

T-FLEX Зубчатые передачи – возможности приложения и работа в нём

Виктор Воронков, Виталий Старков, Полина Гончарова (“Топ Системы”)

В статье рассматриваются типы шестерен, зацеплений и механизмов, представленные в приложении **T-FLEX Зубчатые передачи**, а также способы их расчета и анализа. Кроме того, приведен типовой процесс проектирования зубчатого зацепления.

Программный комплекс **T-FLEX PLM** пополнился новым приложением для проектирования, анализа и расчета 3D-моделей зубчатых шестерен, зубчатых зацеплений и готовых механизмов – **T-FLEX Зубчатые передачи**. Решаемые приложением задачи, его основная функциональность и преимущества уже обсуждались в других публикациях. Здесь же будут более подробно изложены возможности расчета и анализа, классификация шестерен и зацеплений, доступных в приложении, а также принцип работы с ним.

Приложение может использоваться как в общем машиностроении, так и в высокотехнологичных отраслях: авиастроении, двигателестроении, судостроении, космической отрасли, приборостроении и др. (рис. 1), поскольку полученные модели отвечают всем требованиям создания ответственных сборок.

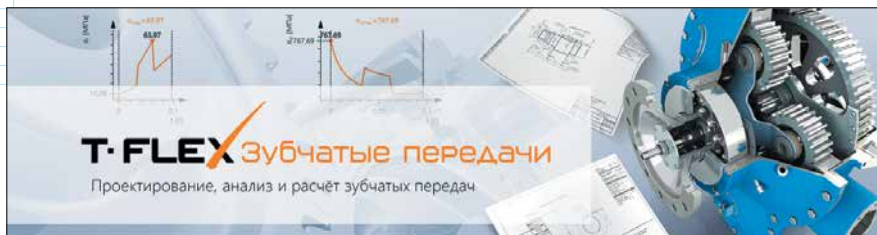
Наиболее трудоемким процессом при проектировании зубчатых передач является расчет параметров, необходимых для нормального функционирования зацепления. Приложение **T-FLEX Зубчатые передачи** отличается возможностью проведения любых расчетов, в том числе высокой сложности. Работа не займет много времени и не потребует больших усилий от инженера-конструктора. Рассмотрим более детально доступные способы расчета и анализа.

Расчет и анализ

Проектирование в приложении ведется согласно стандартам **ГОСТ**, **ISO** или **DIN**. Поддерживаются следующие виды расчетов:

- расчет геометрии;
- расчет параметров качества;
- расчет отклонений;
- прочностной расчет.

При желании можно не придерживаться стандартов и задавать пользовательские параметры исходного контура и отклонений. Произвести оценку влияния



заданных отклонений можно с помощью опции пересчета в середину поля допуска.

Интерфейс приложения **T-FLEX Зубчатые передачи** позволяет легко управлять результатами расчета (рис. 2). Все интересующие вас данные (геометрические, прочностные параметры и анимация) открываются в отдельных вкладках, благодаря чему больше не нужно создавать отчеты для просмотра результатов. В режиме быстрого пересчета при вводе

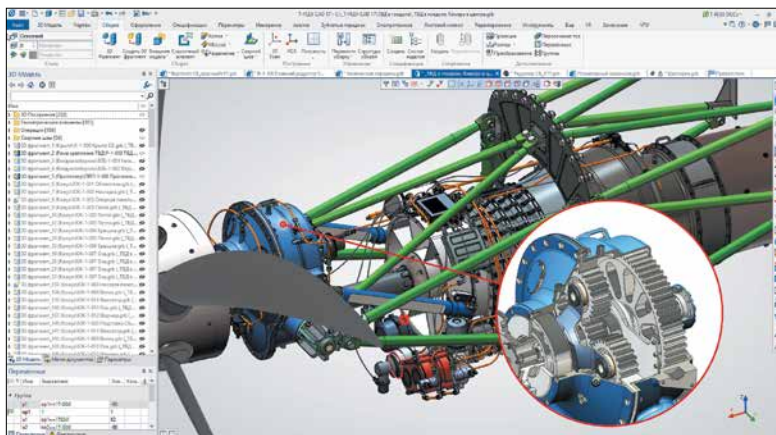


Рис. 1. Пример использования приложения T-FLEX Зубчатые передачи в высокотехнологичных отраслях

