

T-FLEX Зубчатые передачи — возможности приложения и работа в нем

Виктор Воронков, Виталий Старков, Полина Гончарова

В статье рассмотрены типы шестерён, зацеплений и механизмов, представленных в приложении T-FLEX Зубчатые передачи, а также способы их расчета и анализа. В дополнение приведен типовой процесс проектирования зубчатого зацепления.

В комплексе T-FLEX PLM появилось новое приложение для проектирования, анализа и расчета 3D-моделей зубчатых шестерней, зубчатых зацеплений и готовых механизмов — T-FLEX Зубчатые передачи. Решаемые приложением задачи, его основная функциональность и преимущества были рассмотрены в статье «T-FLEX Зубчатые передачи — новое приложение комплекса T-FLEX PLM для проектирования, анализа и расчета зубчатых передач» (САПР и графика. 2021. № 3. С. 33-36). В настоящей публикации будут более подробно изложены возможности расчета и анализа, классификация шестерён 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. 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 в T-FLEX Зубчатые передачи

Проектирование в приложении ведется согласно стандартам ГОСТ, ISO или DIN. Доступны следующие расчеты:

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

При желании можно не придерживаться стандартов и задавать пользовательские параметры исходного контура и отклонений. Про-

извести 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 новых параметров результаты расчета в соответствующей вкладке изменяются в реальном времени.

Следует особо отметить, что при прочностном анализе доступна оценка распределения напряжений 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 шестерён и скорости проскальзывания.



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»

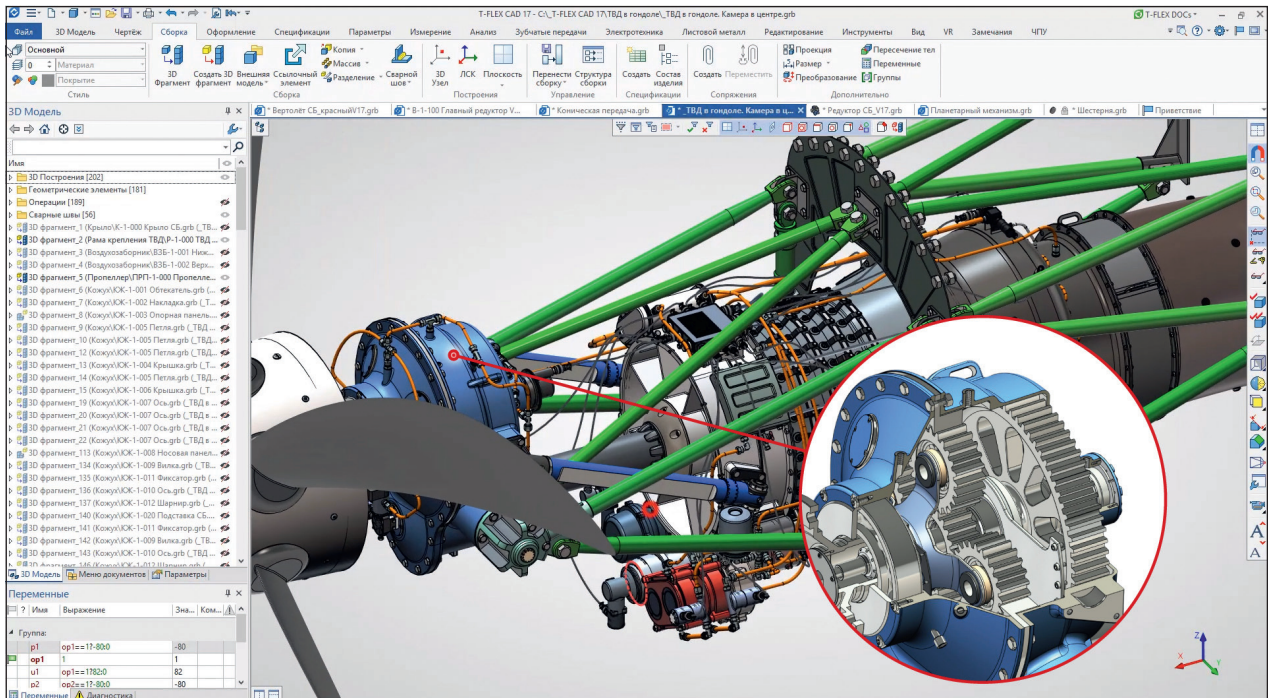


Рис. 1. Использование приложения T-FLEX Зубчатые передачи в высокотехнологичных отраслях

