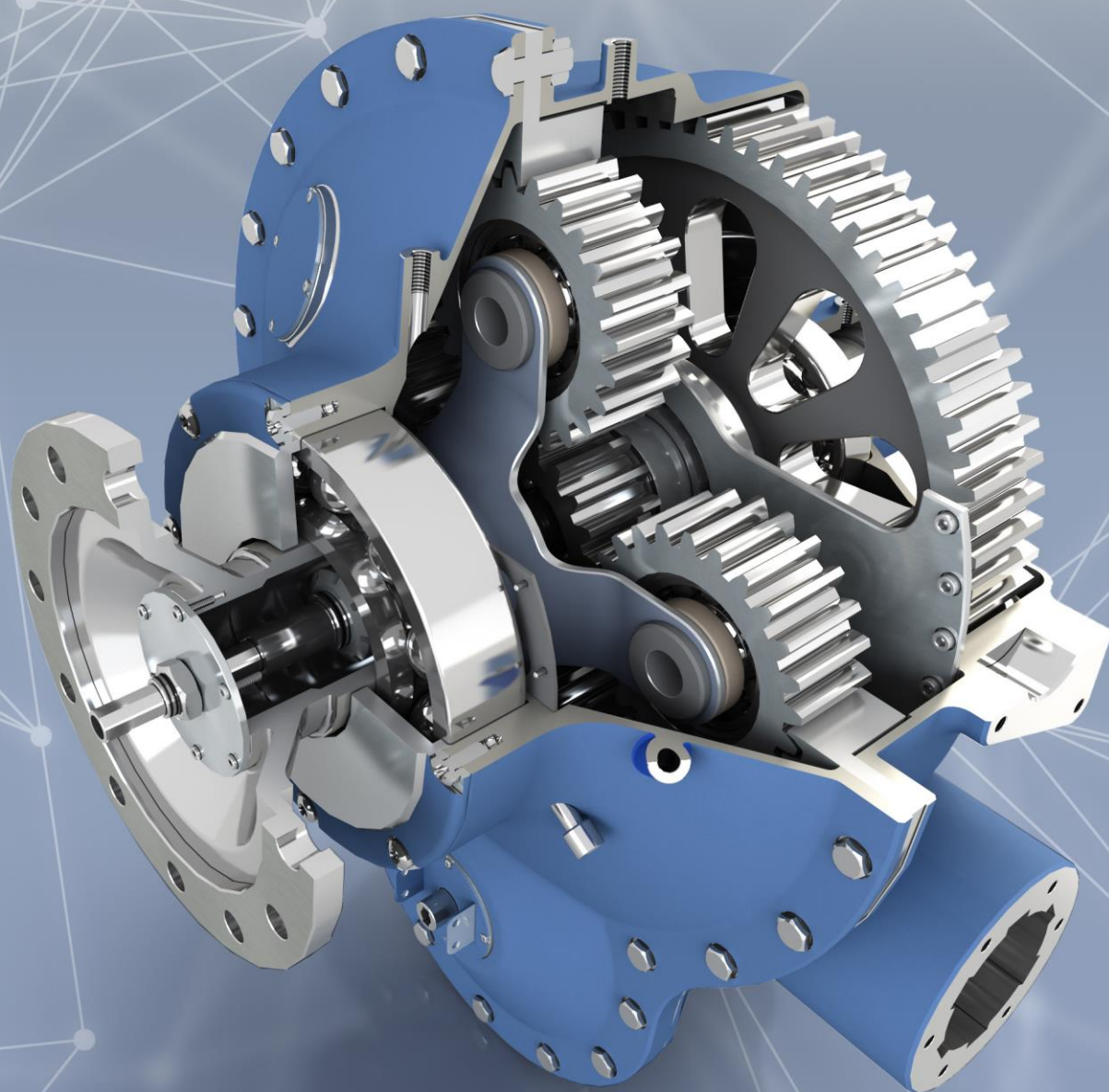


# T-FLEX Детали машин

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



# АВТОРСКИЕ ПРАВА

---

© АО "Топ Системы", 1992 — 2024

Все авторские права защищены. Запрещено воспроизведение в любой форме любой части настоящего документа без разрешения от АО "Топ Системы".

АО "Топ Системы" не несёт ответственности за ошибки, которые могут быть в этом документе. Также не предполагается никаких обязательств за повреждения, обусловленные использованием содержащейся здесь информации.

Товарный знак T-FLEX является собственностью АО "Топ Системы".

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Авторские права .....	1
Содержание .....	2
Общие сведения .....	3
Запуск T-FLEX Детали машин .....	5
Основные команды T-FLEX Детали машин .....	6
Настройки .....	7
Передачи .....	8
Цилиндрические передачи .....	8
Коническое зацепление .....	16
Червячное зацепление .....	21
Механизмы .....	26
Однорядный планетарный механизм .....	26
Цепочка трёх шестерен .....	29
Детали .....	31
Вал .....	31
Колесо .....	35
Соединения .....	41
Шпоночное соединение .....	41
Шлицевое соединение .....	49
Оформление .....	52
Условное изображение .....	52
Параметры таблицы .....	52
Добавление таблицы .....	53
Отчёт .....	54

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Программа для ЭВМ **T-FLEX Детали машин**<sup>1</sup> предназначена для проектирования, с анализом характеристик, механизмов, различной степени сложности, основанных на зубчатых зацеплениях, шпоночных и шлицевых соединений с валами, а в перспективе с применением в механизмах ремённых и цепных передач, прессовых посадок, а также других видов соединений и передач.

Краткий список возможностей, которые предоставляет данное приложение:

- Создание 3D моделей, зубчатых шестерён (цилиндрических, конических и червячных), зубчатых механизмов, шпоночных и шлицевых соединений, валов и колёс различной степени сложности.
- Создание 2D моделей шестерён и зубчатых пар;
- Анимация зубчатых зацеплений с отображением наиболее важных параметров;
- Графическое и табличное отображение результатов расчёта на прочность зубчатых зацеплений, шлицев, шпонок и валов;
- Возможность создания геометрии зубчатых зацеплений, шлицев и шпонок согласно стандартам ГОСТ, ISO, DIN, а также по пользовательским параметрам;
- Анализ геометрических параметров согласно стандартам ГОСТ, ISO, DIN;
- Анализ прочностных параметров согласно стандартам ГОСТ, ISO, DIN;
- Расчёт параметров точности изготовления согласно стандартам ГОСТ, ISO, DIN;
- Генерация геометрии согласно рассчитанным отклонениям;
- Возможность автоматического формирования отчётов, включающих все расчётные параметры сгруппированные в таблицы;
- Возможность автоматического формирования элементов оформления чертежей шестерен.

Любой созданный объект будет представлять собой фрагмент или группу фрагментов первого уровня. Текущий документ будет сборкой таких фрагментов. Текущий документ может быть пустым или содержать тела и фрагменты. В случае, если текущий документ ещё не был сохранён на диске, система в обязательном порядке предложит сохранить новый документ.

---

<sup>1</sup> Предыдущие и (или) альтернативные названия программного обеспечения:

- T-FLEX Детали машин
- T-FLEX Детали машин. Зубчатые передачи
- T-FLEX Детали машин. Валы
- T-FLEX Детали машин. Соединения вал-ступица
- T-FLEX Детали машин. Подшипники
- T-FLEX Детали машин. Пружины
- T-FLEX Детали машин. Анализ механизмов
- T-FLEX Machinery
- T-FLEX Machinery. Gears
- T-FLEX Machinery. Shafts
- T-FLEX Machinery. Shaft-hub Connections
- T-FLEX Machinery. Bearings
- T-FLEX Machinery. Springs
- T-FLEX Machinery. Mechanism Analysis

T-FLEX Детали машин (T-FLEX Machinery) состоит из следующих конфигураций:

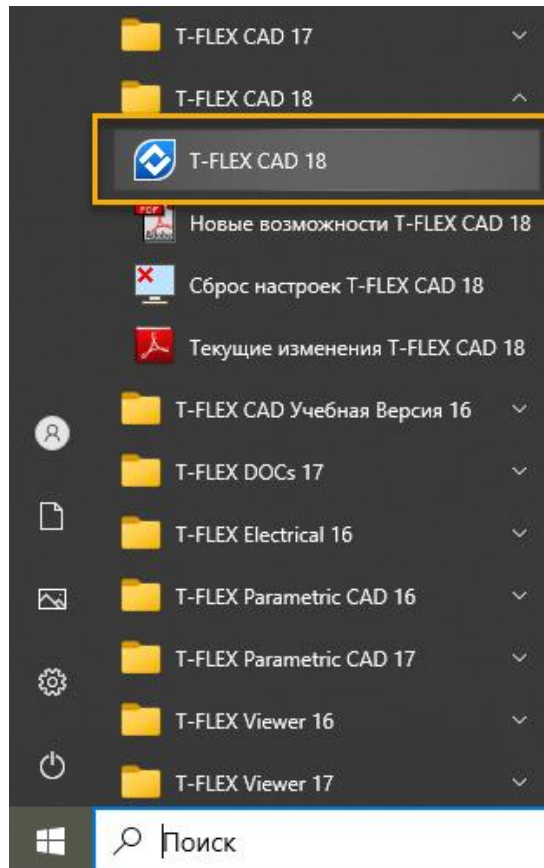
- T-FLEX Детали машин. Зубчатые передачи (T-FLEX Machinery. Gears)
- T-FLEX Детали машин. Валы (T-FLEX Machinery. Shafts)
- T-FLEX Детали машин. Соединения вал-ступица (T-FLEX Machinery. Shaft-hub Connections)
- T-FLEX Детали машин. Подшипники (T-FLEX Machinery. Bearings)
- T-FLEX Детали машин. Пружины (T-FLEX Machinery. Springs)
- T-FLEX Детали машин. Анализ механизмов (T-FLEX Machinery. Mechanism Analysis)

## ЗАПУСК T-FLEX ДЕТАЛИ МАШИН

Для запуска T-FLEX Детали машин необходимо открыть уже существующий 3D документ или создать новый.

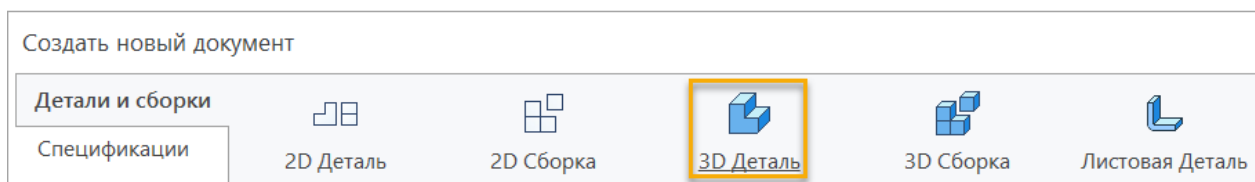
Можно дать следующие пошаговые рекомендации для запуска T-FLEX Детали машин.

1) Запустить CAD-систему T-FLEX CAD 18

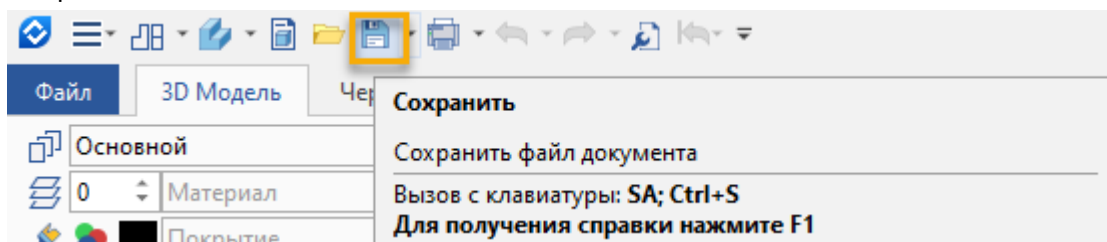


2) Создать и сохранить новый документ

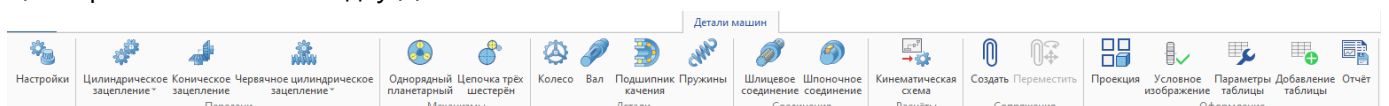
Создание:



Сохранение

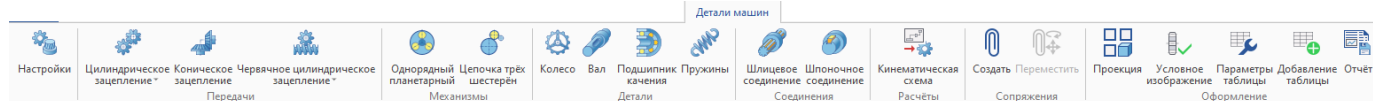


3) Открыть в Ленте закладку Детали машин.



# ОСНОВНЫЕ КОМАНДЫ T-FLEX ДЕТАЛИ МАШИН

## Лента команд Детали машин



Доступны следующие команды:

**Настройки.** Настройка параметров по умолчанию при запуске команд.

**Цилиндрическая шестерня.** Создание одиночной, не связанной, шестерни с внешними зубьями по заданным параметрам.

**Цилиндрическая внутренняя шестерня.** Создание одиночной, не связанной, шестерни с внутренними зубьями по заданным параметрам.

**Цилиндрическое зацепление.** Команда создания зубчатой пары в зацеплении. Является основной командой списка.

**Цилиндрическое внутреннее зацепление.** Команда создания зубчатой пары внутреннего зацепления.

**Коническое зацепление.** Команда создания конической зубчатой пары в зацеплении.

**Червячное цилиндрическое зацепление.** Команда создания цилиндрической червячной передачи в зацеплении.

**Червячное глобоидное зацепление.** Команда создания глобоидной червячной передачи в зацеплении.

**Однорядный планетарный.** Диалог авто компоновки зубчатых зацеплений в однорядный планетарный механизм согласно заданным параметрам механизма.

**Цепочка шестерен.** Диалог авто компоновки зубчатых зацеплений в цепочку трёх шестерен согласно заданным параметрам механизма.

**Колесо.** Конструктор колёс с конфигуратором.

**Вал.** Конструктор валов с конфигуратором.

**Шлицевое соединение.** Создание шлицевого соединения на двух объектах.

**Шпоночное соединение.** Создание шпонки и шпоночного соединения на двух объектах.

**Сопряжения.** Группа команд T-FLEX CAD, предназначенных для установления связи фрагментов.

**Проекция.** Команда T-FLEX CAD – предназначена для создания чертежей по 3D модели.

**Условное изображение.** Команда создания условного изображения зубчатых колёс на проекциях объектов.

**Параметры таблицы.** Диалог настройки типовой таблицы параметров для оформления чертежа шестерни.

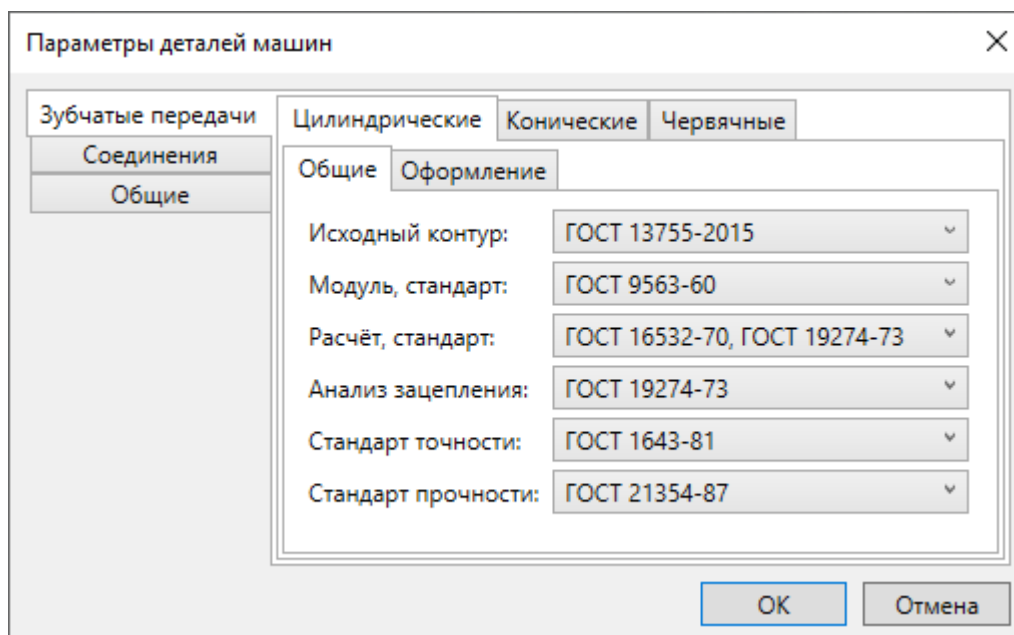
**Добавление таблицы.** Диалог создания таблицы параметров на выбранных чертежах шестерён.

**Отчёт.** Диалог создания отчётов по выполненным расчётам.

**Дополнительно.** Группа команд T-FLEX CAD, предназначенных для измерения и других действий часто необходимых при работе с T-FLEX Детали машин.

## НАСТРОЙКИ

Команда позволяет задать общие настройки. Указываются стандарты, которые автоматически выбираются в командах. Это позволяет пользователю настроить работу на те стандарты, которыми он пользуется. Также можно настроить типовой вариант таблицы оформления чертежа шестерни в целом, т.е. настроить начальный вид таблицы для команды Параметры таблицы. Диалог на закладке Оформление дублирует диалог команды Параметры таблицы. Настройка не является разовой, и, если необходимо, внести изменения в типовой прототип таблицы – это всегда можно сделать.



Опция «Перестраивать передачу после отмены действий» на закладке Общие определяет принцип работы в режиме команды Отменить (Undo).



## ПЕРЕДАЧИ

### ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ



Для создания пары цилиндрических зубчатых колёс в зацеплении нужно воспользоваться командой **Цилиндрическое зацепление** или **Цилиндрическое внутреннее зацепление**. Для создания одиночной, не связанной, цилиндрической шестерни нужно воспользоваться командой **Цилиндрическая шестерня** или **Цилиндрическая внутренняя шестерня**.

Команда **Цилиндрическое зацепление** позволяет создавать как оба, так и только один объект пары зубчатого зацепления сохраняя при этом возможность анализа зубчатого зацепления. В режиме построения только одного объекта зацепления необходимо также указывать парную шестерню, модель которой построена не будет. Указанный режим необходим для создания последовательности зацеплений и автоматически используется в командах создания механизмов.