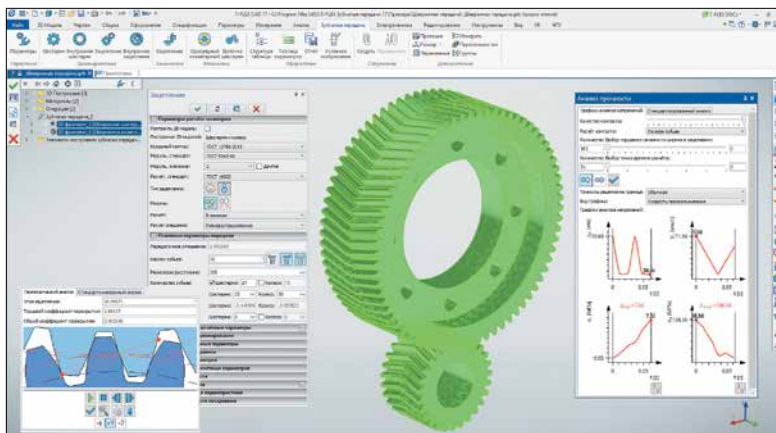


Рис. 2. Интерфейс T-FLEX Зубчатые передачи – построение модели по результатам расчета

новых параметров результаты расчета в соответствующей вкладке изменяются мгновенно.

Следует отметить отдельно, что при прочностном анализе доступна возможность оценки распределения напряжений согласно заданной нагрузке исходя только из геометрических расчетных данных. Если был сделан пересчет в середину поля допуска, то он также будет учитываться. Эмпирические зависимости, на которых основаны стандартизованные методики расчета, здесь не потребуются. Напряжения в каждом торцевом сечении и по длине линии зацепления представляются в виде графиков. Кроме того, доступны графики изменения длины линии контакта при вращении шестерен и скорости проскальзывания.

Дополнительным инструментом оценки качества рассчитанной передачи является анимация зацепления. Она иллюстрирует текущее положение шестерен по длине линии зацепления и указанному торцевому сечению. Во вкладке обеспечивается просмотр итоговой формы рабочей и переходной поверхностей с учетом выбранного инструмента и его параметров, а также с учетом пересчета в середину поля допуска. С помощью анимации легко отследить возможные пересечения, то есть, заклинивания.

Классификация шестерен и зацеплений

В приложении *T-FLEX Зубчатые передачи* возможно проектирование как цилиндрических, так и конических шестерен и зацеплений, а также построение различных механизмов. При назначении входных данных пользователь может выбрать стандарт, по которому будет проектироваться передача (ГОСТ, ISO, DIN) или установить заданное значение. Таким образом, достигается наибольшая эффективность при создании 3D-моделей без потери свободы проектирования. Рассмотрим более подробно типы шестерен и зацеплений, поддерживаемых в приложении *T-FLEX Зубчатые передачи*.

Цилиндрические шестерни и зацепления

Цилиндрическое зацепление рассчитывается для параллельных валов, для шестерен с прямым или спиральным типом зубьев, реализован также расчет шевронного зацепления. Шестерни могут различаться по ширине, но при этом их можно отцентрировать или установить с произвольным смещением. Положение шестерен будет учитываться в расчете прочностных характеристик и коэффициентов перекрытия. При создании 3D-моделей шестерни всегда будут находиться в зацеплении.

Передачу возможно спроектировать безотносительно к механизму или вписать её в уже существующую конструкцию. Например, достаточно выбрать два вала, указать модуль и передаточное отношение.

Цилиндрические шестерни и зацепления (рис. 3) представлены следующими типами:

✓ Прямозубые цилиндрические шестерни и зацепления

Самый распространенный тип зубчатого зацепления является частным случаем косозубой передачи с нулевым наклоном. Для проектирования прямозубых шестерен необходимо указать число зубьев или межосевое расстояние, либо использовать переходные варианты ввода. Смещение можно задать произвольно или подобрать по одной из предлагаемых методик – например, оптимизируя по изгибающим напряжениям.

Прямозубые зацепления используются в тихоходных передачах.

✓ Косозубые цилиндрические шестерни и зацепления

Косозубая шестерня образуется при вращении на заданный угол каждого последующего торцевого сечения. Большим преимуществом при проектировании передач данного типа станет возможность оценить каждое сечение с помощью анимации и графиков напряжений. Косозубые шестерни проектируются аналогично прямозубым.