Дополнительным инструментом оценки качества рассчитанной передачи является анимация зацепления. Она иллюстрирует текущее положение шестерён по длине линии зацепления и указанному торцевому сечению. Во вкладке доступен 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.

С помощью анимации легко отследить возможные пересечения, то есть заклинивания.

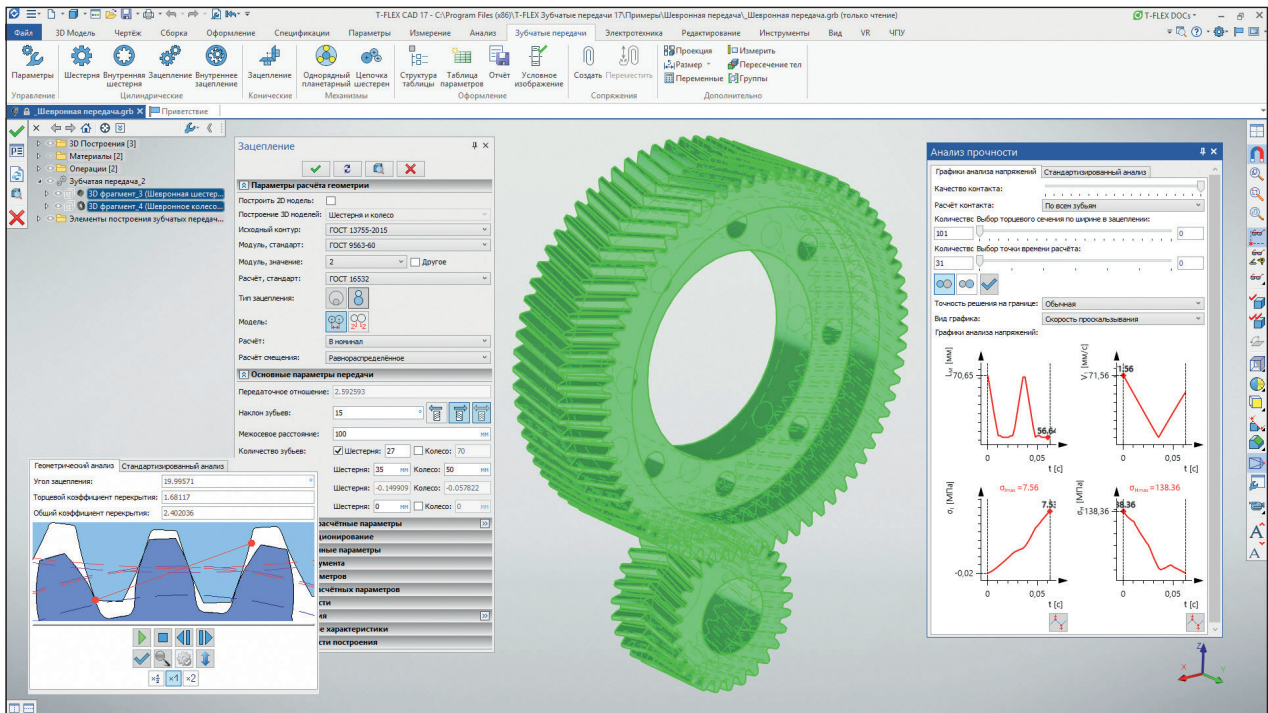


Рис. 2. Интерфейс T-FLEX Зубчатые передачи — построение модели по результатам расчета

Классификация шестерён и зацеплений в T-FLEX Зубчатые передачи

В T-FLEX Зубчатые передачи возможно проектирование как цилиндрических, так и конических шестерён 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 шестерён и зацеплений, доступных в приложении.