Команды **Цилиндрическая шестерня** или **Цилиндрическая внутренняя шестерня** позволяют создать одиночную шестерню согласно заданным параметрам без возможности геометрического анализа зацепления и прочностного анализа зацепления. Команда может быть использована при необходимости получить 3D или 2D модель шестерни без указания дополнительных параметров парного зацепления.

### ПАРАМЕТРЫ РАСЧЁТА ГЕОМЕТРИИ

Определяют контур и размер зубьев, вид шестерни (внутренняя или внешняя), а также способ ввода данных.

⚙ Параметры расчёта геометрии	
Построение 3D моделей:	Шестерня и колесо
Исходный контур:	ГОСТ 13755-2015
Модуль, стандарт:	ГОСТ 9563-60
<input type="checkbox"/> Модуль, значение:	1
Расчёт, стандарт:	ГОСТ 16532-70, ГОСТ 19274-73
Тип зацепления:	
Модель:	
Расчёт:	В номинал
Расчёт смещения:	Равнораспределённое
<input type="checkbox"/> Построить 2D модель	

Построение 3D моделей. Опция позволяет выбрать из списка какие 3D объекты добавлять в сцену:

- Шестерня и колесо;
- Шестерня;
- Колесо.

Опция необходима при создании последовательности зацеплений, где один из объектов является общим для двух зацеплений и не должен дублироваться.

Исходный контур. Опция позволяет выбрать из списка следующие стандарты:

- ГОСТ 13755-2015;
- ISO 53;

- DIN 867;
- Заданный.

Стандарт контура определяет доступность для ввода и взаимосвязь параметров группы Стандартизированные параметры. Вариант Заданный позволяет свободно менять все параметры исходного контура без связи со стандартами.

Модуль, стандарт. Определяет список значений модулей допускаемых указанным стандартом.

Модуль, значение. Опция позволяет выбрать из списка значение модуля, допускаемое выбранным стандартом. Другое. Установка флага открывает поле для ввода значения модуля не предусмотренного стандартом.

Расчётный стандарт. Опция позволяет выбрать расчёт геометрии шестерен по стандартам:

- ГОСТ 16532;
- DIN ISO 21771.

Стандарт расчёта определяет формулы расчёта, взаимосвязь и доступность ввода параметров передачи.

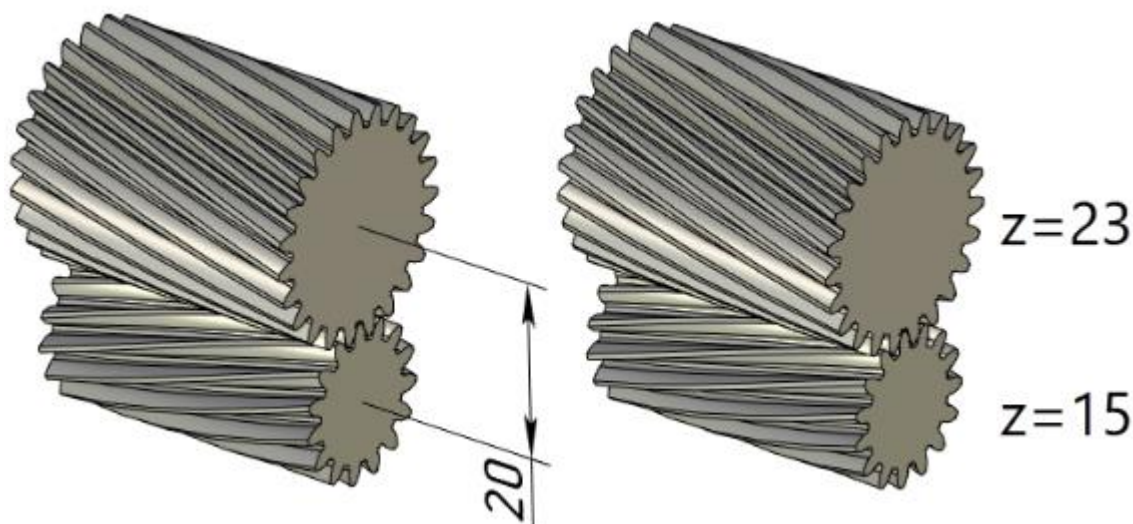
Тип зацепления. Доступно два варианта:

- Внутреннее;
- Внешнее.

Смена типа зацепления доступна только в процессе создания зацепления. В случае редактирования параметров уже созданного зацепления - смена типа зацепления не доступна.

Модель. Доступно два варианта:

- Межосевое;
- Число зубьев.



При выборе модели Межосевое всегда доступен ввод межосевого расстояния, а ввод чисел зубьев и передаточного отношения зависит от выбранной комбинации ввода параметров (подробнее в разделе Основные параметры передачи). При выборе модели Число зубьев всегда доступен ввод чисел зубьев. Передаточное отношение и межосевое расстояние являются расчётными и не доступны для ввода.

Расчёт. Доступно пять вариантов:

- В номинал;
- В середину поля допуска (DIN ISO 21771, DIN 21773);

- В середину поля допуска (DIN ISO 21771);
- В середину поля допуска (ГОСТ 1643-81);
- В середину поля допуска (DIN 3962, 3964, 3967).

Подробно, выбор вариантов расчёта в середину поля допуска описан в разделе Расчёт в середину поля допуска.

Расчёт смещения. Доступно четыре варианта:

- Равнораспределённое;
- Заданное;
- По контактным напряжениям;
- По изгибающим напряжениям.

Для модели Число зубьев вариант Равнораспределённое не доступен. Подробно методы расчёта смещений описаны в разделе Расчёт смещений.

Построить 2D модель. На отдельной странице в текущем документе будет построен контур шестерен в торцевом сечении, а также линия зацепления. На 2D модели также обозначены основной, делительный и рабочий диаметры каждой шестерни.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

Определяют тип передачи, прямозубая, косозубая или шевронная, передаточное отношение, значения смещений, количества зубьев и межосевого расстояния..

Основные параметры передачи	
Передаточное отношение:	1.5
Наклон зубьев:	15 ° [иконка переключения]
Межосевое расстояние:	20 мм
Число зубьев:	<input type="checkbox"/> Шестерня: 15 <input type="checkbox"/> Колесо: 23
Ширина венца:	Шестерня: 35 мм    Колесо: 35 мм
Смещение:	Шестерня: 0.210763    Колесо: 0.137454

Передаточное отношение. Поле позволяет ввести требуемое передаточное отношение. Фактическое, расчётное передаточное отношение может отличаться от заданного, но всегда будет максимально близким к заданному. Поле доступно для ввода только при выборе модели Межосевое и расчётных (не заданных пользователем) значений числа зубьев на шестерне и колесе. Для модели Число зубьев (где числа зубьев всегда задаются пользователем) и при вводе числа зубьев на шестерне или колесе при модели Межосевое - поле является расчётным и закрыто для ввода.

Наклон зубьев. Поле позволяет задать наклон зубьев на делительном диаметре. Доступен ввод угла в минутах и секундах через специальную команду контекстного меню поля ввода. Направление наклона зубьев на шестерне определяется переключателем Левый/Правый. Направление наклона зубьев на колесе определяется типом зацепления: для типа Внешнее наклон на колесе будет обратным, для типа Внутреннее - таким же как на шестерне. Дополнительная кнопка Шеврон позволяет создать шевронную передачу. При этом переключатели Левый/Правый остаются доступными и они определяют тип шеврона на шестерне: "Левый-Правый", если выбран Левый и "Правый-Левый" если выбран Правый.

Межосевое расстояние. Поле позволяет ввести межосевое расстояние. Для внешнего зацепления межосевое расстояние смещает центр колеса вверх по оси Z на заданную величину, для внутреннего зацепления - вниз. При модели Число зубьев поле является расчётным.

Зазор. Опция доступна при использовании расчётного стандарта DIN ISO 21771 (вкладка Параметры расчёта геометрии поле Расчёт, стандарт). Позволяет задать номинальный нормальный боковой зазор.

Количество зубьев. Доступно два поля ввода значений: число зубьев шестерни и число зубьев колеса. Вводить можно только целочисленные положительные значения. Это нужно учитывать при параметризации. Число зубьев внутреннего колеса также задаётся целым положительным числом - это нужно помнить пользователям ориентирующимся на стандарты и методики, где число зубьев внутреннего колеса задаётся целым отрицательным числом. В модели Число зубьев всегда доступно для ввода оба поля: и число зубьев шестерни и число зубьев колеса. В модели Межосевое поля ввода чисел зубьев закрыты, но при установке флага рядом с полем его можно открыть для ввода. Система позволяет вводить количество зубьев только на одном из объектов: либо на шестерне либо на колесе, на втором объекте количество зубьев будет рассчитано автоматически.

Толщина. Доступно два поля ввода значений: толщина шестерни и толщина колеса.

Смещение. Доступно два поля ввода значений: смещение на шестерне и смещение на колесе. Смещение задаётся как коэффициент пропорциональности модулю. Ввод смещений доступен только для варианта расчёта смещений смещений Заданные. Подробнее о вариантах расчёта смещений можно прочитать в разделе Расчёт смещений.

Коеф. изменения головки зуба. Опция доступна при использовании расчётного стандарта DIN ISO 21771.

Ширина канавки. Поле становится доступным если выбрано построение шеврона. Задаёт значение ширины канавки на шевронной шестерне и колесе. Для колеса по умолчанию ширина канавки равна ширине канавки на шестерне. При установке флага рядом с полем будет доступна возможность ввода независимого значения ширины канавки на колесе.

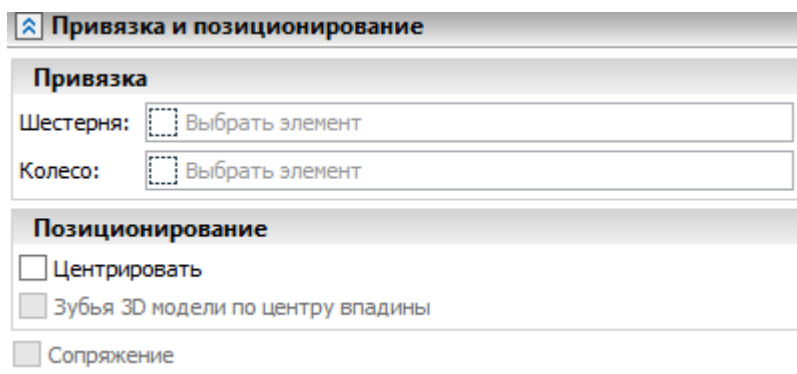
## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Вкладка содержит только расчётные информационные поля и не содержит полей для ввода значений. На данной вкладке отображаются основные геометрические расчётные параметры зубчатых шестерен и зацепления, такие как делительные диаметры и основной диаметры, толщина зубьев, коэффициенты перекрытия, величина зазора.

## ПРИВЯЗКА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

Доступны следующие варианты привязки:

- Привязка по двум валам: по цилиндрическим граням, по торцевым граням или смешанное;
- Привязка по шестерне: цилиндрическая грань, торцевая грань или ЛСК;
- Привязка по колесу: цилиндрическая грань, торцевая грань или ЛСК;



При осуществлении привязки выполняется проверка соосности, автоматически вычисляются параметры зависящие от заданного расположения шестерни и колеса, а сама передача всегда устанавливается в зацепление. Так, например, выбрав две цилиндрические грани можно задать межосевое расстояние и количество зубьев на шестернях, которое будет рассчитано из значений модуля и передаточного отношения

## СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

На данной вкладке отображаются стандартизированные параметры исходного контура. Перечень способ и доступность ввода зависят от выбранного стандарта в поле «Исходный контур».

Установка флага рядом с полем ввода параметра даёт возможность ввести значение отличное от стандартизированного. Все коэффициенты определяют геометрические параметры исходного контура пропорционально модулю.

## ПАРАМЕТРЫ ИНСТРУМЕНТА

Параметры инструмента зависят от выбранного типа инструмента. Тип инструмента определяет форму переходной кривой и расчёт диаметра впадин.

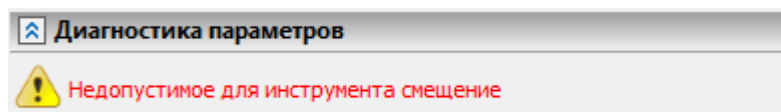
Доступны следующие типы инструмента:

- Фреза;
- Рейка;
- Долбляк.
- По стандарту

Выбор типа инструмента осуществляется из списка. Для внутреннего зацепления доступен только Долбляк и По Стандарту, что объясняется невозможностью получения внутреннего колеса инструментами типа Фреза или Рейка.

## ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ

На данной вкладке система информирует о возможных ошибках при вводе параметров. Если введённые параметры корректны - отображается сообщение «Геометрические параметры допустимы», а в окне **Диагностика** нет сообщений. Если введённые параметры недопустимы или допустимы с примечанием - будет выдано соответствующее предупреждение продублированное в окне **Диагностика**.



## КОРРЕКТИРОВКА РАСЧЁТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

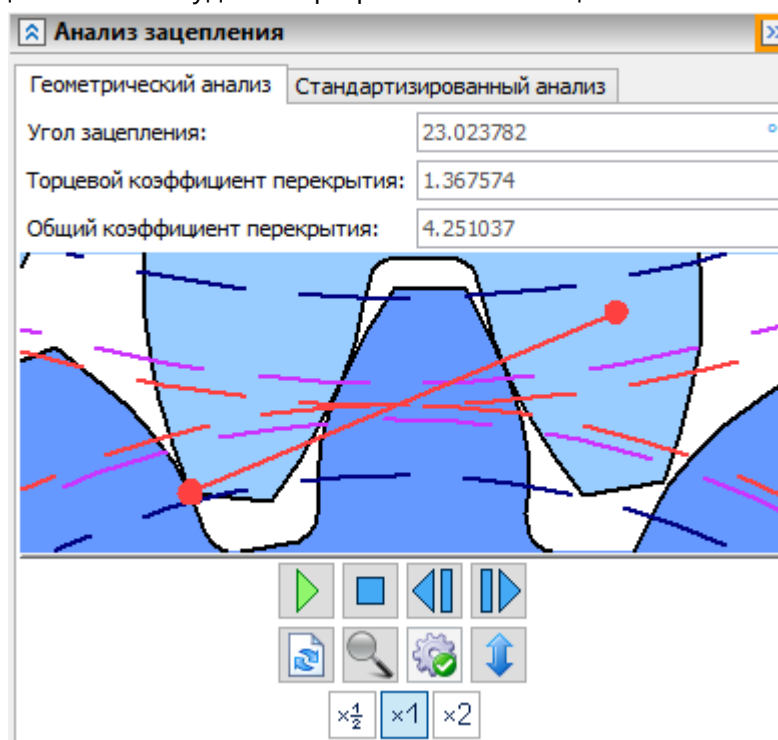
Доступна корректировка значений расчётных параметров, которые в силу технологии изготовления и точности сборки не могут быть выполнены с расчётной точностью.

## АНАЛИЗ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Анализ зацепления подразумевает геометрический анализ как полученной зубчатой пары в целом, так и оценку раздельную оценку геометрии шестерни и колеса. Анализ зацепления разделён на анализ визуальный, при помощи анимации, расположенный на закладке **Геометрический анализ**, и анализ согласно выбранному стандарту, который находится на закладке **Стандартизированный анализ**.

### Геометрический анализ

Вкладку можно перенести в отдельное окно при помощи пиктограммы в крайнем верхнем углу вкладки. Работа в отдельном окне удобна при работе с анимацией.



### Стандартизированный анализ

Доступны следующие варианты геометрического анализа:

- ГОСТ 16532;
- DIN ISO 21771;
- Численный расчёт.

ГОСТ 16532. При выборе данного стандарта перед началом расчёта можно ввести диаметры измерительных роликов (шариков) для шестерни и колеса. По умолчанию диаметр роликов (шариков) будет подобран по сортаменту согласно ГОСТ 2475-88. Подобранный диаметр показывается в соответствующих полях. Для ввода пользовательского значения необходимо поставить флаг рядом с названием поля. После нажатия кнопки **Начать анализ** появится окно с рассчитанными параметрами. Все обозначения выполнены согласно стандарту и имеют подсказку с полным названием параметра.

Для замера по общей нормали доступен выбор числа зубьев. В случае смены числа зубьев необходимо нажать кнопку **Расчёт** для обновления расчётных значений.

DIN ISO 21771. При выборе данного стандарта диаметр роликов (шариков) определяется согласно расчёту, указанному в DIN ISO 21771. Расчётный диаметр роликов (шариков) будет указан в окне стандартизированного геометрического анализа. При выборе данного стандарта перед началом

расчёта можно при помощи установки флага указать необходимость учитывать особенности DIN 21773. Все обозначения выполнены согласно стандарту и имеют подсказку с полным названием параметра.

Для замера по общей нормали доступен выбор числа зубьев из списка. Возможные значения числа зубьев в замере ограничены методиками приведёнными в DIN ISO. В случае смены числа зубьев необходимо нажать кнопку **Расчёт** для обновления расчётных значений.

Для тех параметров, предельные значения которых обозначены в DIN ISO 21771 в окне указывается предел. В случае, если расчётное значение выходит за обозначенный диапазон значение выделяется красным цветом.

**Численный расчёт.** В отличие от расчётов по стандартам, где все контрольные параметры определяются по выражениям приведённым в указанных стандартах и согласно введённым параметрам зубчатого зацепления, в численном расчёте контрольные параметры определяются по математической модели зубчатых колёс без использования формул стандартов. По аналогии с ГОСТ 16532 перед началом расчёта можно ввести диаметры измерительных роликов (шариков) для шестерни и колеса.

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На данной вкладке задаются условия работы передачи и материал зубчатых колёс.

Поля ввода значений мощности, количества оборотов и крутящего момента взаимосвязаны: можно ввести любые два из трёх параметров, третий будет рассчитан автоматически. Поля доступные для ввода определяются пользователем установкой флага рядом с названием соответствующего поля.

Материал можно задать отдельно для шестерни и колеса. Выбор материала производится из стандартного окна просмотра материалов, которое вызывается нажатием пиктограммы в правой части поля ввода материала. Материал определяет значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона необходимые для расчётов по анализу прочности.

## ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ

На данной закладке доступен расчёт допусков и отклонений согласно следующим стандартам:

- ГОСТ 1643-81 (для значений модуля равных 1 и более);
- ГОСТ 9178-81 (для значений модуля менее 1)
- ISO 1328;
- DIN 3962.

Для каждого стандарта необходимо указать качество точности и другие нормы изготовления и сопряжения зубчатых колёс, согласно исходным данным, которые предусмотрены соответствующим стандартом.

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

Можно проводить как качественную оценку влияния заданных параметров на напряжения возникающие на зубьях шестерни и колеса, реализованную на закладке «Графики анализа напряжений», так и количественную оценку прочностных характеристик, рассчитанных согласно выбранному стандарту, реализованную на закладке «Стандартизированный анализ».

## Графики анализа напряжений


На данной закладке в верхней части находится интерфейс опций расчёта и отображения прочностных характеристик.



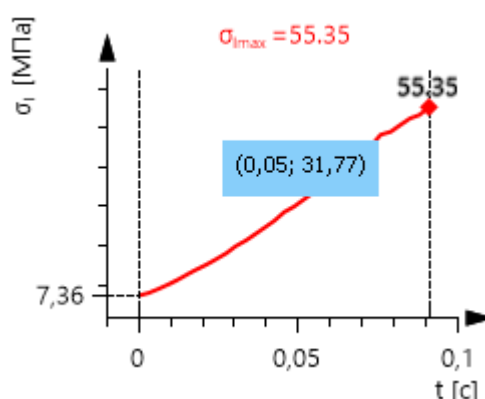
В нижней части отображаются четыре графика, позволяющие оценить влияние всех введённых параметров, от геометрии исходного контура и выбранного инструмента, до материала шестерни и колеса, на характер нагрузки зубчатой передачи:

- График длины линии зацепления;
- График скорости проскальзывания (или коэффициента проскальзывания);
- График изгибающих напряжений;
- График контактных напряжений.

Все графики построены в зависимости от времени, рассчитанном согласно нахождению в зацеплении одной пары зубьев, по сути произвольной, в типовом поперечном сечении, которое также может быть произвольным, но для понятности это торец шестерни.

Для актуализации графиков согласно введённым параметрам, или смене настроек отображения графиков, необходимо нажать кнопку  **Обновить** (кнопка дублирует кнопку обновления анимации в окне анимации).

При нажатии на линию графика ЛКМ будут показаны координаты ближайшей к курсору точки.



На всех графиках показаны экстремумы: для графика длины линии зацепления минимум, для остальных максимум. Для графиков напряжений, помимо экстремума текущего сечения, также указывается максимальное значение по всем расчётным поперечным сечениям.

## Стандартизированный анализ

Стандартизированный анализ позволяет произвести расчёт прочности и долговечности по выбранному стандарту.

Расчёт можно выполнить по следующим стандартам:

- ГОСТ 21354;
- ISO 6336;
- DIN 3990.

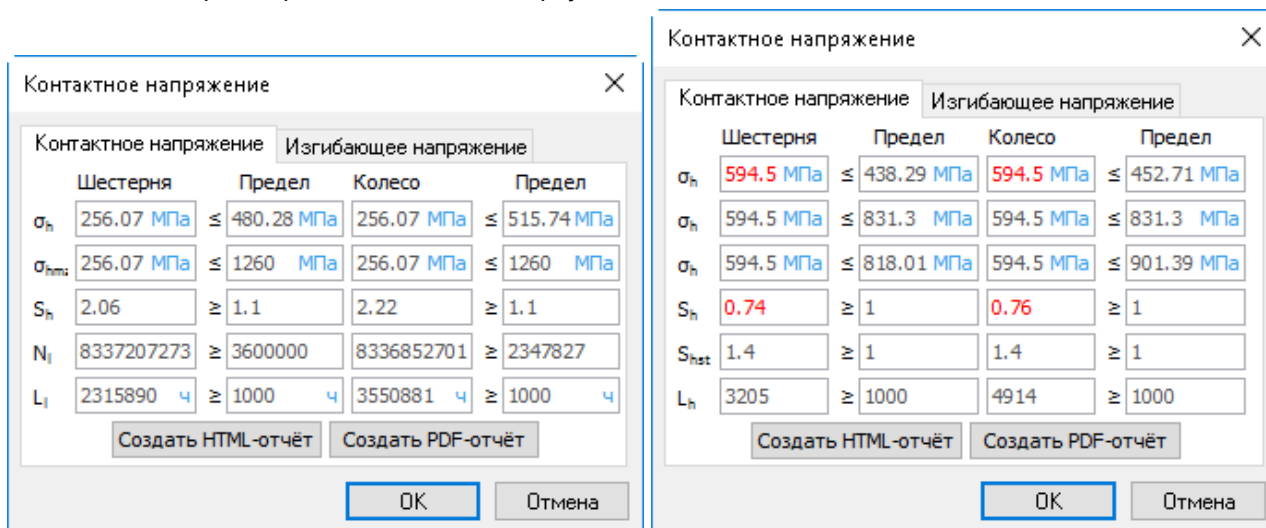
Диалог ввода параметров для расчёта по ГОСТ достаточно сильно отличается от диалога ввода параметров для ISO и DIN. Диалога ввода параметров для расчёта по ISO 6336 и DIN 3990 практически идентичны в силу того, что расчётные методики, описанные в данных стандартах схожи.

**Коэффициенты.** Кнопка открывает одноимённое модальное окно, где выводятся расчётные значения всех коэффициентов и некоторых других параметров расчётных методик стандарта. Как и в случае с основным диалогом стандартизированного анализа прочности количество коэффициентов и дополнительные параметры расчёта ГОСТ отличаются от похожих между собой DIN и ISO.

**Начать анализ.** Кнопка запускает расчёт, результаты которого отображаются в модальном окне. Согласно перечисленным стандартам проверка осуществляется по перечню контрольных



параметров отдельно по контактным и изгибающим напряжениям. В соответствии с этим окно разделено на две закладки. На каждый закладке обозначен контролируемый параметр и его предел. Предел в некоторых случаях является расчётной величиной согласно методикам стандарта, а в некоторых задаётся пользователем, например, требуемый ресурс. Если контролируемый параметр выходит за допустимый предел до он будет выделен красным. Для всех контролируемых параметров, обозначенных в окне символами, есть всплывающие подсказки, содержащие наименование параметра согласно стандарту.



## ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ

Эвольвента в поперечном сечении зуба и переходная кривая аппроксимируются сплайном. Для повышения точности аппроксимации для пользователя доступны параметры сплайна (параметры можно задать отдельно для шестерни и колеса).

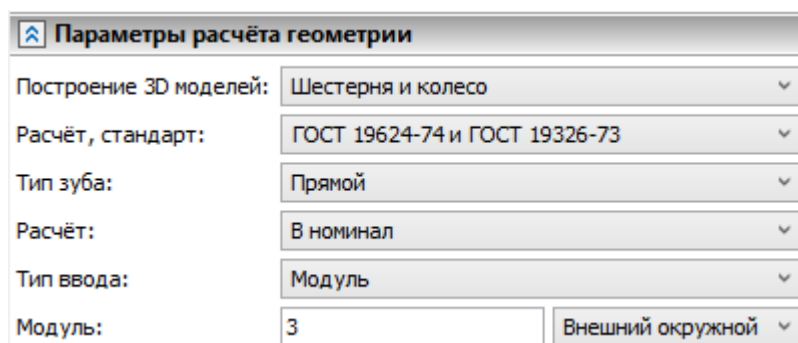
Тела шестерни и колеса получаются за счёт применения операции По траектории. Точность данной операции настраиваемая. При уменьшении данного параметра точность выполнения операции По траектории будет повышаться.

## КОНИЧЕСКОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ

Для построения конической передачи воспользуйтесь командой **Коническое зацепление** в группе Передачи. Построение и расчёт конического зацепления возможен по следующим стандартам по выбору пользователя: ГОСТ 19624-74 и ГОСТ 19326-73, ISO 23509, DIN 3971. Указанные стандарты регламентируют расчёт геометрии и исходный контур.

## ПАРАМЕТРЫ РАСЧЁТА ГЕОМЕТРИИ

Определяют контур и размер зубьев, вид шестерни (внутренняя или внешняя), а также способ ввода данных.



Построение 3D моделей. Опция позволяет выбрать из списка какие 3D объекты добавлять в сцену:

- Шестерня и колесо;
- Шестерня;
- Колесо.

Опция необходима при создании механизмов основанных на множественных связанных конических зацеплениях, где один из объектов является общим для двух или более зацеплений и не должен дублироваться.

Расчётный стандарт. Опция позволяет выбрать расчёт геометрии шестерен по стандартам:

- ГОСТ 19624-74 и ГОСТ 19326-73;
- ISO 23509;
- DIN 3971.

Стандарт расчёта определяет формулы расчёта геометрических параметров, параметры исходного контура, взаимосвязь и доступность ввода параметров передачи.

Тип зуба. Опция позволяет выбрать тип зубьев. В зависимости от выбранного стандарта расчёта список различный.

Для ISO:

- Прямой;
- Тангенциальный (аналог Косой в DIN): на развёртке конуса линии зуба представляют собой прямые линии, касательные к одной окружности;
- Спиральный постоянный: на делительной конической поверхности касательная к линии зуба имеет постоянный наклон;
- Спиральный: форма линий зуба определяется параметрами инструмента;
- Гипоидный (не доступен в текущей реализации команды).

Для ГОСТ:

- Прямой;
- Круговой (аналог Дуговой в DIN): форма линий зуба определяется параметрами инструмента.

Для DIN:

- Прямой;
- Косой (аналог Тангенциальный в ISO);
- Дуговой (аналог Круговой в ГОСТ).

Расчёт, метод. Доступен только для расчёта по ISO 23509. Определяет расчётный метод согласно терминологии ISO 23509. Метод "0" - расчёт конического зацепления. Методы с "1" до "3" - варианты расчёта гипоидного зацепления. Методы с "1" до "3" не доступны в текущей реализации команды.

Расчёт. Опция позволяет переключаться между вариантами построения геометрии по номинальным значениям, и с учётом пересчёта в середину поля допуска по выбранному стандарту. В текущей реализации команды доступен только вариант В номинал.

Тип ввода. Определяет главный определяющий параметр:

- Модуль;
- Диаметр;
- Конусное расстояние.

Модуль. Поле ввода значения модуля. Модуль может быть задан как:

- Средний нормальный (основной способ ввода для расчёта по ГОСТ 19326-73);
- Средний окружной (только для ISO);
- Внешний окружной (основной способ ввода для расчёта по ГОСТ 19624-74).

Для ГОСТ при варианте Средний нормальный, если выбран тип Круговой, доступен список значений модуля согласно ГОСТ 19326-73. При установке флага Другой - доступен ввод не из списка.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

Определяют тип передачи передаточное отношение, количество зубьев, толщину рабочей поверхности конусов и другие параметры в зависимости от выбранного расчётного стандарта и типа зубьев.

Основные параметры передачи	
Средний угол спирали колеса:	15
Межосевой угол:	90
Модель:	
Передаточное отношение:	1.4
Число зубьев:	Шестерня: 25 Колесо: 35
Ширина венца:	Шестерня: 25 мм Колесо: 25 мм
$K_\epsilon$ :	1
$x_{n+1,2}$ :	Шестерня: 0 Колесо: 0
Параметры, способ ввода:	Ввод значений
$x_{T1,2}$ :	Шестерня: 0 Колесо: 0

Средний угол спирали колеса. Параметр доступен если тип зуба отличается от прямого. Определяет средний угол наклона зуба (угол наклона в расчётном сечении) и шестерни и колеса, если передача не гипоидная, и средний угол колеса - если передача гипоидная.

Межосевой угол. Угол между осями конических шестерен.

Модель. Опция позволяет выбрать вариант ввода данных:

- Передаточное отношение: доступен ввод передаточного отношения и числа зубьев на шестерне или колесе (по установке флага);
- Число зубьев: доступен ввод числа зубьев на шестерне и колесе.

Передаточное отношение и Число зубьев поля могут быть расчётными или открыты для ввода в зависимости выбранной модели ввода.

Толщина. Определяет ширину зубчатого венца конических шестерен. Для ввода открыто только поле ширины колеса. Толщина шестерни - расчётная. Для не гипоидных передач толщина шестерни равна толщине колеса.

Другие поля на данной закладке зависят от выбранного расчётного стандарта.

Для ГОСТ 19624-74 и ГОСТ 19326-73/

Коэффициент смещения расчётного сечения. При значении равным 1 - расчётное сечение находится по середине зубчатого венца. При значениях от 0,8 до 1,2 смещается пропорционально заданному коэффициенту: при значении меньше 1 внутрь, при значении больше 1 - наружу от середины венца.

Средний нормальный коэффициент смещения. Для ввода открыто только поле шестерни. Коэффициент смещения колеса - всегда равен коэффициенту смещения шестерни с противоположным знаком.

Параметры, способ ввода. Определяет способ ввода коэффициента изменения расчётной толщины зуба шестерни и развода резцов зуборезной головки, доступны варианты:

- Ввод значений;
- По таблице: доступен если тип зуба Круговой и модуль задан как Средний нормальный, с значением из предложенного списка.

Коэффициент изменения расчётной толщины зуба. Для ввода открыто только поле шестерни. Коэффициент изменения расчётной толщины зуба колеса - всегда равен коэффициенту шестерни с противоположным знаком. Коэффициент изменения расчётной толщины зуба шестерни может быть подобран из таблицы, согласно ГОСТ 19326-73, в случае если способ ввода задан как По таблице.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

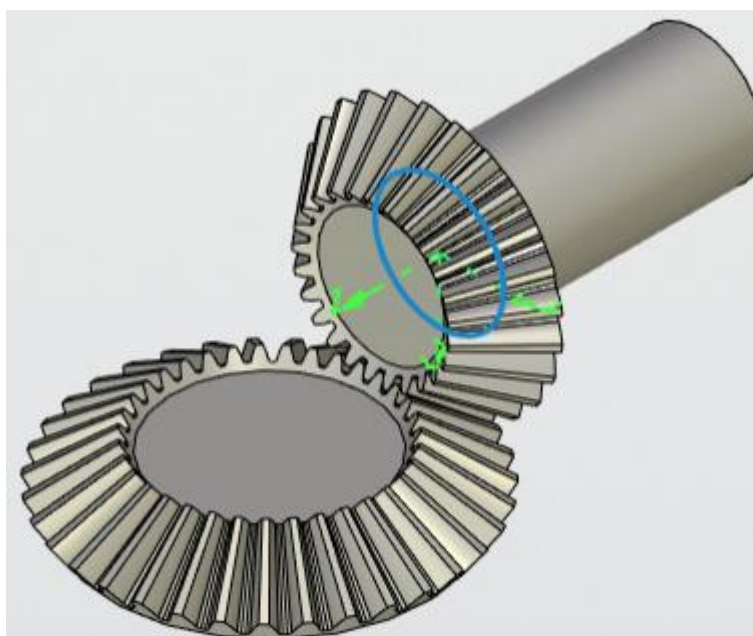
Вкладка содержит только расчётные информационные поля и не содержит полей для ввода значений. На данной вкладке отображаются основные геометрические расчётные параметры конических зубчатых шестерен и зацепления. Все значения в полях рассчитываются в режиме реального времени: расчётные значения отображаются согласно введёнными пользователем параметрам. Расчётные значения тематически сгруппированы на закладках.

## СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

На данной вкладке отображаются стандартизированные параметры исходного контура. А также параметры, согласно изложению в расчётных стандартах, относящиеся к исходному контуру. Состав параметров исходного контура целиком зависит от выбранного расчётного стандарта.

## ПРИВЯЗКА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

Привязать можно один объект - шестерню или колесо, или два объекта - и шестерню и колесо. В качестве объекта привязки может выступать либо круговая грань (торец вала) либо ЛСК (ось Z ЛСК совпадает с осью конуса). Для выбора способа привязки нужно указать соответствующее поле и выбрать в 3D сцене объект.



## КОРРЕКТИРОВКА РАСЧЁТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Доступна корректировка значений расчётных параметров, которые в силу технологии изготовления, точности сборки, конструктивных особенностей не могут быть выполнены без корректировки расчётных значений. В текущей реализации команды доступно добавление фаски.

## ПАРАМЕТРЫ ИНСТРУМЕНТА

Параметры инструмента зависят от выбранного расчётного стандарта. Для ГОСТ 19326-73 параметры инструмента доступны только если выбран вариант Круговой.

Номинальный диаметр зуборезной головки (шлифовального круга). Определяет диаметр (радиус) кругового зуба.

Метод обработки колеса:

- Односторонний метод обработки;
- Двусторонний метод обработки.

Развод резцов зуборезной головки для чистовой двусторонней обработки колеса. Параметр доступен в случае выбора двустороннего метода обработки. Параметр будет подобран из таблицы если в Параметрах, способ ввода указан способ ввода По таблице. В случае если выбран вариант Параметрах, способ ввода: Ввод значений, будет доступен список:

- Рассчитать: значение развода резцов будет рассчитано;
- Округлить согласно ГОСТ 11902-66: значение развода резцов будет рассчитано и округлено до ближайшего согласно ГОСТ 11902-66;
- Ввести значение: пользовательский ввод.

## ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ

На данной вкладке предусматривается настройка степени точности для расчета норм точности и допусков (например, допуск на радиальное биение).

Расчет на допуски можно производить по ГОСТ 1758-81, DIN 3965 и DIN 3967, ISO 17485. Рассчитанные значения используются в таблице параметров, создаваемой на чертеже а также как входные данные в Анализе прочности.

В зависимости от выбора стандарта для расчета меняются входные данные для ввода. От этого также будут зависеть данные на выходе.

## АНАЛИЗ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Анализ зацепления- это стандартизированный расчет параметров зацепления. Расчеты проводятся в по таким стандартам, как DIN 3971, ГОСТ 19624-74 и 19326-73, ISO 23509. В качестве входных используется расстояние до проверяемого сечения. Расстояние либо определяется автоматически, либо вводится вручную при поставленном флажке напротив соответствующего поля слева от соответствующего поля (Шестерня или колесо).

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На данной вкладке задаются условия работы передачи и материал зубчатых колёс. Поля ввода значений мощности, количества оборотов и крутящего момента взаимосвязаны: при вводе любых двух параметров, третий будет рассчитан автоматически.