Шестерня данного типа обеспечивает более надежное сцепление элементов зубчатой передачи. За счет этого повышается плавность работы механизма, что гарантирует увеличение рабочего ресурса деталей. Передачи применяются для ответственных механизмов при работе на средних и высоких скоростях.

✓ Шевронные цилиндрические шестерни и зацепления

При создании шевронной шестерни необходимо выбрать тип “шеврон” и указать размеры канавки между зеркальными зубьями шестерни. Параметры зацепления и прочностной анализ выполняются с учетом особенности геометрии шевронов.

Шевронные передачи отличаются от других передач способностью передавать гораздо большие мощности при меньшем шуме. Применяются в высоконагруженных передачах.

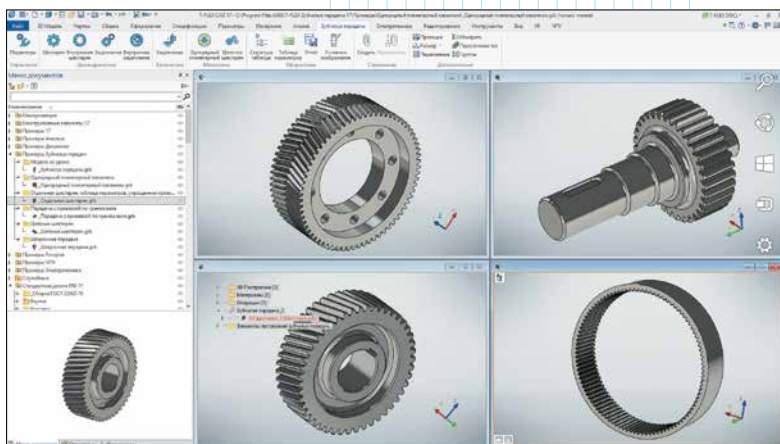


Рис. 3. Цилиндрические шестерни

Конические шестерни и зацепления

Конические передачи получают все сильные стороны функциональности расчета цилиндрического зацепления: свободу выбора стандартов при проектировании, подробную визуализацию полученного результата, выполнение различных видов анализа, возможность создания отчетов и многое другое.

Приложение позволяет создавать 3D-модели прямого, тангенциального и спирального зацепления. Качеству и точности создания 3D-модели конического зацепления уделено повышенное внимание: зацепление рассчитывается по сферическим сечениям с возможностью настройки количества расчетных сечений и количества точек на них, а также с указанием степени функции интерполяции. При генерации 3D-модели применяются все последние нововведения 17-й версии T-FLEX CAD.

В приложении T-FLEX Зубчатые передачи конические шестерни и зацепления представлены следующими типами:

✓ Прямозубые конические шестерни

Данный тип является самым простым из конических шестерен в плане расчета как геометрических параметров, так и 3D-модели зацепления. Однако даже тут упрощенные методики построения будут давать существенную погрешность. Геометрия зацепления рассчитывается на сферических сечениях с поддержкой всех настроек точности.

Поскольку прямозубая шестерня (рис. 4) является частным случаем тангенциального зацепления, то она будет образована при нулевом значении угла наклона зуба в типе “Тангенциальный”. При определении нулевого значения уклона в типе “Спиральный” будет создано коническое зубчатое колесо с нулевым углом наклона круговых зубьев.

Прямозубые конические зацепления наиболее распространены, так как они просты в изготовлении. Применяются в различных механизмах при окружных скоростях до 3 м/с.

✓ Тангенциальные конические шестерни и зацепления

Создается передача с наклонным прямым зубом: линия зуба на развертке конуса является прямой (рис. 5). Аналогичная линия каждого зуба будет касаться одной окружности, что и является этимологией термина “тангенциальный”.