Цилиндрические шестерни и зацепления

Цилиндрическое зацепление рассчитывается для параллельных валов, для шесте-

рён с прямым или спиральным типом зубьев, доступен также расчет шевронного зацепления. Шестерни могут различаться по ширине, но при этом их можно отцентрировать или установить с произвольным смещением. Положение шестерён 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 ее в уже существующую конструкцию. Например, достаточно выбрать два вала, указать модуль и передаточное отношение.

Цилиндрические шестерни и зацепления (рис. 3) представлены следующими типами в T-FLEX Зубчатые передачи.

Прямозубые цилиндрические шестерни и зацепления

Самый распространенный тип зубчатого зацепления является частным случаем косозубой передачи с нулевым наклоном. Для проектирования прямозубых шестерён 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.

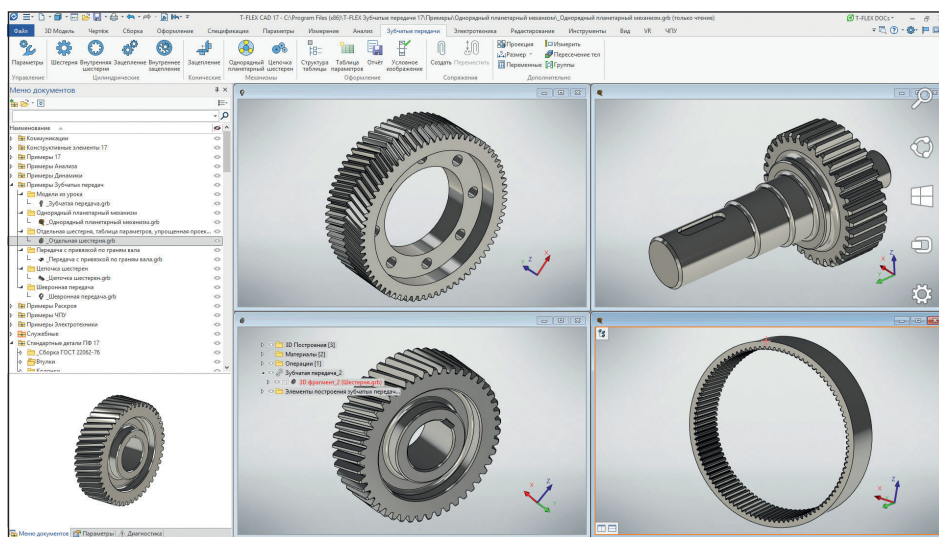


Рис. 3. Цилиндрические шестерни

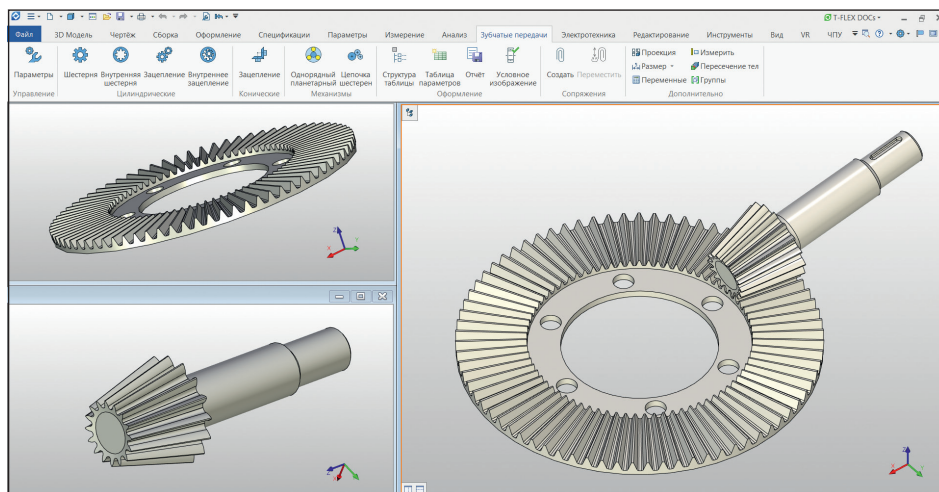


Рис. 4. Прямозубые конические шестерни и зацепления

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.

