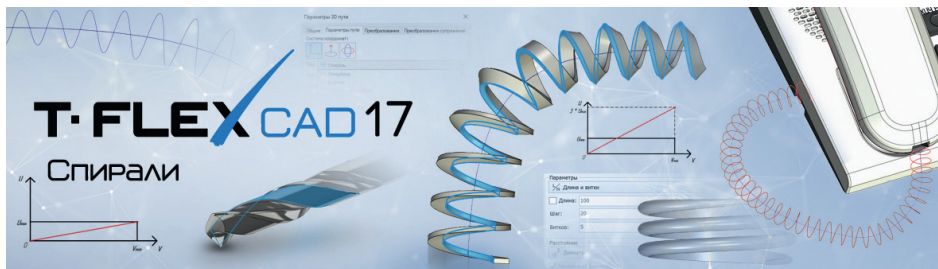


# Спирали в T-FLEX CAD 17

Сергей Тимофеев, Игорь Батюченко



## Введение

Спирали различных форм встречаются в технике, архитектуре, быту и природе, например раковины морских животных или молекулы ДНК (рис. 1). Глобально их можно разделить на два типа: плоские и трехмерные. Плоские спирали более интересны в плане науки, однако в технике чаще встречаются трехмерные (как частный случай — пружины). По этой причине рассмотрим особенности построения именно трехмерных спира-

лей и разберемся, с какими трудностями можно столкнуться в процессе работы.

В T-FLEX CAD 17 в команды создания спиральной кривой и спирали был внесен ряд улучшений. Они затронули интерфейс ввода исходных данных, а также генерацию результирующих кривых и тел. Благодаря этим изменениям, команды *Спиральный путь* и *Спираль* теперь имеют схожий эргономический пользовательский интерфейс. Команды также получили новые инструменты управления формой спиралей,

а кроме того, были повышены точность и производительность построения геометрии.

## Команда *Спиральный путь*

Для создания спиральной кривой (проволочного тела) самой простой и общей формы необходимы следующие исходные данные: ось, диаметр, значения двух из трех параметров (длина, шаг, количество витков), определяющие габариты и периодичность витков. Тогда спиральный



Сергей Тимофеев, программист-разработчик ЗАО «Топ Системы»



Игорь Батюченко, руководитель группы разработки ЗАО «Топ Системы»

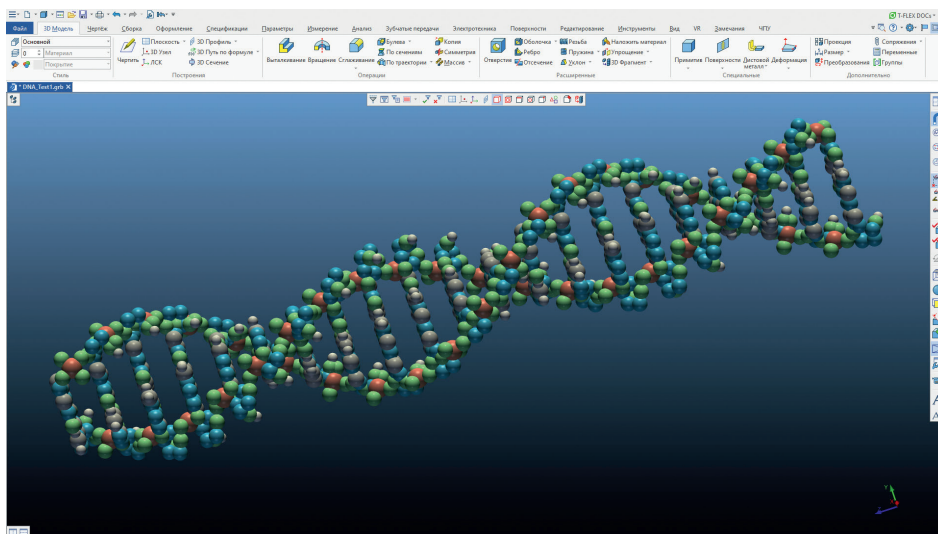


Рис. 1. Модель ДНК, созданная в T-FLEX CAD

путь можно получить в виде сплайна, построив его по заранее рассчитанному массиву точек. Также можно написать функцию по расчету координат будущих точек и производных в данном положении. В любом случае даже на основании исходных данных можно понять, какой результат должен получиться в итоге (рис. 2).