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

На данной вкладке производится настройка расчета прочности зацепления. На данный момент расчет производится только по стандарту ISO 10300

⤴ **Анализ прочности**

Стандартизированный анализ

Стандарт прочности: ISO 10300

Метод: Метод В1

Зацепление
Шестерня
Колесо

Условия сборки шестерни и колеса: Нет консольного элемента

Контроль пятна контакта: Способ 1

Выпуклость профиля: Низкая

Параметры работы:

Ресурс: 1000 ч

Вязкость смазки: 100 мм<sup>2</sup>/с

Коэффициенты
Начать анализ

## ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ

Эвольвента и переходная кривая в окружном сечении зубьев, а также кривая задающая форму зуба аппроксимируются сплайном. Для повышения точности аппроксимации для пользователя на вкладке Параметры точности построения доступны настройки аппроксимации.

Точность операции "По сечениям". Тела шестерни и колеса получаются за счёт применения операции По сечениям. Точность данной операции настраиваемая. При уменьшении значения данного параметра точность выполнения операции По сечениям будет повышаться.

## ЧЕРВЯЧНОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ

Для построения командой **Червячное зацепление** в группе Передачи. Построение и расчёт червячного зацепления возможен по следующим стандартам по выбору пользователя: ГОСТ 19650-97, DIN3975 или ISO/TR10828. Указанные стандарты регламентируют расчёт геометрии. Для расчёта по ГОСТ исходный контур задаётся по ГОСТ 19036-94, ряд межосевых расстояний и передаточных отношений - ГОСТ 2144-76, ряд модулей и коэффициентов диаметра - ГОСТ 19672 - 74. Перечень параметров исходного контура и их значения по умолчанию, соответствуют вышеуказанным стандартам, или стандартам, на которые идёт ссылка в стандартах. Иными словами, выбор стандарта расчёта геометрии автоматически определяет соответствующий стандарт исходного контура.

## ПАРАМЕТРЫ РАСЧЁТА ГЕОМЕТРИИ

На данной вкладке осуществляется выбор методик расчёта геометрии.

⤴ **Параметры расчёта геометрии**

Построение 3D моделей: Червяк и колесо

Тип:

Расчёт, стандарт: ГОСТ 19650-97

Тип: ZA

Расчёт: Номинал

Модуль/Шаг: 4 По модулю

Построение 3D моделей. Опция позволяет выбрать из списка какие 3D объекты добавлять в сцену:

- Червяк и колесо;
- Червяк;
- Колесо.

Тип. Цилиндрическая или глобоидная передача.

Опция необходима при создании механизмов основанных на множественных связанных червячных зацеплениях, где один из объектов является общим для двух или более зацеплений и не должен дублироваться.

Расчётный стандарт. Опция позволяет выбрать расчёт геометрии шестерен по стандартам:

- ГОСТ 19650-97;
- ISO/TR 10828;
- DIN 3975.

Стандарт расчёта определяет формулы расчёта геометрических параметров, параметры исходного контура, взаимосвязь и доступность ввода параметров передачи.

Тип. Опция позволяет выбрать тип червяка. В зависимости от выбранного стандарта расчёта список различный.

Расчёт. Данная настройка позволяет выбрать расчёт и построение геометрии с следующими опциями:




- По верхнему пределу;
- Номинал;
- По нижнему пределу.

Модуль/шаг. Ввод значений шага или модуля. Выбор шага или модуля производится в выпадающем списке справа от поля ввода. Ввод модуля предусмотрен в два варианта: из стандартного ряда значений (выпадающий список) и ручной ввод с клавиатуры.

При выборе расчёта по ISO/TR 10828 шаг и модуль могут быть разделены ещё на два варианта: Нормальный и Осевой/Поперечный.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

Определяют передаточное отношение, количество зубьев, межосевое расстояние и другие параметры в зависимости от выбранного расчётного стандарта и типа червяка.

Основные параметры передачи	
Модель:	
Передаточное отношение:	20.5
Число зубьев:	Червяк: 2 Колесо: 41
Способ ввода:	По межосевому расстоянию и коэффициенту диам
<input type="checkbox"/> Межосевое расстояние:	100
Коэффициент смещения червяка:	0
<input type="checkbox"/> Коэффициент диаметра червяка:	9
Угол подъёма червяка:	12.528808  
<input type="checkbox"/> Длина червяка:	85.866948 мм
<input type="checkbox"/> Ширина колеса:	33 мм

Модель. Опция позволяет выбрать из двух способов расчета:



- Передаточное отношение. В данном случае, активируется поле ввода значения Передаточного отношения. При этом также необходимо указать число зубьев либо для Колеса, либо для Червяка.
- Число зубьев. Здесь поле Передаточное отношение блокируется (ввод значения невозможен). Для расчёта необходимо указать и число витков червяка и число зубьев колеса.

Способ ввода. При выборе ГОСТ 19650-97 предусматривает два варианта ввода:

- По смещению и коэффициенту диаметра. Поле Межосевое расстояние блокируется;
- По межосевому расстоянию и коэффициенту диаметра. Поле Коэффициент смещения червяка блокируется.

Коэффициент диаметра червяка. Данный параметр можно выбрать для расчёта из списка стандартных значений. При установке галочки справа от параметра открывается возможность ввести числовое значение.

Поле угол подъема червяка для ГОСТ 19650-97 заблокировано. Представляется возможным лишь выбор направления спирали.

При выборе DIN 3975 или ISO/TR 10828 предусматривается четыре варианта ввода:

- По межосевому расстоянию и смещению. Поля Делительный диаметр червяка и Угол подъема червяка блокируются;
- По углу подъема и смещению. Поля Межосевое расстояние и Делительный диаметр червяка блокируются;
- По делительному диаметру и смещению. Поля Межосевое расстояние и Угол подъема червяка блокируются;
- По межосевому расстоянию и делительному диаметру. Поля Смещение на колесе и Угол подъема червяка блокируются.

При блокировании поля Угол подъема червяка представляется возможным лишь выбор направления спирали.

Длина червяка и Ширина колеса. По умолчанию, данные параметры рассчитываются по выбранным стандартам. После установки галочки слева от поля ввода появляется возможность ввода указанных параметров вручную.

Осовой зазор. Параметр доступный только при выборе ISO/TR 10828. Для ГОСТ 19650-97 и DIN 3975 зазор рассчитывается из отклонений, если выбран вариант расчёта не в Номинал.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Вкладка содержит только расчётные информационные поля и не содержит полей для ввода значений. На данной вкладке отображаются основные геометрические расчётные параметры червяка и червячного колеса. Все значения в полях рассчитываются в режиме реального времени: расчётные значения отображаются согласно введёнными пользователем параметрам. Расчётные значения тематически сгруппированы на вкладках.

## СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

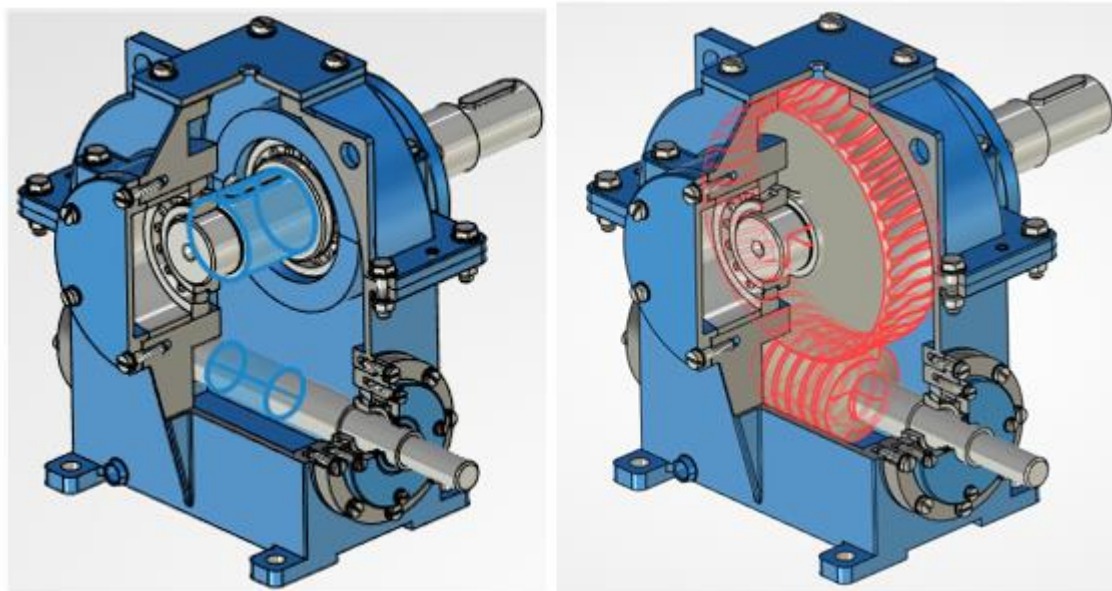
На данной вкладке отображаются стандартизированные параметры расчета геометрии червяка и колеса. А также параметры, согласно изложению в расчётных стандартах, относящиеся к исходному контуру. Состав параметров исходного контура целиком зависит от выбранного расчётного стандарта.



## ПРИВЯЗКА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

В данной вкладке задаются геометрические привязки червяка и червячного колеса. Привязку возможно осуществить к трем видам объектов: цилиндрическая поверхность, плоская круговая грань, локальная система координат (ЛСК).

При указании привязки для двух объектов межосевое расстояние вычисляется автоматически.



## ПАРАМЕТРЫ ИНСТРУМЕНТА

На данной вкладке осуществляется ввод параметров инструмента. Число параметров и их характер зависят от Стандарта и от Типа червяка выбранных во вкладке Параметры расчёта геометрии.

## КОРРЕКТИРОВКА РАСЧЁТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Доступна корректировка параметров, которые в силу технологии изготовления, точности сборки, конструктивных особенностей не могут быть выполнены без корректировки расчётных значений. В текущей реализации команды доступно добавление фаски.

## ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ

На данной закладке предусматривается настройка степени точности для расчета норм точности и допусков (например, допуск на радиальное биение).

Расчет на допуски можно производить по ГОСТ 3675-81, DIN 3974 и DIN 3967. Рассчитанные значения используются в таблице параметров, создаваемой на чертеже а также как входные данные в Анализе прочности.

## АНАЛИЗ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Анализ зацепления позволяет получить информацию для контроля зацепления, результаты доступны для добавления в отчёт. Контроль может осуществляться по ГОСТ 19650-97 или по DIN 3967 и DIN 3977.

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

На данной вкладке производится настройка расчета прочности зацепления. Проведение анализа прочности возможно по стандартам ISO/TS14521:2020 и DIN3996.

**Анализ прочности**

Стандартизированный анализ

Стандарт прочности: ISO/TS 14521:2020

Метод: Метод С

Нагрузки | **Материалы** | Смазка | Дополнительно

Привод: Червяк

Нагрузка задана: По колесу

Номинальный выходной момент: 50 Н·м

Частота вращения: 500 об/мин

Коэффициент вида нагрузки: 1

Ресурс: 5000 ч

Число пусков в час: 10

Коэффициенты | Начать анализ

Входные параметры для стандарта ISO/TS14521:2020 и DIN3996 практически не отличаются.

## ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ

Рабочая и переходная образующие в окружном сечении зубьев аппроксимируются сплайном. Для повышения точности аппроксимации для пользователя на вкладке Параметры точности построения доступны настройки аппроксимации.

Точность операции "По сечениям". Тело колеса получается за счёт применения операции По сечениям. Точность данной операции настраиваемая. При уменьшении значения данного параметра точность выполнения операции По сечениям будет повышаться.

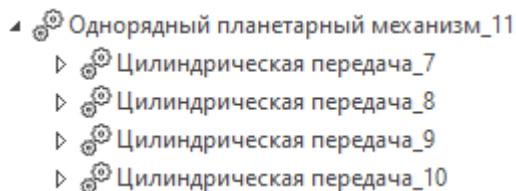
Точность операции "По сечениям". Тело червяка получается за счёт применения операции По сечениям. Точность данной операции настраиваемая. При уменьшении значения данного параметра точность выполнения операции По сечениям будет повышаться.

## МЕХАНИЗМЫ

Команды создания типовых механизмов существенно упрощает процесс подбора вариантов исполнения сложного механизма, состоящего из нескольких зацеплений, а также упрощает создание 3D моделей. Команды создания механизмов **Однорядный планетарный** и **Цепочка шестерен** выполняют следующие основные функции:

- Создание планетарного механизма;
- Создание цепочки шестерен;
- Автоматическое выставление в позицию зацепления всех элементов зацепления;
- Генерация списка возможных решений для заданных параметров (с поясняющими подсказками);
- Отдельный диалог и отдельный объект для каждого типа механизма с возможностью редактирования;
- Возможность редактирования каждого зацепления механизма по отдельности.

В результате выполнения команды создаётся заданное число зацеплений каждое из которых доступно для более подробного редактирования через диалог команды **Зацепление**.

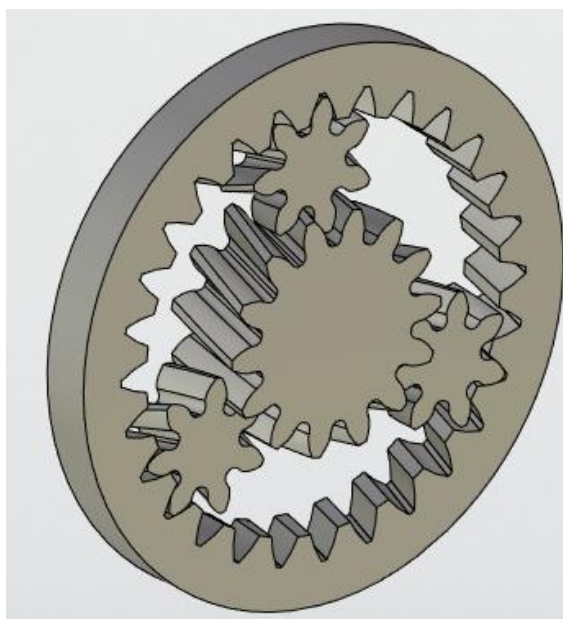


### ОДНОРЯДНЫЙ ПЛАНЕТАРНЫЙ МЕХАНИЗМ

У команды **Однорядный планетарный** свой отдельный диалог, у котором можно определить стандарт по которому будет рассчитан механизм, а также его механические и геометрические характеристики. Согласно выбранным параметрам предлагается список возможных решений с разным значением модуля, из которого пользователь выбирает оптимальное.

Модуль m	Солнечная шестерня			Сателлит			Коронная шестерня		
	z	x	$u_1$	z	x	$u_2$	z	x	u
10	13	0.185	0.462	6	0.4	4.333	26	0.4	2
7	19	0.098	0.474	9	0.208	4.222	38	0.41	2
5.5	24	0.063	0.5	12	0.126	4	48	-0.063	2
5	27	-0.153	0.519	14	-0.296	3.857	54	-0.296	2
3.5	38	0.024	0.5	19	0.048	4	76	-0.024	2
2	67	-0.162	0.507	34	-0.319	3.941	134	-0.319	2
1.75	76	0.048	0.5	38	0.096	4	152	-0.048	2
1.5	89	-0.11	0.506	45	-0.217	3.956	178	-0.385	2
1.375	97	-0.09	0.505	49	-0.179	3.959	194	-0.409	2
1.25	107	-0.164	0.505	54	-0.324	3.963	214	-0.324	2
1.125	119	-0.199	0.504	60	-0.396	3.967	238	-0.285	2

После выбора варианта исполнения и нажатия кнопки **ОК** будет построена 3D модель механизма.



В случае нажатия кнопки **Отмена** – можно будет вернуться в диалог команды.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

На данной закладке доступен выбор стандартов, определяющих построение геометрии шестерен механизма.

**Исходный контур.** Опция позволяет выбрать из списка следующие стандарты:

- ГОСТ 13755-2015;
- ISO 53;
- DIN 867;
- Заданный.

**Модуль, стандарт.** Определяет список значений модулей допускаемых указанным стандартом:


- ГОСТ 9563-60;
- ISO 54-96;
- DIN 780;

**Расчётный стандарт.** Опция позволяет выбрать расчёт геометрии шестерен по стандартам:

- ГОСТ 16532;
- DIN ISO 21771.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

На закладке собраны параметры, определяющие исполнение механизма также его механические характеристики.

Основные параметры передачи	
Входной элемент:	Солнечная шестерня
Выходной элемент:	Коронная шестерня
Общее передаточное отношение:	2
Точность поиска передаточного отношения:	0.1
<input type="checkbox"/> Показывать решение, не входящее в допуск	
Межосевое расстояние:	100 мм
Расчёт смещений:	Автоматический
Число сателлитов:	3
Наклон зубьев:	10 
<input type="checkbox"/> Пообъектная толщина	
Ширина венца:	35
Предельный коэффициент перекрытия:	1
<input type="checkbox"/> Учитывать пересечения	

**Входной элемент.** Определяет какой элемент планетарного механизма будет на приводном валу:

- Солнечная шестерня;
- Водило;
- Коронная шестерня.

**Выходной элемент.** Определяет какой элемент планетарного механизма будет на выходном валу:

- Солнечная шестерня;
- Водило;
- Коронная шестерня.

Автоматически исключается вариант, когда одни и тот же элемент является входным и выходным.

**Общее передаточное отношение.** Определяет передаточное отношение между входным и выходным элементом.

**Точность поиска передаточного отношения.** Параметр является фильтром по допустимой погрешности при выводе таблицы возможных вариантов исполнения механизма.

**Показывать решение, не входящее в допуск.** Опция отменяет фильтрацию решений, не входящих в допуск по рассчитанному передаточному отношению.

**Межосевое расстояние.** Определяет межосевое расстояние между солнечной шестерней и сателлитами (центр коронной и солнечной шестерен совпадает).

**Число сателлитов.** Целое число, определяющее число сателлитов. При задании данного параметра нужно помнить, что большое число сателлитов может привести к само пересечениям и невозможностью сборки.

**Наклон зубьев.** Поле позволяет задать наклон зубьев на делительном диаметре.

**Ширина венца.** Задаёт толщину элементов механизма.

**Пообъектная толщина.** Опция позволяет ввести толщину для каждого элемента отдельно.

**Предельный коэффициент перекрытия.** Параметр является фильтром при поиске решений. При коэффициенте торцевого перекрытия менее указанного, решение будет отсеиваться.

**Учитывать пересечения.** Параметр является фильтром. При наличии пересечений решение будет отсеиваться или нет в зависимости от выбранного варианта. Опция позволяет не исключать

коронные шестерни пересечение с которыми может быть исправлено корректировкой диаметра вершин.