Данный тип зуба является очевидным в теоретическом плане, но сложным в

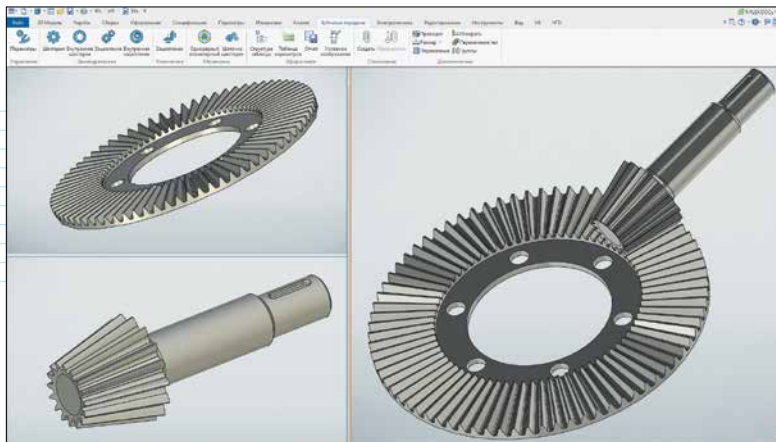


Рис. 4. Прямозубые конические шестерни и зацепление

изготовлении. В связи с этим тангенциальные зацепления используются редко. Работают с окружной скоростью до 12 м/с.

✓ Спиральные конические шестерни и зацепления

Для построения спиральных шестерен (рис. 6) используется два типа команд:

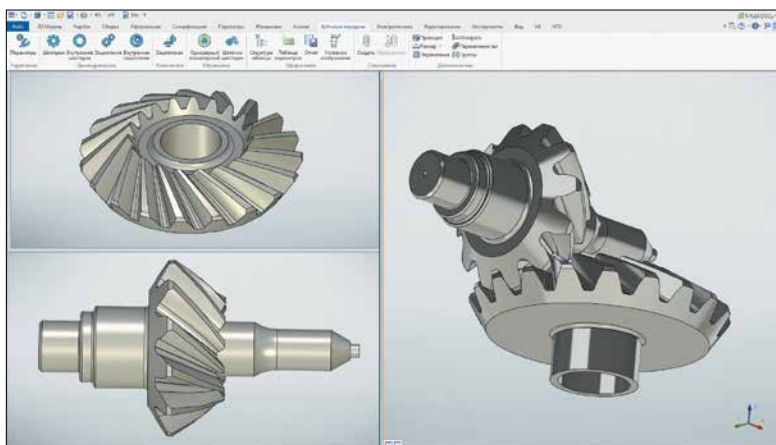


Рис. 5. Тангенциальные конические шестерни и зацепление

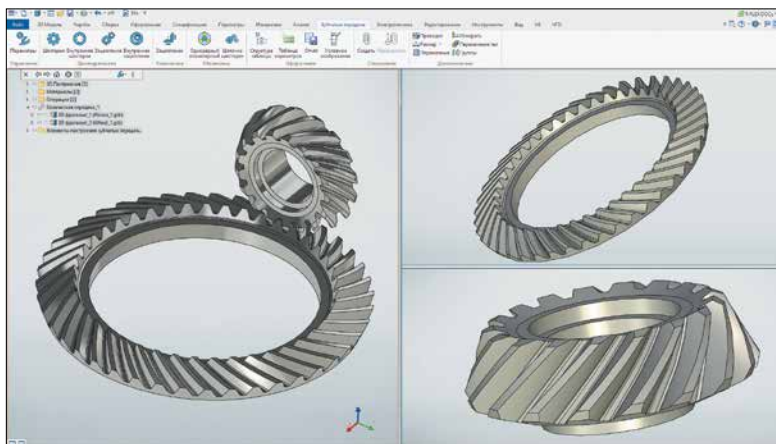


Рис. 6. Спиральные конические шестерни и зацепление

- “Спиральный постоянный” – в каждой точке спирали зуба касательная к конусу будет давать один и тот же заданный угол к образующей конуса. Данный тип используется при создании спирального зуба без учета способа изготовления – например, для 3D-печати, так как в этом случае механический принцип нарезания зубьев не важен.

- “Спиральный” – спираль зуба определяется параметрами изготовления согласно стандартам.

Такие конические зацепления применяют в механизмах, где направление привода от приводного вала должно быть повернуто на 90 градусов.

Механизмы

С помощью команды “Механизмы” пользователь может подобрать требуемое передаточное отношение по заданным характеристикам. В результате механизм будет собран без трудоемкого процесса установки в зацеплении всех составных частей.

Каждое парное зацепление будет сформировано в объект “Зацепление”, для которого будут доступны все виды анализа зубчатого зацепления, описанные выше.

В приложении *T-FLEX Зубчатые* передачи можно создать следующие типы механизмов:

Однорядный планетарный механизм

Для построения такого механизма (рис. 7) необходимо задать входное и выходное звенья и указать требуемое передаточное отношение. Можно задать и дополнительные параметры, такие как параметры поиска решения, ширина объектов, количество сателлитов.