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 анализов, возможность создания отчетов и многое другое.

Приложение позволяет создавать 3D-модели пря-

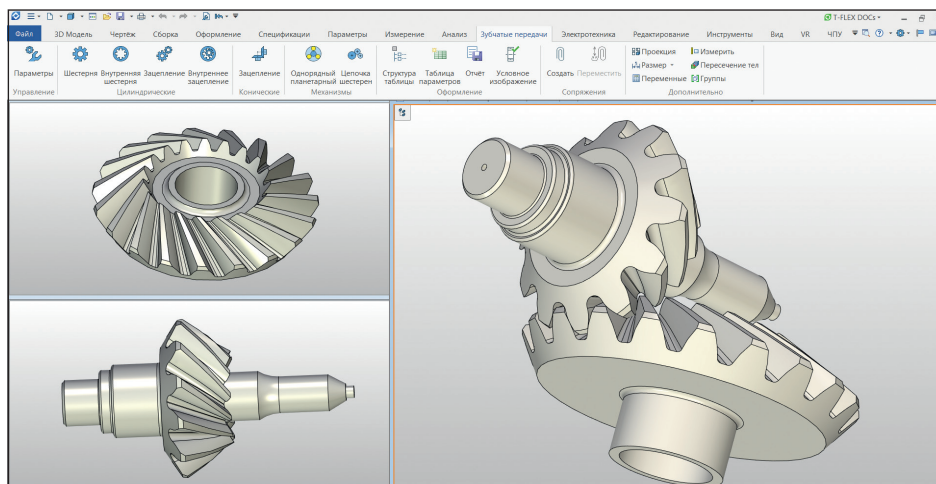


Рис. 5. Тангенциальные конические шестерни и зацепление

мозубого, 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.

Конические шестерни и зацепления представлены в T-FLEX Зубчатые передачи следующими типами.

Прямозубые

конические шестерни

Данный тип является самым простым из конических шестерён 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, 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

В приложении создается передача с наклонным прямым зубом (рис. 5): линия зуба на развёртке конуса является прямой. 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 изготовлении. В связи с этим тангенциальные зацепления используются редко. Работают с окружной скоростью до 12 м/с.

Спиральные конические шестерни и зацепления

В T-FLEX Зубчатые передачи для построения спиральных шестерён (рис. 6) используется два типа команд:

- *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 печати 3D-модели, так как в этом случае механический принцип нарезания зубьев не важен;
- *Спиральный* — спираль зуба определяется параметрами изготовления согласно стандартам.