Все подробные корректировки осуществляются в режиме редактирования конкретного зацепления.

## СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Закладка аналогична закладке команды **Зацепление**. Позволяет настроить параметры исходного контура.

## ПРИВЯЗКА

Планетарный механизм привязывается к центру солнечной шестерни. Привязку можно сделать к элементу 3D модели или ЛСК.

Опция **Центрировать** позволяет отцентрировать элементы механизма в случае если их толщина различная.

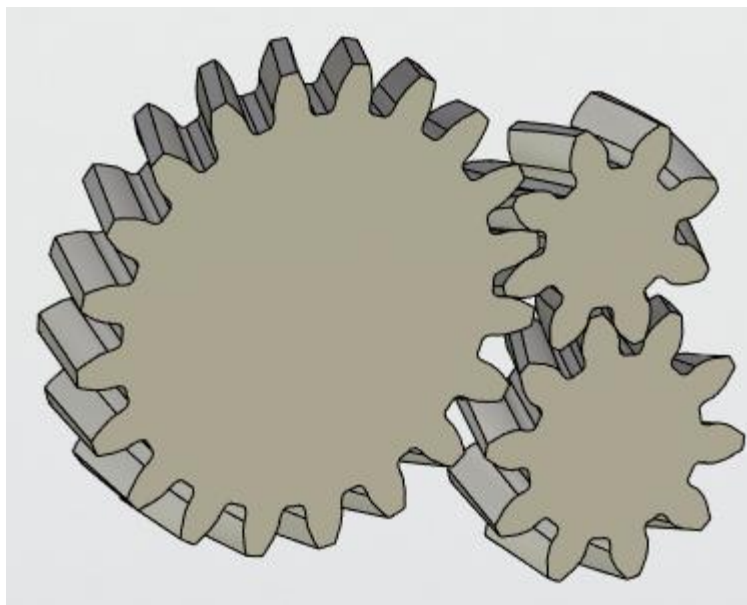
## ФАСКА

При установке флага на торцы элементов механизма будут добавлены фаски. Доступно два способа ввода фаски: **Смещение - Угол** и **Смещения**.

## ЦЕПОЧКА ТРЁХ ШЕСТЕРЕН

У команды **Цепочка шестерен** свой отдельный диалог, у котором можно определить стандарт по которому будет рассчитана цепочка из трёх шестерен, а также задать механические и геометрические характеристики. Согласно выбранным параметрам предлагается список возможных решений с разным значением модуля, из которого пользователь выбирает оптимальное.

После выбора варианта исполнения и нажатия кнопки **ОК** будет построена 3D модель механизма.



В случае нажатия кнопки **Отмена** – можно будет вернуться в диалог команды.

Закладки «Геометрические параметры», «Стандартизированные параметры», «Фаска» - аналогичны команде создания планетарного механизма.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

На закладке собраны параметры, определяющие исполнение механизма также его механические характеристики.

**Модель.** Определяет способ расчёта зацеплений в механизме:

- 2 межосевых
- Межосевое – Число зубьев;
- Число зубьев – Межосевое;
- Число зубьев – Число зубьев.

Выбранная модель определяет тип и количество вводимых параметров. Для модели **2 межосевых** нужно ввести общее передаточное отношение и два межосевых расстояния. Для модели **Число зубьев – Число зубьев** нужно ввести число зубьев всех трёх шестерен и смещения на всех шестернях. В двух оставшихся моделях нужно ввести для двух шестерен число зубьев и смещения, а для одного зацепления межосевое расстояние и передаточное отношение.

**Угол между парами зацеплений.** Определяет угол между отрезками соединяющими центры шестерен. Иными словами угол, между плоскостями в которых лежат валы шестерен.

**Наклон зубьев.** Поле позволяет задать наклон зубьев на делительном диаметре.

**Толщина.** Задаёт толщину элементов механизма.

**Пообъектная толщина.** Опция позволяет ввести толщину для каждого элемента отдельно.

**Точность поиска передаточного отношения.** Параметр является фильтром по допустимой погрешности при выводе таблицы возможных вариантов исполнения механизма.

**Показывать решение, не входящее в допуск.** Опция отменяет фильтрацию решений, не входящих в допуск по рассчитанному передаточному отношению.

**Предельный коэффициент перекрытия.** Параметр является фильтром при поиске решений. При коэффициенте торцевого перекрытия менее указанного, решение будет отсеиваться.

**Есть пересечение.** Параметр является фильтром. При наличии пересечений решение будет отсеиваться или нет в зависимости от выбранного варианта.

## ПРИВЯЗКА

Цепочка шестерен привязывается к центру первой шестерни. Привязку можно сделать к элементу 3D модели или ЛСК.

Опция **Центрировать** позволяет отцентрировать элементы цепочки в случае если их толщина различная.



## ДЕТАЛИ

Команды создания деталей существенно упрощают процесс проектирования сложных, но типовых деталей машин. Команды создания механизмов **Вал** и **Колесо** выполняют следующие основные функции:

- Создание/проектирование вала;
- Создание/проектирование колеса;
- Гибкое интегрирование с соединениями и зацеплениями в сборке;
- Расчёт Вала на прочность с построением эпюр;

### ВАЛ





















#### ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Вкладка содержит в себе элемент управления, представляющий собой таблицу, каждая строка которой описывает ступень вала. Последовательность ступеней соответствует очередности строк в данной таблице. Столбцы в каждой строке описывают:

Тип ступени соответствует вкладке Основная геометрия в разделе Редактирование геометрии ступени.

**Основные параметры**

Наружные поверхности:

№	Тип	Кромка 1	Кромка 2	Соединения
1				
2				
3				
4				
5				

Наружные поверхности
Внутренние поверхности

Элемент управления имеет также кнопки для редактирования количества и очередности ступеней:






- Добавить элемент перед текущим – добавляет новую ступень располагая её перед(выше) текущей;
- Добавить элемент после текущего – добавляет новую ступень располагая её после(ниже) текущей;
- Переместить элемент вверх – поднимает текущую ступень выше, меняя её местами с предыдущей;
- Переместить элемент вниз – опускает текущую ступень ниже меняя её местами со следующей;



- Удалить элемент – удаляет текущую ступень, назначая текущей ступень с таким же порядковым номером (за исключением некоторых случаев, например, когда удаляется последняя ступень);
- Разделить – заменяет текущую ступень двумя новыми, длина новых ступеней равно половине от текущей. Новой текущей ступенью назначается ступень с таким же порядковым номером.).

## РЕДАКТИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СТУПЕНИ – ОСНОВНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

Вкладка **Редактирование геометрии ступени** соотносится с каждой строкой списка ступеней и изменяет каждую ступень вала согласно указанным характеристикам

Тип ступени:	  
Параметры конуса:	Высота, угол и диаметр 1
Диаметр 1:	65 мм <input type="checkbox"/>
Диаметр 2:	68.492 мм <input type="checkbox"/>
Длина:	50 мм
Угол:	2  
<b>Привязка начала ступени</b>	
Объект привязки:	<input type="text" value="Выбрать элемент"/>
Отступ:	0 мм
<b>Привязка конца ступени</b>	
Объект привязки:	<input type="text" value="Выбрать элемент"/>
Отступ:	0 мм

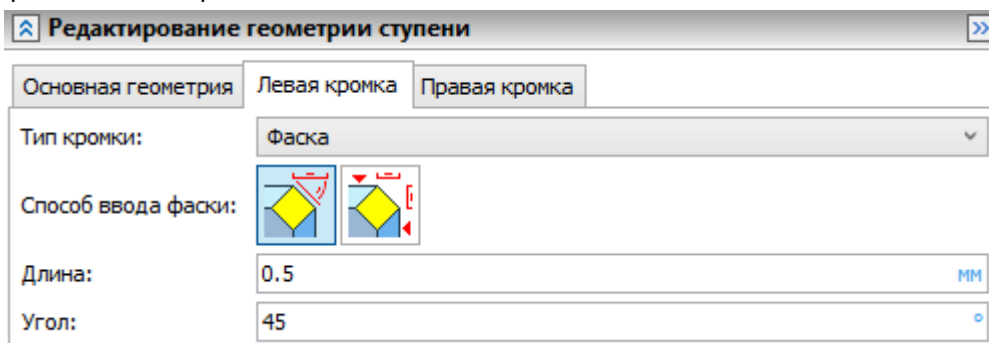
Элементы управления здесь:

1. **Тип ступени** – Выбор типа ступени вала. К ним относятся: **Цилиндр**, **Конус**, **Многоугольник** и **Соединение**. **Соединение** предназначено для создания связи указанной ступени вала и его геометрии с одной из команд **Детали Машин** (например, шлицевое или шпоночное соединение, зубчатое зацепление и тд.).
2. **Диаметр**, **Высота** и тд. – Геометрические характеристики, определяющие геометрию для выбранного типа ступени. На картинке показы параметры для цилиндрической ступени, для других типов ступени вала количество и характер параметров отличается.
3. **Привязка начала ступени** и **Привязка конца ступени**. Поля предусмотренные для всех ступеней вала, позволяют определять геометрию вала (преимущественно влияя на длину/высоту ступеней).

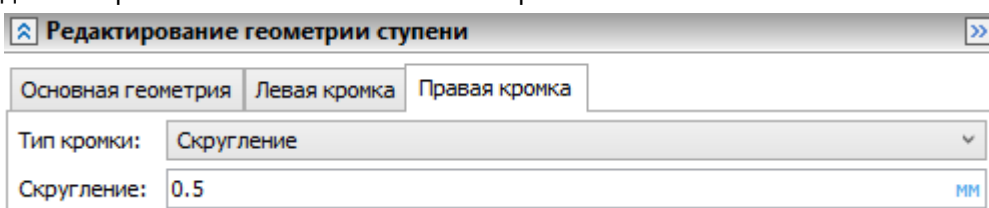
## РЕДАКТИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СТУПЕНИ – КРОМКИ

Для ввода и определения геометрии кромок ступеней вала предусмотрены две вкладки – для **правой** и для **левой кромок**. Здесь добавлен выпадающий список, в котором при необходимости можно выбрать тип доработки кромок: фаска, скругление, выход шлиф. круга и тд. (список будет

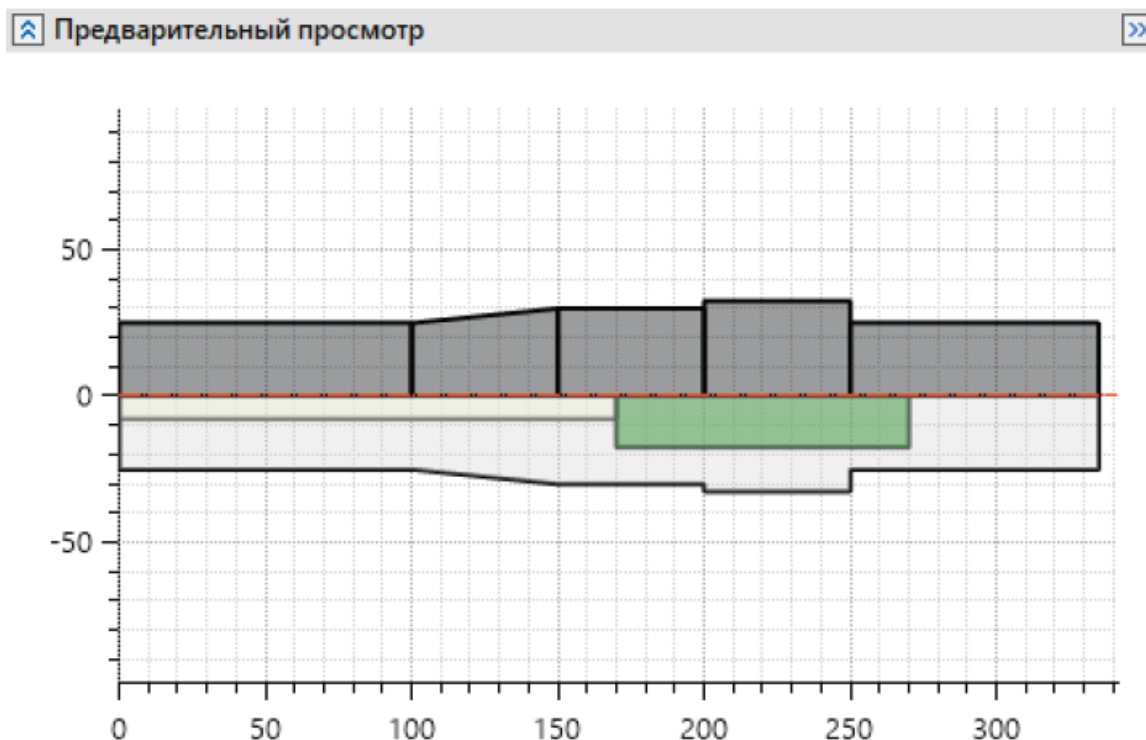
расширяться). В зависимости от выбранного типа кромки меняется состав и характер элементов ввода геометрии. Так, например, для фаски элемент **Способ ввода** даёт выбор между **По углу и длине** и **По двум длинам**. Поля ввода **Длина** и **Угол** передают числовые значения для дальнейшего расчёт геометрии.



При выборе Типа Кромки **Скругление** для ввода доступно только одно поле – значение достаточное для построения обозначенной геометрии.



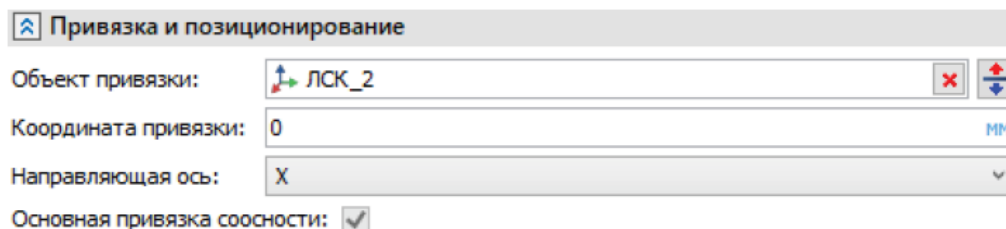
## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПРОСМОТР



Вкладка предварительный просмотр даёт пользователю возможность увидеть визуализацию ступеней вала до непосредственной генерации 3D-геометрии. **Предварительный просмотр** строится на основе указанной пользователем информации во вкладке **Редактирование геометрии ступени** при использовании навигации во вкладке **Основные параметры**.

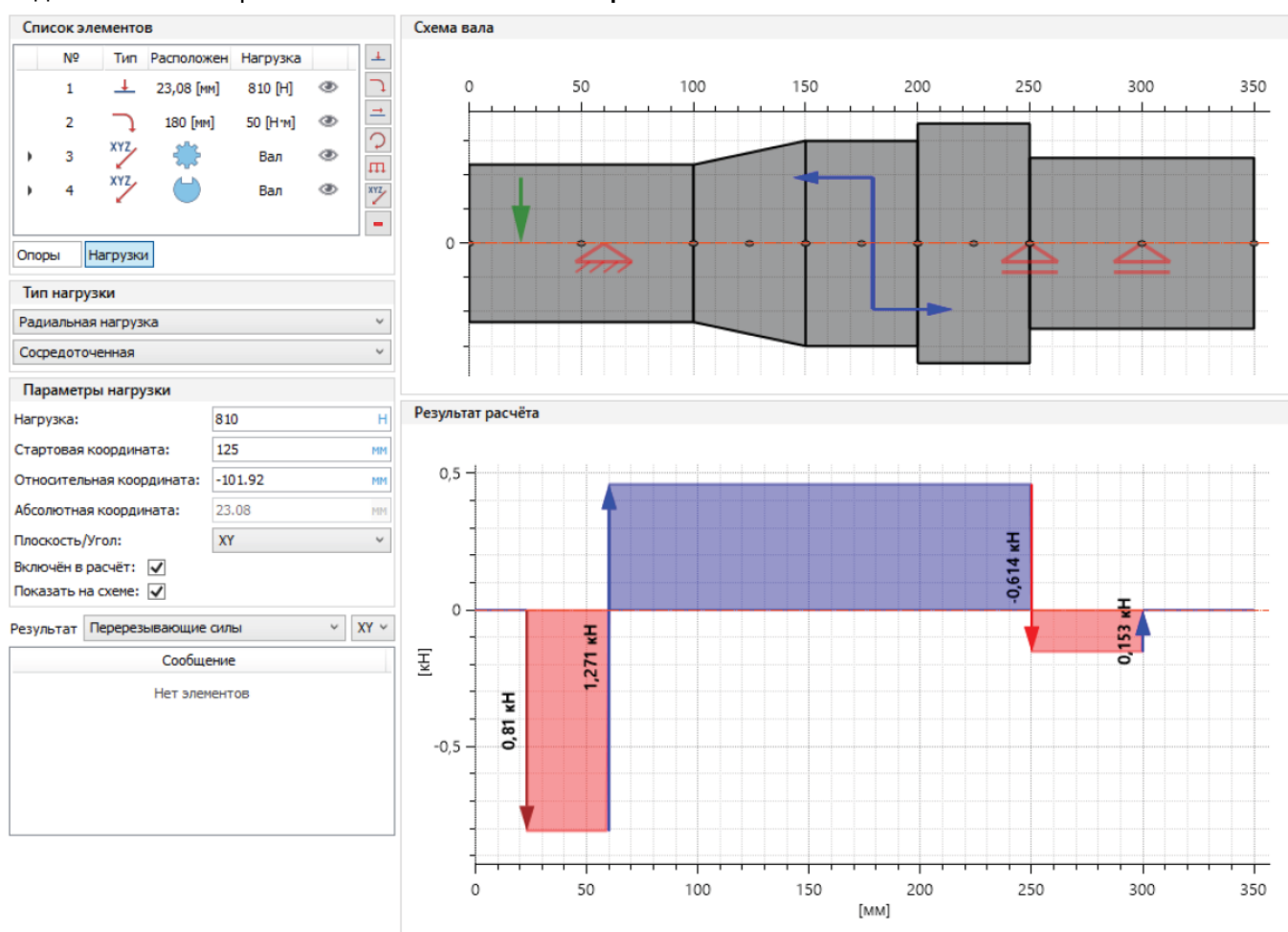
## ПРИВЯЗКА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

Элементы управления представленные во вкладке **Привязка и позиционирование** позволяют выбрать опорную геометрию (ЛСК), которые определяют положение и ориентацию вала в сборке.