Исходя из заданных параметров, будет сформирован список возможных решений, отсортированный по значению модуля от максимального к минимальному, то есть, от меньшего количества зубьев на шестернях к большему. Так пользователь сможет легко выбрать оптимальное решение.

Цепочка шестерен

В случае проектирования цепочки шестерен (рис. 8) нужно выбрать вариант ввода данных для каждой пары и задать необходимые параметры: передаточные отношения, количество зубьев или межосевое расстояние, а также смещения. Дополнительные параметры задаются аналогично планетарному механизму. Из полученной таблицы возможных решений пользователь сможет выбрать наилучший с его точки зрения вариант. После выбора будет смоделирована цепочка из двух парных зацеплений, обладающих заданными общими параметрами.

Любые полученные шестерни, зацепления и механизмы можно сохранить, записав в собственную библиотеку. Кроме того, можно дополнительно увеличить количество шаблонов, используя параметрические возможности *T-FLEX CAD*. Такие действия помогут оптимизировать вашу работу и ускорить проектирование.

Оформление

К инструментам оформления можно отнести средства создания отчетов и специальные команды, позволяющие оформить чертеж согласно нормам ГОСТа.

Отчет можно создать для всех результатов расчета или же для каждого в отдельности. Сохранить их можно в форматах *PDF* и *HTML*.

Отличительной особенностью чертежей шестерен является наличие таблицы параметров и специального упрощенного изображения зубьев колеса (рис. 9).

Команда создания таблиц параметров позволяет создавать однотипные, настраиваемые по содержанию таблицы для всех шестерен в сборке одновременно или для каждой шестерни в отдельности. Размер, положение и наполнение таблицы по умолчанию выполняются в соответствии с требованиями

