичне дослідження кінематики механізмів III класу з використанням системи MathCAD / Я. Т. Кіницький, М. В. Марченко, В. О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 6 (207). – С. 7–10.
4. Мацюк, И. Н. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов высоких классов в программе MathCAD / И. Н. Мацюк, В. М. Третьяков, Э. М. Шляхов // Теория механизмов и машин. – 2012. – Т. 10, № 1 (19). – С. 65–70.
5. Корн, Г. А. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения. Теоремы. Формулы / Г. Корн, Т. Корн ; [пер. И. Г. Арамановича (ред. пер.) и др.]. – 6-е изд., стер. – СПб. [и др.] : Лань, 2003. – 831 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

А. Р. Рахматулаев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. И. Прач

Системы автоматизированного проектирования (САПР) – это незаменимый инструмент в различных областях науки, техники и образования, предназначенный для создания, редактирования, анализа и оптимизации проектов. Системы AutoCAD, Bricscad, Autodesk Inventor, SolidWorks, SolidEdge, Компас-3D, T-FLEX, PTC Creo, NX и другие пользуются осо-

бой популярностью в преподавании, научных исследованиях и промышленности. В образовательном процессе, при выполнении курсового проектирования по курсам «Детали машин», «Прикладная механика» САПР, применяются для проектирования и построения чертежей деталей машин, в частности, конических зубчатых колес.

Ключевые слова: САПР, проектирование, коническое зубчатое колесо, качество, производительность.

Рассматривая такую предметную область как инженерную и компьютерную графику в САД средах, необходимо стремиться к тому, чтобы выполнять операции наиболее оптимальным способом с минимальными трудозатратами.

Целью данной работы является анализ основных систем автоматизированного проектирования в области машиностроения, используемые в образовательном процессе. А также приведен пример проектирования конических зубчатых колес.

К легкой системе САПР, предназначенной для 2D-проектирования и черчения, а также для создания отдельных трехмерных моделей без возможности работы со сборочными единицами, относят AutoCAD.

Достоинства системы AutoCAD: широкие возможности (программа предоставляет обширный набор инструментов для создания детализированных и точных чертежей и моделей); признанный стандарт (AutoCAD является индустриальным стандартом в области САД, что делает его знание и умение работы с ним востребованным на рынке труда); регулярные обновления; поддержка и обучение.

Недостатки системы AutoCAD: стоимость; сложность освоения; высокие системные требования.

К САПР среднего уровня относят программы для 3D-моделирования изделий, проведения расчетов, автоматизации проектирования электрических, гидравлических и прочих вспомогательных систем. Являются наиболее популярными и доступными для освоения и использования. К ним можно отнести Autodesk Inventor – профессиональный комплекс для трехмерного проектирования промышленных изделий и выпуска документации. В Autodesk Inventor зубчатые колеса проектируются с помощью генераторов компонентов. То есть перед тем, как проектировать зубчатое колесо в Инвенторе, пользователь должен определиться с задачей, которую нужно решить. Генератор компонентов передачи выполняет следующие операции:

- произвести расчет геометрических и прочностных характеристик зубчатых зацеплений;
- вставить в сборку модель только одного или сразу двух зубчатых колес одного зацепления;
- добавить элемент зубчатого венца к существующей детали.

Другими словами, можно использовать генератор как исключительно расчетную систему или как средство для проектирования и построения трехмерных моделей шестерен.

Другой программой среднего уровня является Компас-3D. Это система параметрического моделирования деталей и сборок, используемая в областях машиностроения, приборостроения и строительства. Преимущества системы: простой и понятный интерфейс; использование трехмерного ядра собственной разработки (С3D); полная поддержка ГОСТ и ЕСКД при проектировании и оформлении документации; большой набор надстроек для проектирования отдельных разделов проекта.

Также были рассмотрены схожие по уровню программы SolidWorks, T-FLEX. Зубчатые передачи, которые можно использовать как в общем машиностроении,

так и в высокотехнологичных отраслях – авиастроении, двигателестроении, судостроении, космической отрасли, приборостроении и др., а также проводить любые расчеты, в том числе высокой сложности. 3D-модели зубчатых колес и зацеплений, создаваемые в этих программах, отличаются высокой точностью геометрии. Таким образом, можно получить не просто шестерню или зацепление с качественной визуализацией, а готовое изделие, пригодное для 3D-печати и производства на станке с ЧПУ, содержащее всю необходимую сопроводительную документацию. Кроме того, точная геометрия полученных 3D-моделей позволяет выполнять прочностные расчеты и анализ движения.

Таким образом, в ходе проведенного анализа основных систем автоматизированного проектирования, можно сделать вывод, что применительно поставленных задач, при выполнении курсового проектирования, наиболее простыми и удобными для освоения и использования, являются программы среднего уровня.