## РАСЧЁТ ПРОЧНОСТИ

Команда вал также предусматривает расчёт прочности. **Расчёт прочности** открывается в отдельном окне при нажатии кнопки **Расчёт прочности**.



Окно расчёт прочности вала состоит из пяти блоков:

- Список элементов;
- Тип нагрузки;
- Параметры нагрузки;
- Схема вала;
- Результат расчёта.

1. Список элементов. У данного блока есть два режима отображения: **Опоры** и **Нагрузки**. Режимы переключаются соответствующими кнопками непосредственно под списком.

Список обеспечивает навигацию и отображение **Опор** и **Нагрузок**, приложенных к валу. Также список имеет кнопки **Создать** и **Удалить** элемент. Что позволяет создать или удалить опору, или приложенную нагрузку.

2. Тип нагрузки. Здесь осуществляется выбор между такими нагрузками как **Радиальная нагрузка**, **Осевая нагрузка**, **Изгибающий момент** и тд. Каждая из этих нагрузок имеет тип приложения: **Сосредоточенная** или **Распределенная**.

## КОЛЕСО

Команда «Колесо» предназначена для создания объекта, являющегося промежуточным звеном между валом и элементом передачи внутри системы «Детали машин».

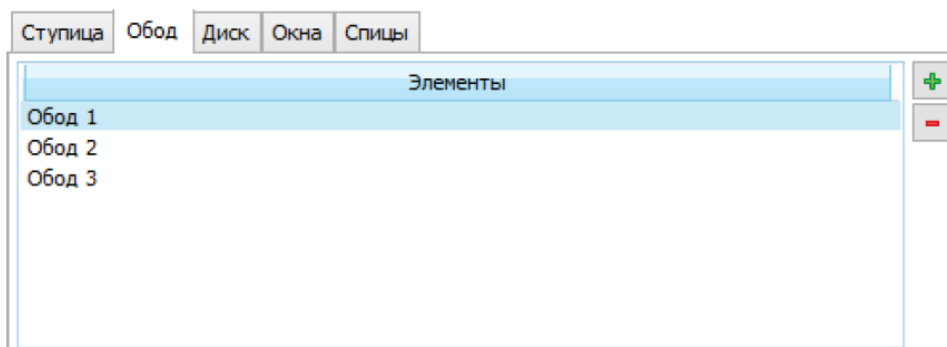
Реализована наиболее распространённая в машиностроении базовая конфигурация колеса, состоящая из ступицы, обода и диска между ними. Также доступно создание окон для облегчения конструкции.

Дополнительные возможности:

- Создание блока-шестерён;
- Создание сварного колеса;
- Создание составного колеса;
- Создание колёса со спицами;
- Создание барабана.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Выбор активного редактируемого элемента колеса. Интерфейс выбора активного элемента колеса. Задаёт список опций выбранного элемента для редактирования.



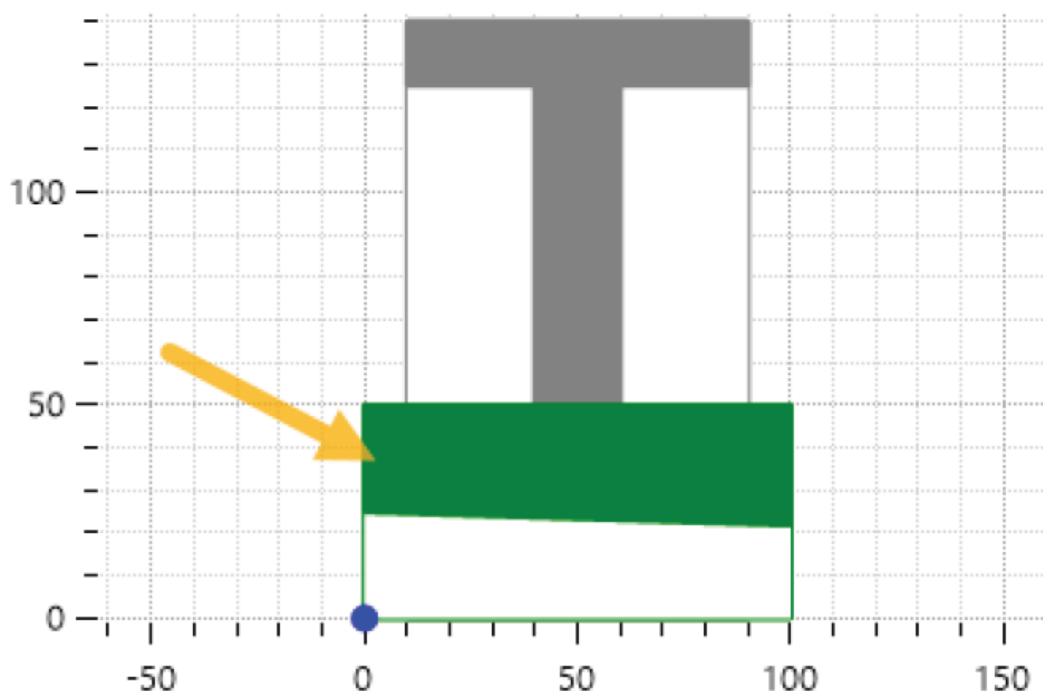
**Сварная конструкция.** Опция позволяет выбрать сварной тип колеса.

**Радиус скругления.** Опция позволяет задать радиусы скруглений на элементах колеса.

**Радиус сопряжения.** Опция позволяет задать радиусы сопряжений между элементами колеса.

**Литейные уклоны.** Опция позволяет задать уклоны литья.

## СТУПИЦА



Каждая ступица в колесе может быть привязана к круговой грани, круговому ребру или ЛСК.

**Привязка позиционирования. Круговая грань или ЛСК.** Интерфейс выбора привязки.

**Направляющая ось.** Опция выбора главной оси колеса.

Внутренний диаметр ступицы можно задать путём выбора цилиндрической грани на существующем объекте.

**Привязка к поверхности. Цилиндр или конус.** Интерфейс выбора привязки.

Ступица может быть соединена по внутренней поверхности отверстия с объектом «Вал» путём установки соединения «Шлицевое соединение» или «Шпоночное соединение».

**Тип сопряжённой передачи.** Опция позволяет выбрать тип соединения. Варианты:

- Шлицевое соединение;
- Шпоночное соединение.

**Привязанное соединение. Фрагмент передачи.** Интерфейс выбора соединения.

**Длина.** Опция позволяет задать длину ступицы.

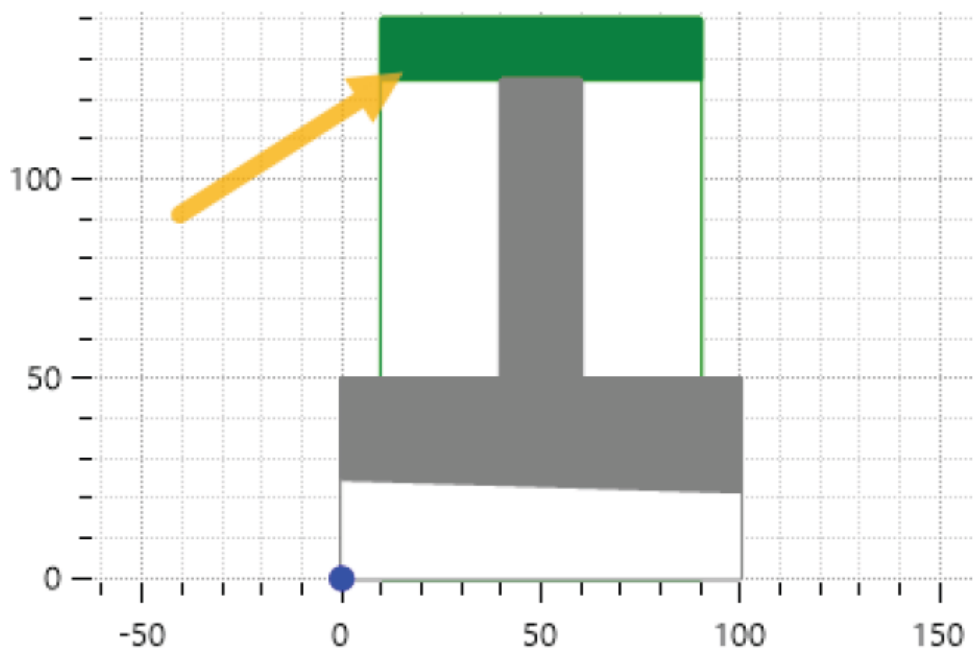
**Диаметр центрального отверстия.** Опция позволяет задать диаметр внутреннего отверстия ступицы.

**Диаметр внешнего отверстия.** Опция позволяет задать внешний диаметр ступицы.

**Смещение по X.** Опция позволяет задать смещение начальной точки ступицы от начальной точки всего колеса.

**Фаска на внутреннем отверстии.** Опция позволяет задать величину фаски на внутреннем отверстии ступицы.

## Обод



Каждый обод в колесе может быть привязан к круговой грани, круговому ребру или ЛСК.

**Привязка позиционирования. Круговая грань или ЛСК.** Интерфейс выбора привязки.

**Направляющая ось.** Опция выбора главной оси колеса.

**Тип сопряжённой передачи.** Опция позволяет выбрать тип соединения. Варианты:

- Зубчатое колесо внешнего зацепления;
- Коническое колесо;
- Зубчатое колесо внутреннего зацепления;
- Червячное колесо;
- Колесо цепной передачи;
- Шкив ременной передачи;
- Барабан;
- Маховичок.

**Привязанная передача. Фрагмент передачи.** Интерфейс выбора передачи.

**Элемент передачи.** Опция позволяет выбирать между ведущим и ведомым элементом передачи для привязки к ободу.

**Тип позиционирования зацепления.** Опция позволяет выбрать тип позиционирования зацепления.

Варианты:

- Нет позиционирования;
- Поворот детали;
- Поворот венца элемента передачи.

**Составной обод.** Опция позволяет создать составной (сборный обод). Чаще всего используется в червячном колесе.

**Длина.** Опция позволяет задавать длину обода. Если выбрана привязанная передача опция становится неактивной и длина наследуется из передачи.

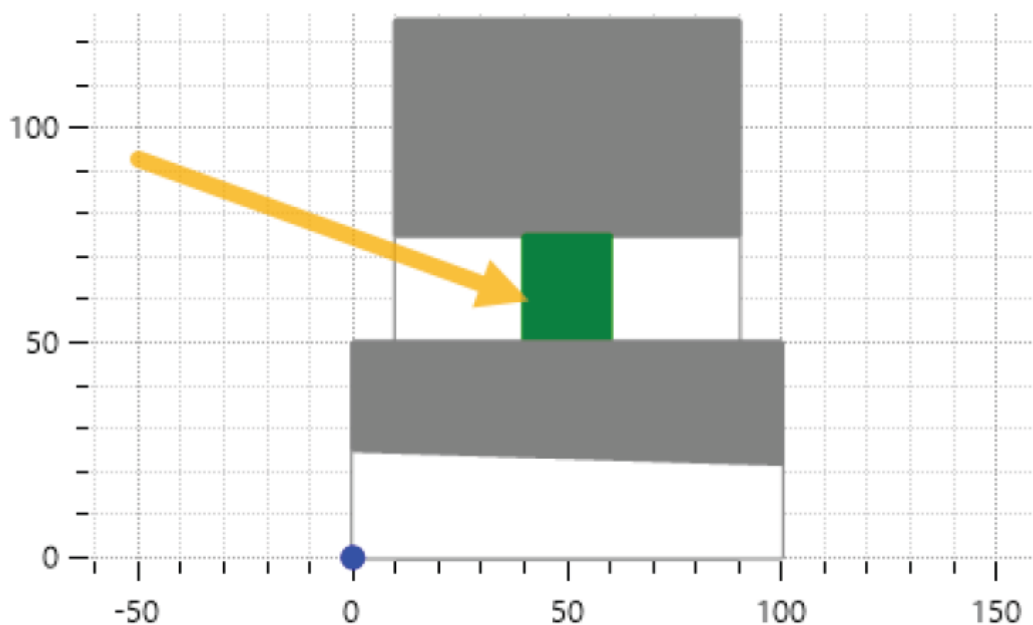
**Диаметр внешнего отверстия.** Опция позволяет задавать внешний диаметр обода. Если выбрана привязанная передача опция становится неактивной и диаметр наследуется из передачи.

**Диаметр поверхности разъёма.** Опция позволяет задавать диаметр поверхности разъёма для составного обода.

**Диаметр центрального отверстия.** Опция задавать внутренний диаметр обода.

**Смещение по X.** Опция позволяет задать смещение начальной точки обода от начальной точки всего колеса.

## Диск



**Привязаться к ближайшей ступице.** Опция позволяет привязать внутреннюю часть диска к середине ближайшей ступицы.

**Привязаться к ближайшему ободу.** Опция позволяет привязать внешнюю часть диска к середине ближайшего обода.

**Толщина.** Опция позволяет задавать толщину диска.

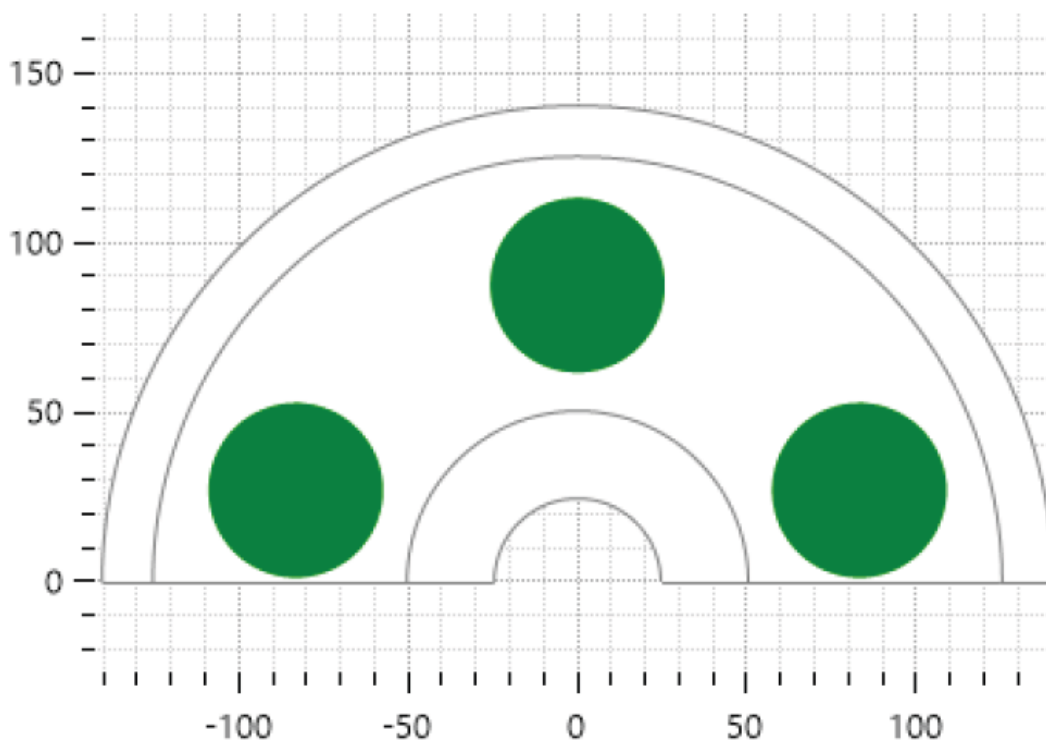
**Наклон.** Опция позволяет задавать наклон диска.

**Смещение по X.** Опция позволяет задать смещение начальной точки диска от начальной точки всего колеса.

**Радиус сопряжения.** Опция позволяет задать радиусы сопряжения диска с ободом и ступицей.

Если задан радиус отличный от общей настройки колеса, то радиус диска для текущего экземпляра.

## Окно



**Тип окон.** Опция позволяет выбрать тип окон. Варианты:

- Круглые;
- Сегментные;
- Тангенциальные.

**Опорный диаметр окон.** Опция позволяет выбрать диаметр, на котором установлены круговые окна.

**Радиус сглаживания окон.** Опция позволяет задавать радиус сопряжения окна с диском.

**Диаметр окна.** Опция позволяет задавать диаметра окна.

**Количество окон.** Опция позволяет задавать количество окон.

**Толщина у ступицы.** Опция позволяет задавать толщину сегментных или тангенциальных спиц у ступицы.

**Толщина у обода.** Опция позволяет задавать толщину сегментных или тангенциальных спиц у обода.

**Внутренний диаметр.** Опция позволяет задавать внутренний диаметр сегментных или тангенциальных спиц.

**Внешний диаметр.** Опция позволяет задавать внешний диаметр сегментных или тангенциальных спиц.

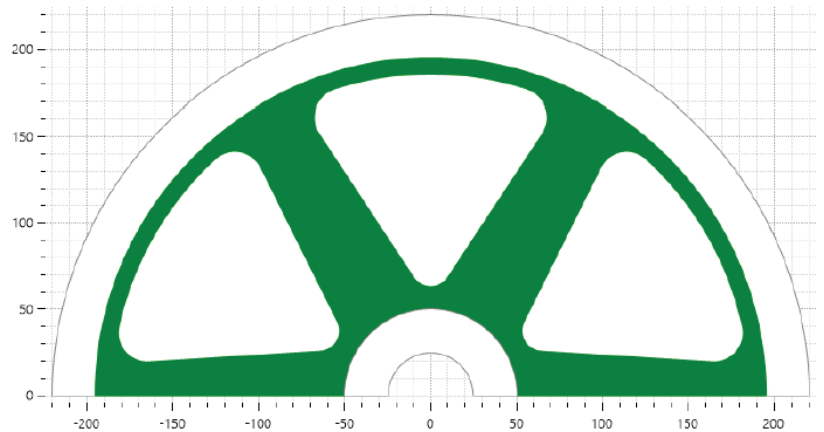
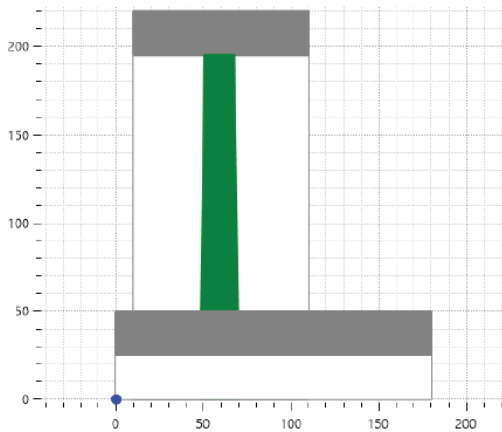
**Отступ у ступицы.** Опция позволяет задавать отступ сегментных или тангенциальных спиц от ступицы.