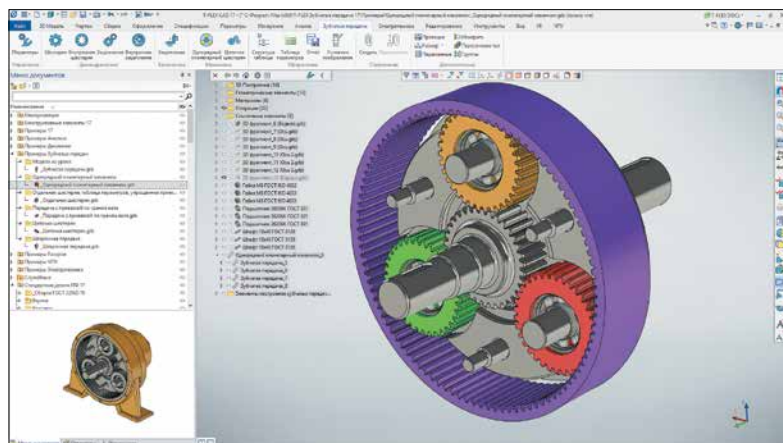


Рис. 7. Однорядный планетарный механизм

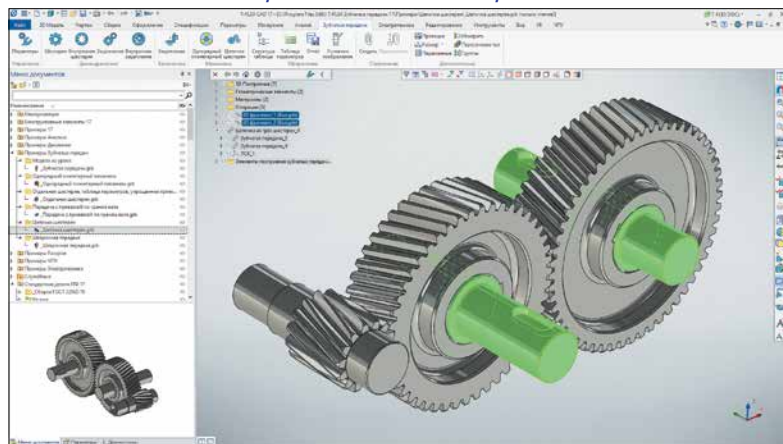


Рис. 8. Цепочка косозубых шестерен

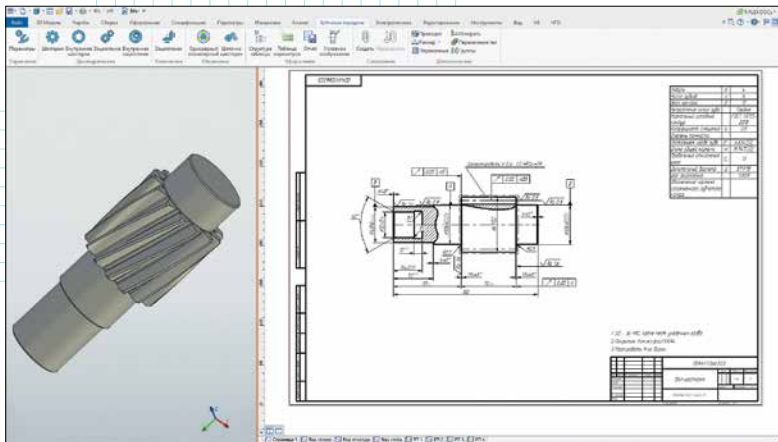


Рис. 9. Оформление чертежа шестерни

ГОСТА. Доступна возможность создания типовой таблицы, которая будет использоваться по умолчанию, при этом она может формироваться в соответствии с ГОСТом или по пользовательским параметрам.

Команда создания условного изображения позволяет дополнить уже имеющиеся чертежи объектов модуля согласно ГОСТу. Условное изображение может быть создано для чертежа шестерни или чертежа зацепления в сборке.

Сопряжения

При проектировании передачи можно указать специальную опцию автоматического создания сопряжений (рис. 10). Такие сопряжения будут соответствовать передаточному отношению и позволят визуализировать вращение передачи, что позволит упростить подготовку модели для приложения *T-FLEX Динамика*.

Типовой процесс проектирования в приложении *T-FLEX Зубчатые передачи*

Рассмотрим общий порядок работы в приложении *T-FLEX Зубчатые передачи* на примере простого цилиндрического зацепления.

В начале работы пользователю необходимо вызвать операцию создания требуемого зацепления, чтобы появился интерфейс с выбором параметров. В первую очередь предлагается задать параметры для расчета геометрии: тип зацепления – “Внешнее” или “Внутреннее”; способ расчета передачи – “По числу зубьев” или “По межосевому расстоянию”; значение модуля и другие параметры.

Далее необходимо задать основные параметры передачи (рис. 11). Приложение предлагает ввести только требуемые значения, которые зависят от выбранных параметров расчета геометрии. Например, при выборе способа расчета передачи “По числу зубьев” активируются только соответствующие поля.

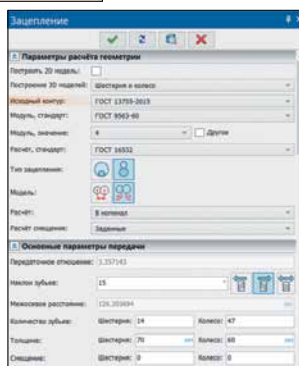


Рис. 11. Окно создания зубчатого зацепления

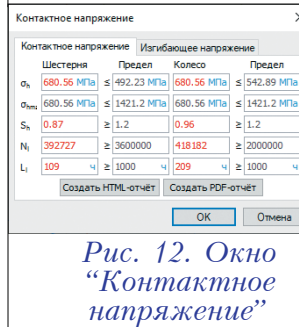


Рис. 12. Окно “Контактное напряжение”

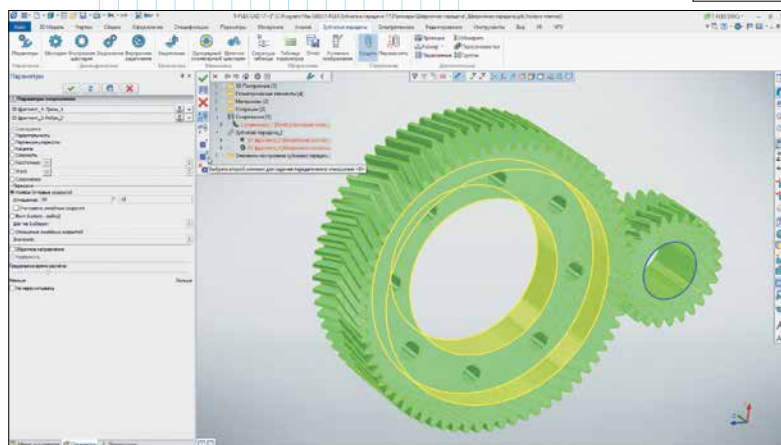


Рис. 10. Применение команды “Сопряжения” на шевронном зацеплении

На этом этапе ввод основных параметров передачи завершается, и приложение рассчитывает все геометрические параметры. Далее, в зависимости от требований пользователя, можно либо создать передачу, либо продолжить задание дополнительных параметров (фаски, количество оборотов, крутящий момент, материал и т.д.). Кроме того, можно провести различные типы анализа для передачи – например, прочностной анализ. Для этого в соответствующей закладке пользователю достаточно указать стандарт и определить основные параметры зацепления, шестерни и колеса.