Такие конические зацепления применяют в меха-

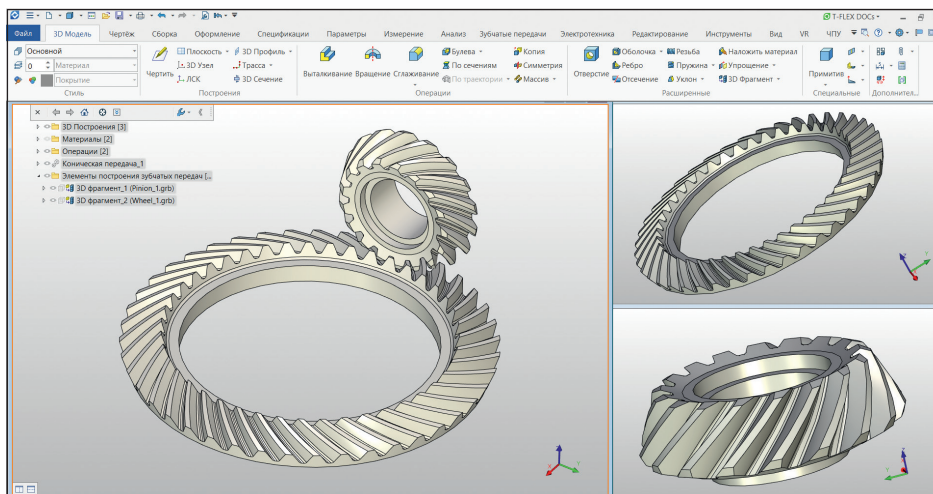


Рис. 6. Спиральные конические шестерни и зацепление

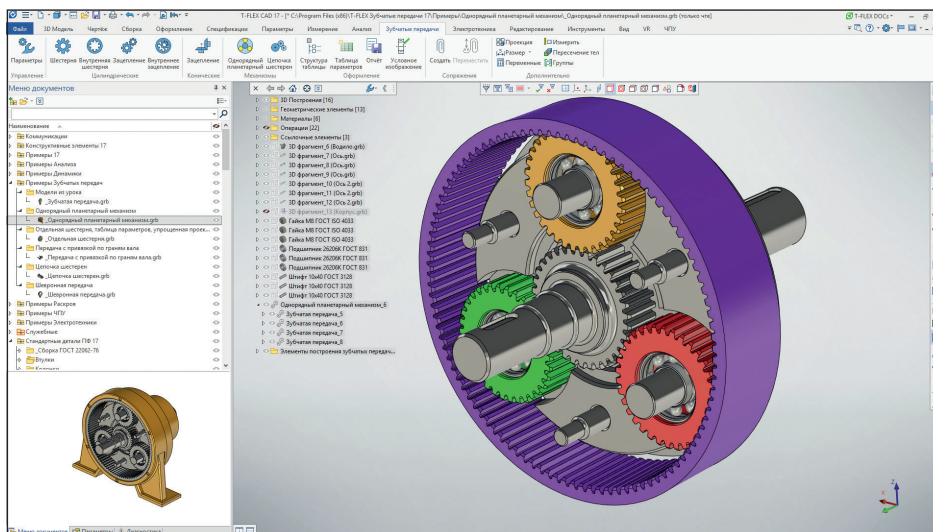


Рис. 7. Однорядный планетарный механизм

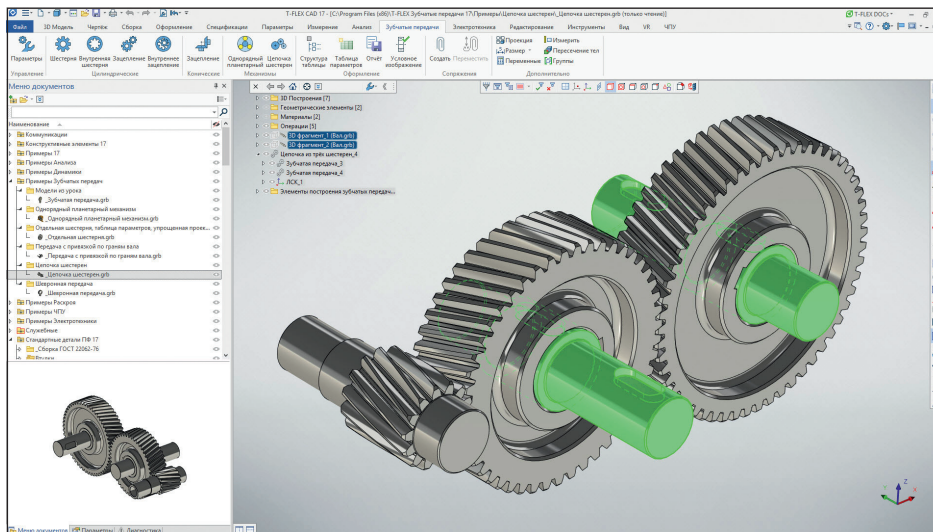


Рис. 8. Цепочка косозубых шестерен

низмах, 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 будет собран механизм 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 T-FLEX Зубчатые передачи возможно создать следующие типы механизмов.