**Отступ у обода.** Опция позволяет задавать отступ сегментных или тангенциальных спиц от обода.

**Направление вращения.** Опция позволяет задавать направление вращения для тангенциальных спиц.



## Спицы



**Тип спиц.** Опция позволяет выбрать тип спиц. Варианты:

- Эллиптические;
- Плоские.

**Тип сопряжения спиц со ступицей.** Опция позволяет выбрать тип сопряжения эллиптической спицы со ступицей. Варианты:

- C;
- S.

**Количество.** Опция позволяет выбрать количество спиц.

**Ширина эллипса у ступицы.** Опция позволяет выбрать ширину эллиптического сечения у ступицы. Остальные размеры сечений рассчитываются по формулам из справочника Ачеркана.

Высота рифа на ободке.

**Смещение по X.** Опция позволяет задать смещение начальной точки ряда спиц от начальной точки всего колеса.

## СОЕДИНЕНИЯ

Для создания соединения и генерации соответствующей геометрии необходимо воспользоваться одной из команд из блока **Соединения**. К ним относятся: **Шлицевое соединение** и **Шпоночное соединение**.

Посредством **Соединения** представляется возможным сгенерировать геометрию как для обеих деталей участвующих в соединении (**Вал и Втулка**), так и для одной из деталей, участвующих в соединении (**Вал или Втулка**). Предусмотрены сценарии работы с удалением одной из частей соединения или, наоборот, добавлением недостающей части (**Вал или Втулка**).

### ШПОНОЧНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Команда «Шпоночные соединения» предназначена для создания и прочностного расчёта большинства распространённых типов шпоночных соединений.

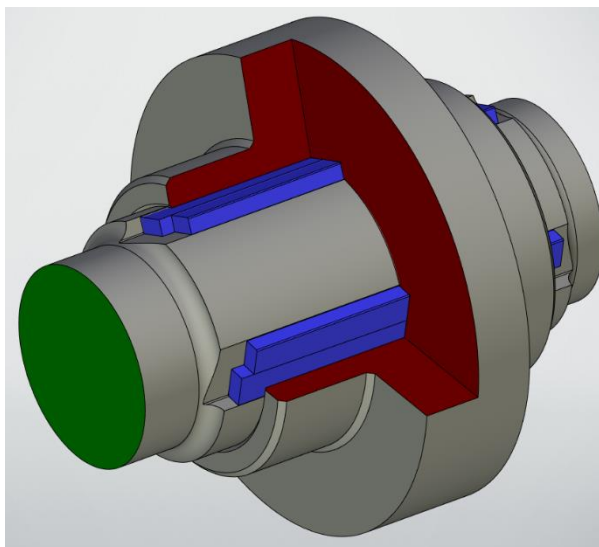
Возможности:

- Создание шпоночных пазов и шпонок по стандартам ГОСТ, ISO и DIN на ранее созданных или импортированных деталях в T-FLEX CAD;
- Создание шпонок без привязки к какой-либо детали;
- Автоматизированное создание шпоночных пазов и шпонок на элементах системы «Детали машин» (команды «Колесо» и «Вал») в том числе во вложенном режиме;
- Создание геометрии пазов и шпонок с учётом допусков и посадок;
- Проведение прочностных расчётов шпонок и шпоночных соединений по стандарту DIN или по ряду распространённых методик проверочных расчётов.

Команда «Шпоночные соединения» позволяет создать геометрию соединения со следующими типами:

- Призматическая (ГОСТ 23360, ГОСТ 10748, ГОСТ 29175, ГОСТ 8790, ISO/R 773, ISO 2491, DIN 6885-1,2,3);
- Сегментная (ГОСТ 24071, ISO 3912, DIN 6888);
- Клиновая (ГОСТ 24068, ГОСТ Р 50536, ISO/R 774, ISO 2492, DIN 6881, DIN 6883, DIN 6884, DIN 6886, DIN 6887, DIN 6889);
- Тангенциальная (ГОСТ 24069, ГОСТ 24070, ISO 3117, DIN 268, DIN 271);
- Цилиндрическая (ГОСТ 3128, ГОСТ 12207).

Для шпоночных соединений предусмотрены расчеты по методикам: ГОСТ21425, Анурьев, Niemann



## МОДЕЛЬ

**Тип.** Опция позволяет выбрать тип создаваемого шпоночного соединения:

- Призматическая
- Сегментная
- Клиновая
- Тангенциальная
- Цилиндрическая

**Стандарт.** Опция позволяет выбрать стандарт по указанному типу шпоночного соединения:

- Призматическая:
  - ГОСТ 23360;
  - ГОСТ 10748;
  - ГОСТ 29175;
  - ГОСТ 8790;
  - ISO/R 773;
  - ISO 2491;
  - DIN 6885-1;
  - DIN 6885-2;
  - DIN 6885-3.
- Сегментная:
  - ГОСТ 24071;
  - ISO 3912;
  - DIN 6888.
- Клиновая:
  - ГОСТ 24068;
  - ГОСТ Р 50536;
  - ISO/R 774;
  - ISO 2492;
  - DIN 6881;
  - DIN 6883;
  - DIN 6884;
  - DIN 6886;
  - DIN 6887;
  - DIN 6889.
- Тангенциальная:
  - ГОСТ 24069;
  - ISO 3117;
  - DIN 268;
  - DIN 271.
- Цилиндрическая:
  - ГОСТ 3128;
  - ГОСТ 12207.

**Создавать шпонку.** Опция позволяет выбрать создавать ли объект шпонки в соединении.

**Создавать только шпонку.** При включении этой опции создаётся только объект шпонки.

**Создание паза на детали.** Опция позволяет выбрать объект/объекты в которых создаётся шпоночный паз. Варианты:

- Вал;
- Втулка;
- Вал и втулка.

Выбор деталей «Вал» и «Втулка» осуществляется указанием торца и цилиндрической грани на нужной ступени нужного объекта. При выборе объекта, созданного системой «Детали машин», указание нужной ступени осуществляется выбором из списка ступеней.

**Вал.** Интерфейс выбора торца и цилиндрической грани объекта «Вал».

**Втулка.** Интерфейс выбора торца и цилиндрической грани объекта «Втулка».

## СОЕДИНЕНИЕ

**Пользовательский выбор шпонки.** Опция позволяет выбирать типоразмер шпоночного соединения отличного от номинального по стандарту если стандарт это предусматривает.

**Типоразмер шпонки.** Опция позволяет выбрать типоразмер шпоночного соединения если в стандарте возможны разные варианты типоразмеров.

**Серия шпонки.** Опция позволяет выбрать серию шпонки (Опция доступна только для сегментных шпонок). Варианты:

- Серия 1;
- Серия 2.

**Ряд соединения.** Опция позволяет выбрать ряд соединения (Опция доступна только для сегментных шпонок по DIN 6888). Варианты:

- Ряд А;
- Ряд В.

**Длина.** Опция позволяет выбрать длину шпонки по стандарту для данного типа (не применимо к сегментным шпонкам).

**Количество шпонок.** Опция позволяет выбрать количество шпонок в соединении (для призматических и цилиндрических шпоночных соединений).

**Угол между шпонками.** Опция позволяет выбрать угол между шпонками если их количество в соединении больше 1.

**Диаметр вала.** Опция позволяет выбрать диаметр вала. Опция активна в случае создания только шпонки, в противном случае устанавливается автоматически.

**Угол между парами шпонок.** Опция позволяет задать угол между парами шпонок для тангенциальных шпоночных соединений. Варианты:

- 120
- 180

**Наклон конуса.** Не реализовано. Опция для создания соединения на конусной грани.

**Угол поворота.** Опция позволяет выбрать угол поворота шпоночного соединения относительно начального нулевого направления.

**Шпонка параллельна.** Не реализовано. Опция актуальна для создания соединения на конусной грани.

**Смещение положения шпонки относительно базовой поверхности.** Опция позволяет выбрать смещение положения шпонки относительно выбранной начальной грани на валу.

**Тяжёлые условия эксплуатации.** Опция позволяет выбрать режим тяжёлых условий для тангенциальных шпоночных соединений.

## ШПОНКА

**Разворот шпонки.** Опция позволяет развернуть шпонку на 180 градусов. Опция доступна только для клиновых шпоночных соединений.

**Исполнение.** Опция позволяет выбрать исполнение шпонки по стандарту.

**Уклон клина.** Опция позволяет выбрать пользовательский уклон клина клиновой или тангенциальных шпонок.

**Исполнение кромок.** Опция позволяет выбрать исполнение кромок шпонки по стандарту.

Варианты:

- Фаска;
- Радиус.

**Размер фаски или радиуса по кромке.** Опция позволяет выбрать размер фаски или радиуса по стандарту для выбранного типоразмера.

## ВАЛ

**Лыска.** Опция позволяет изменить геометрию шпоночного паза для стандартов, где это предусмотрено.

**Положение паза совпадает с положением шпонки.** Опция позволяет активировать возможность создавать паз на валу больше размеров шпонки.

**Длина паза.** Опция позволяет задать длину паза на валу.

**Высота паза.** Опция позволяет задавать высоту паза для стандартов, где это предусмотрено.

**Смещение положения паза относительно базовой поверхности.** Опция позволяет задать смещение положения паза относительно базовой поверхности.

**Тип сопряжения дна паза с боковыми стенками.** Опция позволяет выбрать тип сопряжения дна паза с боковыми стенками по стандарту. Варианты:

- Фаска;
- Радиус.

**Размер фаски или радиуса сопряжения дна паза с боковыми стенками.** Опция позволяет выбрать размер фаски или радиуса по стандарту для выбранного типоразмера.

## ВТУЛКА

**Высота паза.** Опция позволяет задавать высоту паза для стандартов, где это предусмотрено.

**Тип сопряжения дна паза с боковыми стенками.** Опция позволяет выбрать тип сопряжения дна паза с боковыми стенками по стандарту. Варианты:

- Фаска;
- Радиус.

**Размер фаски или радиуса сопряжения дна паза с боковыми стенками.** Опция позволяет выбрать размер фаски или радиуса по стандарту для выбранного типоразмера.

## ПАРАМЕТРЫ ИНСТРУМЕНТА

**Вариант создания шпоночного паза.** Опция выбора варианта создания шпоночного паза с учётом инструмента. Варианты:

- Пальцевая фреза без выхода инструмента по торцу;
- Пальцевая фреза с выходом инструмента по торцу;
- Дисковая фреза без выхода инструмента по торцу;
- Дисковая фреза с выходом инструмента по торцу.

**Диаметр инструмента.** Опция позволяет выбрать диаметр инструмента.

**Длина инструмента.** Опция позволяет выбрать длину инструмента.

## ДОПУСКИ

**Тип посадки.** Опция позволяет выбрать тип посадки по стандарту. Варианты:

- Свободная;
- Переходная;
- С натягом.

**Расчёт геометрии соединения.** Опция позволяет выбрать тип расчёта геометрии объектов в соединении. Варианты:

- В номинал;
- По нижнему пределу;
- В середину поля допуска;
- По верхнему пределу.

**Параметры допусков.** Кнопка позволяет вызвать меню установки полей допусков объектов соединения согласно стандарту или установить пользовательские настройки.

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Мощность.** Опция позволяет выбрать мощность, передаваемую соединением.

**Количество оборотов.** Опция позволяет выбрать количество оборотов.

**Крутящий момент.** Опция позволяет выбрать крутящий момент, передаваемый соединением.

**Материал шпонки.** Опция позволяет выбрать материал шпонки.

**Материал вала.** Опция позволяет выбрать материал вала.

**Материал втулки.** Опция позволяет выбрать материал втулки.

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ

**Цель расчёта.** Опция позволяет выбрать цель расчёта. Варианты:

- Максимальный крутящий момент;
- Максимальные напряжения;
- Длина шпонки (кроме сегментных шпоночных соединений).

**Вариант расчёта.** Опция позволяет выбрать методику расчёта. Варианты:

- Призматическая:
  - DIN 6892:2012 метод В;
  - DIN 6892:2012 метод С;
  - Справочник Niemann, издание 4;
  - Справочник Niemann, издание 5;

- Справочник Анурьева;
- Справочник Ачеркана.
  
- Сегментная:
  - Справочник Niemann, издание 4;
  - Справочник Niemann, издание 5;
  - Справочник Анурьева;
  - Справочник Ачеркана.
  
- Клиновая:
  - Справочник Ачеркана;
  - Учебное пособие Авдонченковой.
  
- Тангенциальная:
  - Справочник Ачеркана;
  - Методические указания Кулика.
  
- Цилиндрическая:
  - Справочник Ачеркана;
  - Учебное пособие Авдонченковой.



Анализ прочности	
Цель расчёта:	Максимальные напряже
Вариант расчёта:	Стандарт DIN6892, метс
<input checked="" type="checkbox"/> Использовать один коэффициент запаса	
Коэффициент запаса:	2
Предел текучести материала шпонки:	340 МПа
Предел текучести материала вала:	220 МПа
Предел текучести материала втулки:	220 МПа
<input type="checkbox"/> Несущая длина паза шпонки на валу:	32 мм
<input type="checkbox"/> Несущая длина паза шпонки на втулке:	32 мм
Наибольший крутящий момент:	457.457686 Н·м
Фрикционный момент:	0 Н·м
Режим работы входного механизма:	Без ударов
Режим работы выходного механизма:	Без ударов
<input type="checkbox"/> Коэффициент внешней динамической нагрузки KA:	1
Тип нагружения:	Без реверса
Наибольший реверсивный момент:	0 Н·м
Частота изменения направления вращения:	100
Частота возникновения максимумов нагрузки:	1000
Фаска на валу, S1:	0.01 мм
Фаска на втулке, S2:	0.01 мм
Большой внешний диаметр втулки, D2:	490.00001 мм
Меньший внешний диаметр втулки, D1:	490 мм
Расстояние до точки приложения силы, a0:	40 мм
<input checked="" type="checkbox"/> Активная ширина втулки по большому внешнему диаметру, c:	0.00001 мм
<input type="checkbox"/> Ширина втулки по большому внешнему диаметру, c0:	0.00001 мм
Ширина втулки по меньшему внешнему диаметру, c1:	120 мм
Тип материала шпонки:	Конструкционная сталь
Тип материала вала:	Конструкционная сталь
Тип материала втулки:	Конструкционная сталь

**Коэффициент запаса.** Опция позволяет установить необходимый в расчёте коэффициент запаса.

**Коэффициент трения.** Опция позволяет задать величину коэффициента трения. Опция доступна для клиновых или тангенциальных шпоночных соединений.

**Расчёт по стандарту DIN6892:2012 метод В.** При выборе этого варианта расчёта появляются поля опций из стандарта.

Особенности методики:

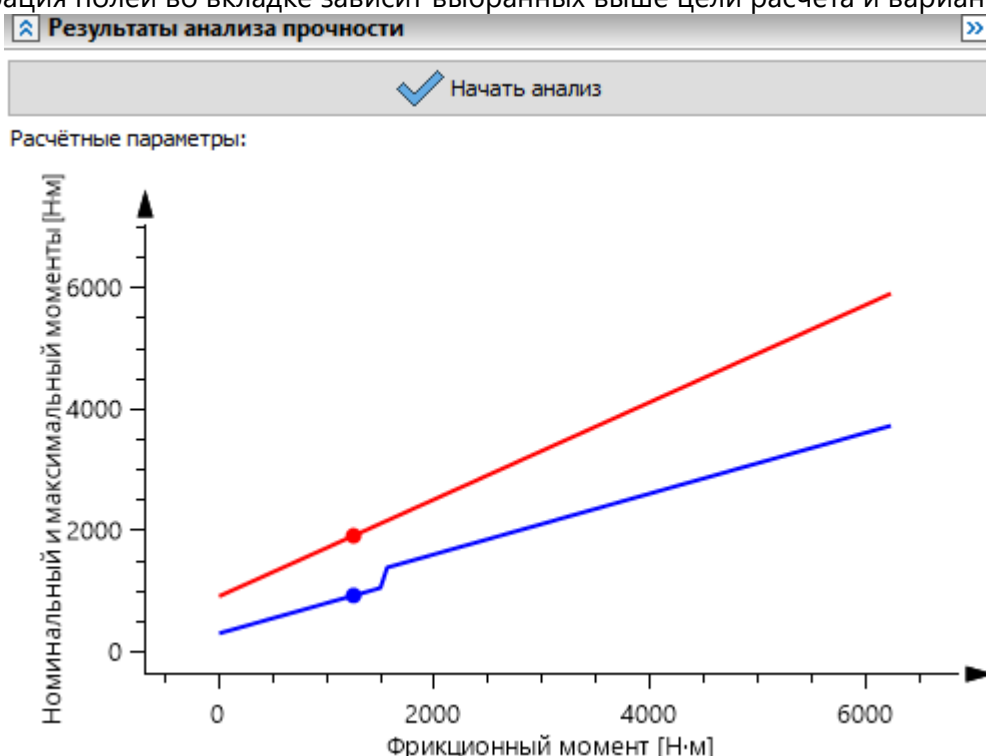
- Рассчитываются как прочность шпонки, так и прочность пазов на валу и на втулке (есть возможность не учитывать в расчёте прочность выбранных объектов).
- Методика учитывает наличие натяга в соединении, максимальные крутящие моменты при кратковременных пиковых нагрузках и наличие реверсивного момента.

- Учитывается положение точки приложения силы относительно положения шпоночного соединения.
- Есть возможность задать отдельные коэффициенты запаса для шпонки, паза на валу и паза на втулке.
- В расчёте используются свои поля задания пределов текучести материалов шпонки и пазов.
- Используются ряд коэффициентов для учёта режима работы, вида материала и геометрии объектов соединения.

Расчёт по методике из справочника Niemann(Нимана). При выборе этого варианта расчёта появляются поля опций из методики. Методика основывается на DIN6892 метод В с рядом ограничений и упрощений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ

Конфигурация полей во вкладке зависит выбранных выше цели расчёта и варианта расчёта.



**Начать анализ.** Кнопка позволяет запустить прочностной расчёт. Также кнопка является индикатором актуальности текущего расчёта.