Все рассчитанные коэффициенты и параметры напряжений можно оценить, вызвав окно “Коэффициенты”; при необходимости их можно скорректировать для проведения анализа.

В появившемся окне отображаются контактные и изгибающие напряжения (рис. 12). Значения, отмеченные красным, не попадают под рассчитанные предельные значения. Поддерживается возможность формирования отчета по данному анализу.

После завершения анализа и всех расчетов можно создавать 3D-модель

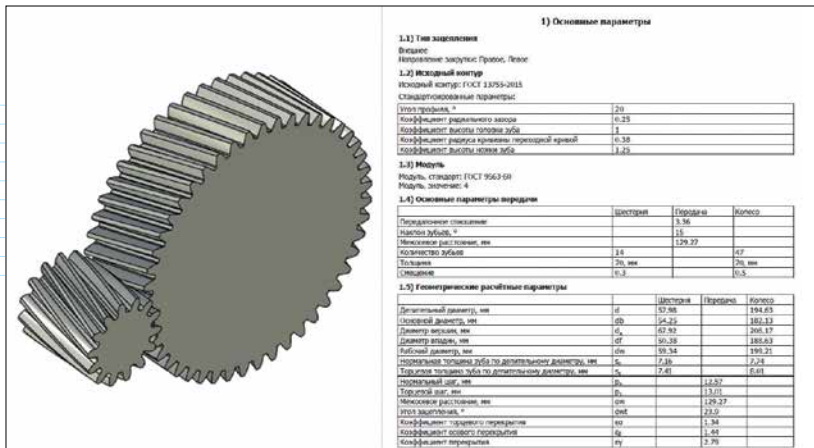


Рис. 13. Полученная модель зацепления и часть отчета

зубчатого зацепления (рис. 13) и общий отчет, наполнение которого зависит от выбранных пользователем параметров.

3D-модели зубчатых колес и зацеплений, создаваемые в приложении *T-FLEX Зубчатые передачи*, отличаются высокой точностью геометрии. Таким образом, на экране

отображается не просто шестерня или зацепление с качественной визуализацией, а готовое изделие, пригодное для 3D-печати или изготовления на станке с ЧПУ, содержащее всю необходимую сопроводительную документацию. Кроме того, точная геометрия полученных 3D-моделей позволяет применять для прочностных расчетов и анализа движения специализированные приложения *T-FLEX Анализ* и *T-FLEX Динамика*.

В настоящий момент приложение продолжает наполняться другими типами зубчатых колес и зацеплений.

Авторы

Виктор Воронков, к.т.н., инженер технической поддержки ЗАО «Топ Системы»

Виталий Старков, инженер технической поддержки ЗАО «Топ Системы»

Полина Гончарова, специалист отдела маркетинга ЗАО «Топ Системы»

◆ Выставки ◆ Конференции ◆ Семинары ◆

ОРГАНИЗАТОР



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



АДМИНИСТРАЦИЯ ГОРОДА ИЖЕВСКА

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

15-17 СЕНТЯБРЯ

Ижевск' 2021

ПРИГЛАШАЕМ К УЧАСТИЮ

ТЕМАТИКА:

- Металлообрабатывающее оборудование. Инструмент. Металлопродукция
- Комплекующие изделия и материалы
- Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации процессов
- Техника и технологии для добычи нефти и газа, нефтепереработки и нефтехимии. Энергетическое и электротехническое оборудование.
- Охрана труда, безопасность на производстве, СИЗ.
- Средства пожарной и промышленной безопасности.

Место проведения: площадка у ТЦ «Мой Порт», ул. Кирова, 146, мобильный павильон

БРОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДЕЙ:



8-912-856-13-93

metal@vcudm.ru

promforum18.ru