Однорядный планетарный механизм

Для построения механизма (рис. 7) необходимо задать входное и выходное звенья и указать требуемое передаточное отношение. Можно задать 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.

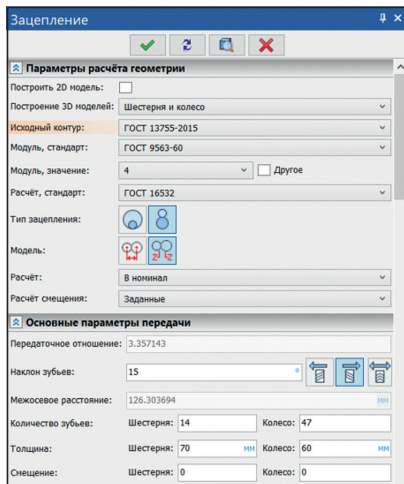


Рис. 11. Окно создания зубчатого зацепления

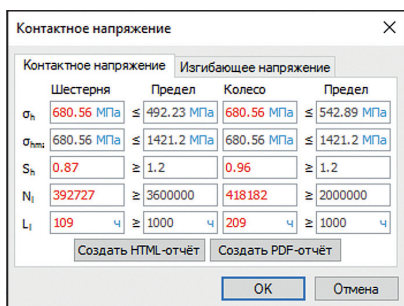


Рис. 12. Окно Контактное напряжение

Сопряжения

При проектировании передачи можно указать специальную опцию автоматического создания сопряжений (рис. 10). Такие сопряжения будут соответствовать передаточному отношению и позволят визуализировать враще-

ние передачи, что позволит упростить подготовку модели для приложения T-FLEX Динамика.

Типовой процесс проектирования в 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 для вызова интерфейса с выбором параметров. В первую очередь предлагается задать параметры расчета геометрии: выбор типа 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.

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 анализ прочности. Для этого в соответствующей закладке пользователю достаточно задать 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. В окне результатов доступно формирование отчета по данному анализу.

После завершения анализа и всех расчетов можно создавать 3D-модель зубчатого зацепления (рис. 13) и общий отчет, наполнение которого зависит от выбранных пользователем параметров.

3D-модели зубчатых колес и зацеплений, создаваемые в 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 и производства 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. ➤

В дополнение к статье смотрите видеоматериалы на Youtube-канале T-FLEX PLM.

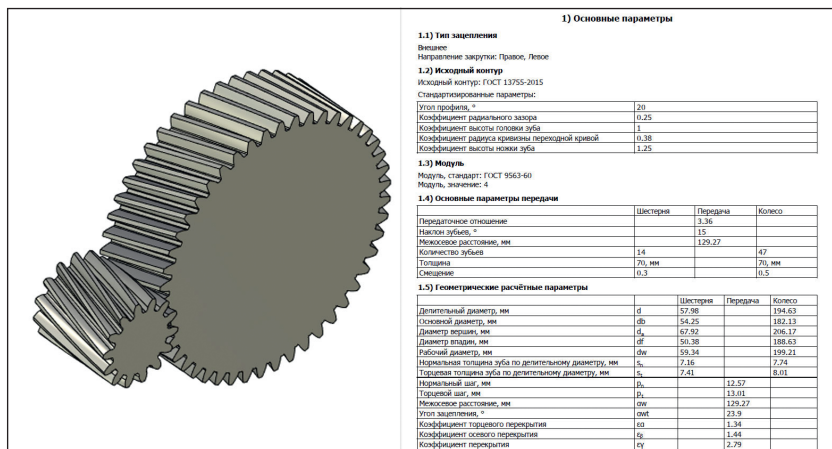


Рис. 13. Полученная модель зацепления и часть отчета