**Графики рассчитанных крутящих моментов.** Графики демонстрируют зависимость номинального и максимального крутящего моментов от фрикционного момента. Данная опция доступна только для стандарта DIN6892:2012 метод В.

**Расчётное напряжение смятия.** Поле демонстрирует рассчитанное значение напряжения смятия.

Для стандарта DIN6892:2012 метод В указаны три значения (для шпонки, вала и втулки).

**Расчётный коэффициент запаса по смятию.** Поле демонстрирует рассчитанное значение коэффициента запаса по смятию. Для стандарта DIN6892:2012 метод В указаны три значения (для шпонки, вала и втулки).

**Расчётное напряжение среза.** Поле демонстрирует рассчитанное значение напряжения среза.

**Расчётный коэффициент запаса по срезу.** Поле демонстрирует рассчитанное значение коэффициента запаса по срезу.

**Минимальная несущая длина шпонки.** Поле демонстрирует рассчитанное значение длины шпонки.

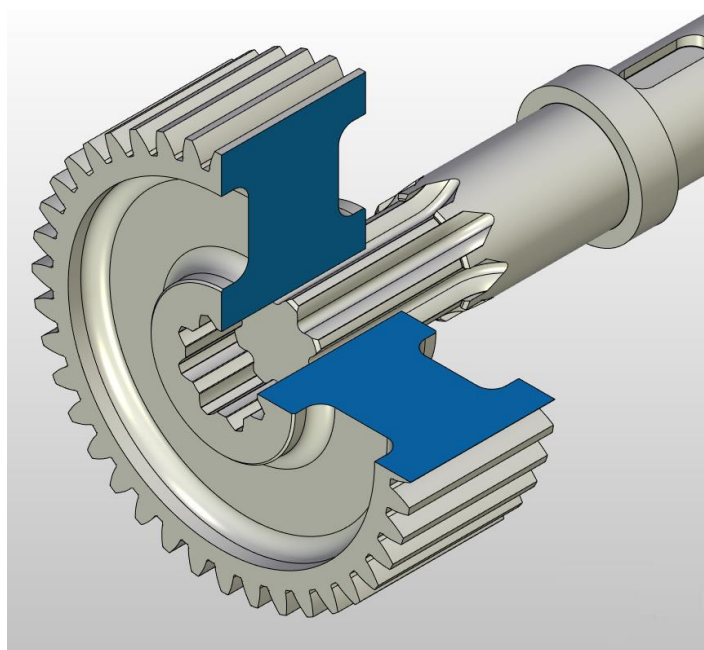
Для стандарта DIN6892:2012 метод В указаны два значения (несущая длина шпонки по валу и по втулке).

## ШЛИЦЕВОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Команда **Шлицевое соединение** позволяет создать геометрию соединения следующих профилей:

- Прямобоочные (ГОСТ 1139, ISO 14, DIN 5464, DIN 5471, DIN 5472);
- Эвольвентные (ГОСТ 6033, OST 1.00086, DIN 5480, ISO 4156);
- Треугольные (OST 1.00092, DIN 5481).

Для **Шлицевых соединений** предусмотрены расчеты по методикам: ГОСТ21425, Анурьев, DIN5466, Niemann.



### ТИП РАСЧЁТА

В данной вкладке предусматриваются элементы управления, позволяющие переключить между **Геометрическим расчётом** и **Прочностным расчётом**. В геометрическом расчёте пользователь выбирает необходимые ему параметры геометрии, необходимые для генерации. Прочностной расчёт позволяет определить прочность шлицевого соединения, приложив к нему проектную нагрузку и режимы работы.

### ВЫБОР ГРАНЕЙ

Команда **Шлицевое соединение** является модифицирующей (то есть она не создает геометрию, но изменяет ранее созданную). Для этого необходимо указать геометрию, которая будет доработана посредством команды. **Шлицевое соединение** состоит из двух деталей: **Вал** и **Втулка**. Выпадающий список **Расположение шлица** позволяет выбрать между **Вал**, **Втулка** или **Вал и Втулка**. Это позволяет либо создать геометрию одной из деталей, либо обеих. Поля **Торец** и **Цилиндр** предназначены для указания соответствующих поверхностей на геометрии в 3D-сцене.

### ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Команда **Шлицевое соединения** позволяет создать геометрию шлицев с **Прямобоочными**, **Эвольвентными** или **Треугольными** профилями зубьев. Количество и характер элементов

управления зависит от выбранного типа зуба и соотносятся с набором минимальным набором данных необходимых для однозначного определения параметров зубьев по выбранным стандартам.

Основные параметры **Прямобочных шлицев:**

Основные параметры	
Тип профиля шлица:	Прямобочный
Стандарт:	ГОСТ 1139
Серия шлицев:	Легкая
Типоразмер:	6×23×26
Исполнение:	1
Длина шлица:	50 мм

Основные параметры **Треугольных шлицев:**

Основные параметры	
Тип профиля шлица:	Треугольный
Стандарт:	DIN 5481
Типоразмер:	7×8
Исполнение:	По диаметру
Профиль на валу:	Треугольный
Длина шлица:	50 мм

Основные параметры **Эвольвентных шлицев:**

Основные параметры	
Тип профиля шлица:	Эвольвентный
Стандарт:	ГОСТ 6033
Типоразмер:	6×0,5
Исполнение:	Плоское дно
Центрирование:	По наружному диаметру
Ряд диаметров:	Ряд №1
Ряд модулей:	Ряд №1
<input type="checkbox"/> Рекомендованные по числу зубьев	
Длина шлица:	50 мм

## ПАРАМЕТРЫ ИНСТРУМЕНТА

Во вкладке Параметры инструмента указывается тип инструмента и его геометрические характеристики. Это позволяет прорисовать геометрию зубьев, учитывая способ производства.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Каждый тип зуба в **Шлицевом соединении** имеет определенный набор геометрических размеров, которые получаются из стандартов, выбранного типоразмера Шлицев по стандарту. Такие размеры приведены во вкладке **Геометрические характеристики**. Есть возможность изменить значения некоторых размеров, отступив от значений, указанных в стандарте. Для этого требуется поставить галочку рядом с выбранным для изменения размером.

## ДОПУСКИ И ОТКЛОНЕНИЯ

При нажатии кнопки **Параметры точности** во вкладке **Геометрические характеристики** откроется отдельное окно, в котором представляется возможным указать отклонения или пределы некоторых для некоторых размеров. Это позволит построить геометрию с учётом отклонений. Элементуправления, позволяющий выбрать режим влияния отклонений на сгенерированную геометрию расположен на вкладке **Выбор граней** и называется **Построить геометрию**. В данном




элементе управления представлены такие опции как **В номинал**, **В середину поля допуска**, **По верхнему/нижнему пределам**.

## ФАСКИ И СКРУГЛЕНИЯ

Во вкладке **Фаски и Скругления** производится настройка геометрии фасок и скруглений на вершинах и впадинах **Вала/Втулки**.

## РАСЧЁТ ПРОЧНОСТИ ШЛИЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Расчёты прочности, представленные в команде **Шлицевое соединение**, содержат в себе вкладки и элементы управления в них, достаточные для однозначного определения параметров необходимых для расчёта. Расчёты имеют несколько режимов: **Проверочный расчёт**, **Расчёт длины**, **Поиск подходящего диаметра**. Расчеты по методикам: **ГОСТ21425**, **Анурьев**, **DIN5466**, **Niemann**.

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Настройка расчёта</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Параметры соединения</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Свойства материала</b>	
Материал:	Сталь 
<input type="checkbox"/> Модуль сдвига:	85000
<input type="checkbox"/> Предел текучести:	655
Твёрдость поверхности:	28
Твёрдость поверхности:	217
Термообработка:	Закалка 
<input type="checkbox"/> Термообработка по таблице:	HRC20 HB218 Без термообработки 
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Нагрузки</b>	
Крут. Момент, ср:	190 <span style="float: right;">Н*м</span>
Крут. Момент, макс:	1500 <span style="float: right;">Н*м</span>
Ср. частота вращ.:	1360 <span style="float: right;">об/мин</span>
Расчетное число об-в:	100000000
Машинное время:	10000 <span style="float: right;">ч</span>
Базовое число об-в:	816000000 <span style="float: right;">оборот</span>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Параметры деталей машин</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Условия работы</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Напряжения в соединении</b> <span style="float: right;">&gt;&gt;</span>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Результаты расчета</b> <span style="float: right;">&gt;&gt;</span>	
Не допускается условию прочности на смятие Удовлетворяет условию прочности на износ Допускается по макс. крутящему моменту на смятие Не допускается по макс. крутящему моменту на износ	

## ОФОРМЛЕНИЕ

### УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Команда позволяет создать условное изображение зубчатого колеса и зубчатых зацеплений согласно ГОСТ 2.402-68. Команда наносит уже поверх выполненных проекций объектов модуля условное изображение. Проекции, для которых возможно создание условного изображения должны соответствовать ряду требований.

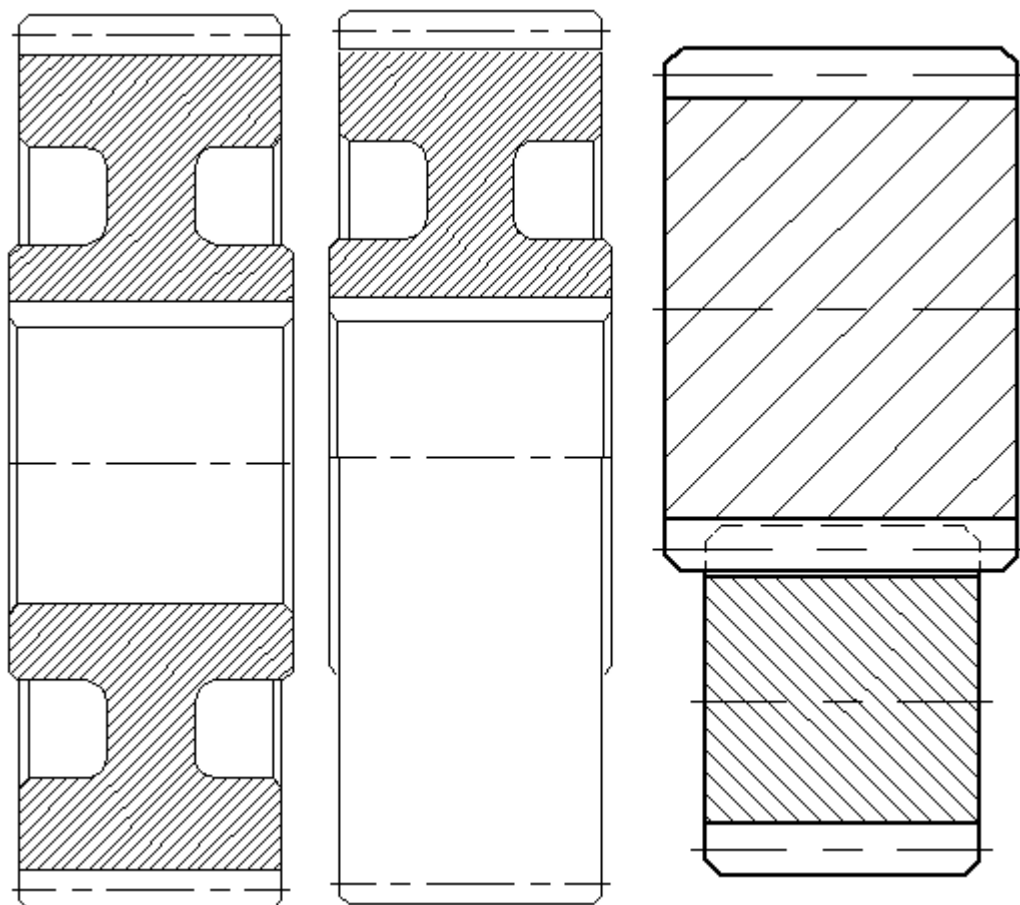
Проекции отдельных шестерен или вал-шестерен при создании чертежей детали:

- шестерня должна быть выполнена в командах модуля;
- разрез должен проходить через ось венца шестерни;
- разрез может быть полным или до оси.

Проекции зацеплений или последовательности зацеплений при создании сборочных чертежей:

- зацепление должно быть выполнено в командах цилиндрических зацеплений;
- проекция выполнена в документе, где создано зацепление;
- разрез зацепления проходит через оси шестерен.

Примеры разрезов с нанесённым условным изображением.



### ПАРАМЕТРЫ ТАБЛИЦЫ

Команда позволяет настроить типовой вариант таблицы оформления чертежа шестерни (а также червяка и червячного колеса) для документа, т.е. для всех шестерен всех зацеплений, которые входят в текущую сборку.

Параметры таблицы

Зубчатые передачи **Детали**

Цилиндрические **Конические** Червячные


Данные для контроля:

	Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	.....
<input checked="" type="checkbox"/>	$\xi$	Постоянная хорда зуба		+ X
<input type="checkbox"/>	$h$	Высота до постоянной хорды		▸
<input checked="" type="checkbox"/>	$W$	Длина общей нормали		
<input type="checkbox"/>	$M$	Размер по роликам (шарикам)		

Прочие справочные данные:

	Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	.....
<input type="checkbox"/>	$z_s$	Число зубьев сектора		+ X
<input checked="" type="checkbox"/>	$d_b$	Основной диаметр		▸
<input type="checkbox"/>	$\rho_p$	Радиус кривизны активного профиля зуба в нижней точке		
<input type="checkbox"/>	$\beta_b$	Основной угол наклона		

По умолчанию **OK** **Отмена**

Таблица настраивается согласно ГОСТ 2.403-75. В верхней части выбирается какие из стандартных контрольных размеров нужно вынести в таблицу. В нижней части указываются дополнительные справочные параметры. Если предложенный список не достаточен – есть возможность создать дополнительный параметр при помощи пиктограммы .

Установка флага рядом с названием параметра – означает его включение в таблицу оформления чертежа шестерни.

**По умолчанию.** Кнопка возвращает настройки прототипа таблицы к состоянию по умолчанию.

## ДОБАВЛЕНИЕ ТАБЛИЦЫ

Диалог позволяет выбрать для каких шестерен и на какой странице документа каждой из шестерен необходимо создать таблицу параметров.

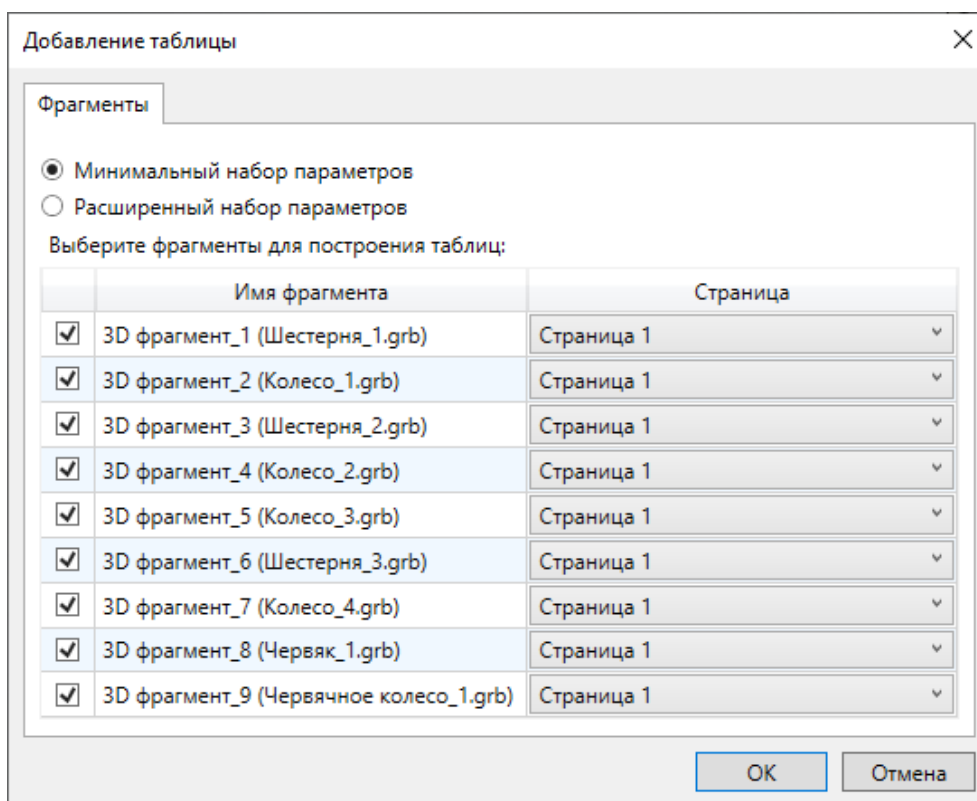
**Минимальный набор параметров.** Выбор этой опции означает что будет создана минимальная по составу таблица согласно ГОСТ 2.403-75.

**Расширенный набор параметров.** Выбор этой опции означает что будет создана таблица в том виде, который определил пользователь в команде **Параметры таблицы**.

Установка флага рядом с именем фрагмента шестерни означает, что для данной шестерни будет создана таблица параметров.

После нажатия кнопки **OK** для всех указанных шестерен будет создана таблица.





Модуль	$m$	1
Число зубьев	$z$	23
Угол наклона	$\beta$	15
Направление линии зуба		Левое
Нормальный исходный контур		ГОСТ 13755-2015
Коэффициент смещения $x$		0.137
Степень точности		
Длина общей нормали	$W$	7.83
Делительный диаметр	$d$	23.811
Обозначение чертежа сопряжённого зубчатого колеса		

Модуль	$m$	1	
Число зубьев	$z$	23	
Угол наклона	$\beta$	15	
Направление линии зуба		Левое	
Нормальный исходный контур	Угол профиля	$\alpha$	25
	Коэффициент высоты головки	$\eta_a^*$	1
	Коэффициент граничной высоты	$\eta_f^*$	2
	Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	$\rho_f^*$	0.38
	Коэффициент радиального зазора	$c^*$	0.25
	Коэффициент смещения $x$		0.135
	Степень точности		
Длина общей нормали	$W$	10.767	
Доп. контрольный параметр		0.05	
Делительный диаметр	$d$	23.811	
Доп. справочный параметр		доп. пар.	
Обозначение чертежа сопряжённого зубчатого колеса			

## ОТЧЁТ

Команда Отчёт позволяет создать общий отчёт с выбором типов отчёта которые в него входят. Установка флага рядом с названием типа отчёта выводит его в общий отчёт.

пересчёта зацеплений с при изменении значений параметров в редакторе переменных CAD.