Рассмотрим пример проектирования конической зубчатой шестеренки с использованием Компас-3D.

1. При выполнении курсового проекта, был произведен расчет основных геометрических параметров зубчатого колеса:

- наружный диаметр зубчатого колеса: $d_{ae} = 211$ мм;
- количество зубьев: шестерни $z_1 = 23$, колеса $z_2 = 75$;
- ширина зубчатого венца: $b = 28$ мм;
- внешний окружной модуль: $m_{te} = 2,8$ мм.

2. С помощью Компас-3D выполняем последовательно операции:

- на главной странице программы выбираем пункт Создать чертеж;
- в разделе Приложения выбираем Механика → Валы и механические передачи 2D → Построение модели;
- выбираем Создать модель и далее Без разреза, указываем место на листе, где чертить модель;
- в появившемся окне выбираем Элементы механических передач → Шестерни и рейки → Коническая шестерня с прямыми зубьями;
- выбираем Запуск расчета → Геометрический расчет → По диаметрам вершин зубьев;
- в появившемся окне заполняем количество зубьев, внешний окружной модуль и ширина зубчатого венца (рис. 1);
- в окне Страница 2 (рис. 1) выбираем Расчет → Закончить расчет, выбираем объект построения, жмем галочку ОК.

Появляется чертеж нашей шестерни (рис. 2).

При необходимости построения трехмерной модели с целью дальнейшего конструирования, пользуемся командой Генерация твердотельной модели и в новом окне получаем 3D-модель проектируемой шестерни (рис. 3). Далее возможны различные манипуляции с ней.

Геометрический расчёт

Страница 1 Страница 2 Предмет расчёта

Наименование и обозначение параметра	Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Число зубьев	z_1, z_2	28 75
2. Внешний окружной модуль, мм	m_e	2.8
3. Межосевой угол передачи	Σ	90 ° 0 ' 0 "
4. Угол профиля зуба исходного контура	α	20 ° 0 ' 0 "
5. Коэффициент высоты головки зуба	h_a^*	1
6. Коэффициент радиального зазора	c^*	0.2
7. Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой в граничной точке профиля зуба	ρ_f^*	0.3
8. Ширина зубчатого венца, мм	b	28 $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \leq \min \left(\frac{0.3 \cdot R_e}{10 \cdot m_e} \right) = 28 \\ \circ \text{ по ГОСТ } 12289-76 = ? \end{array} \right.$
9. Коэффициент смещения исходного контура ведущего колеса	x_1	0.3542
10. Коэффициент изменения расчетной толщины зуба ведущего колеса	x_{c1}	0.0361
11. Радиус закругления вершины резца, мм	ρ_{k0}	0.851

Рис. 1. Окно Геометрический расчет

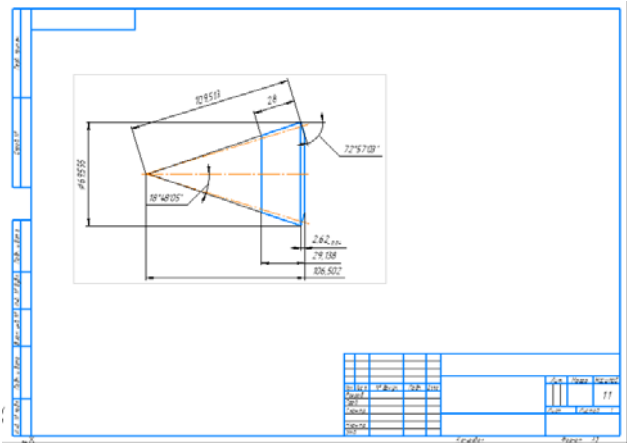


Рис. 2. Чертеж шестерни

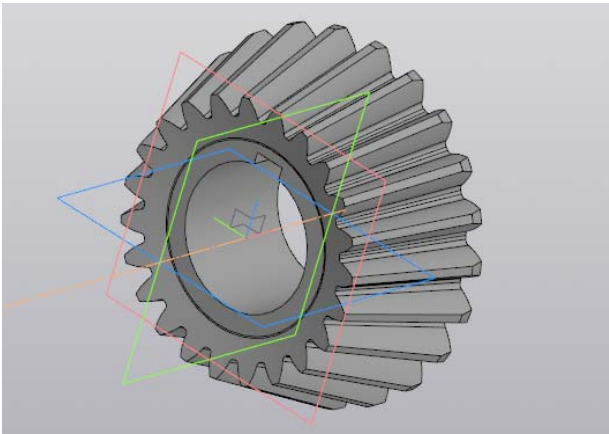


Рис. 3. 3D-модель шестерни

Таким образом, использование систем компьютерного проектирования в значительной степени сокращают затраты времени на проектирование деталей машин и повышают качество построения графической части.