Но что если в качестве оси для будущего спи-

рального пути нужно использовать не прямой отрезок, а кривую (или набор кривых) произвольной формы? Это могут быть кривые как второго порядка (аналитические кривые: парабола, гипербола, дуга окружности или эллипса), так и более высоких порядков (сплайн). В таком случае математическая сложность вычисления положения и количества опорных точек спиральной кривой вдоль осевой направляющей существенно влияет как на точность результирующей кривой, так и на производительность алгоритма построения. В связи с этим в T-FLEX CAD 17 используется альтернативный способ построения геометрии: на основе двумерной кривой и несущей поверхности.

Возвращаясь к базовому примеру спиральной кривой (рис. 2), можно заметить, что она лежит на «воображаемой» цилиндрической поверхности (рис. 3). Каждая точка кривой, определяемая параметром  $t$ , соответствует конкретной точке на поверхности, совпадающей в трехмерном пространстве и определяемой параметрами  $U$  и  $V$ . Таким об-

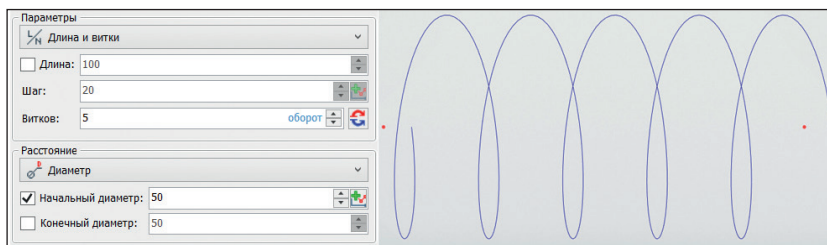


Рис. 2. Спиральный путь (ось построена по двум точкам)

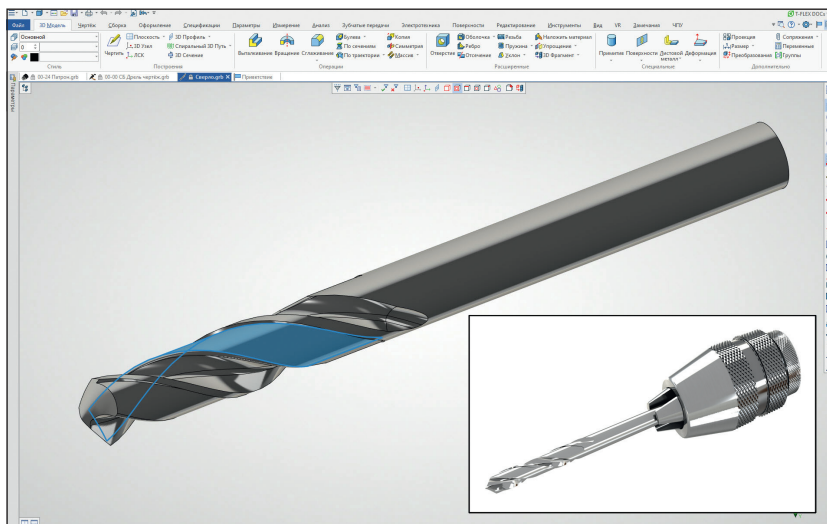


Рис. 3. Использование команды спирального пути на примере сверла

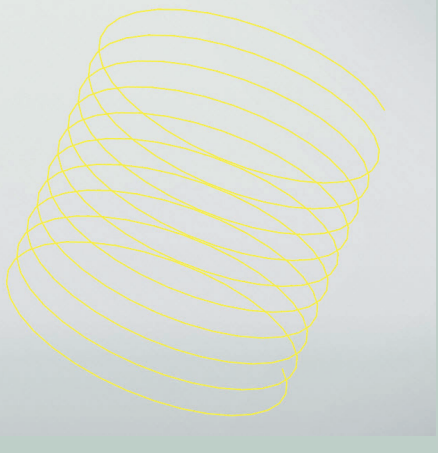
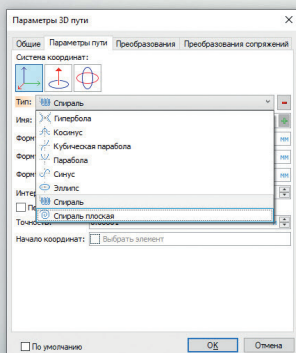
разом, если мы сначала создадим цилиндрическую поверхность заданного диаметра, а затем в двумерном пространстве этой поверхности

построим линию по двум точкам, соответствующим минимальным и максимальным значениям  $U$  и  $V$ , то в трехмерном пространстве получим спиральный путь в один виток (рис. 4а). Совокупность двумерной кривой (построенной в пространстве  $UV$ -параметров) и поверхности называется *Кривая на поверхности*.

Для спиральной кривой с несколькими витками справедлив тот факт, что по «ширине» данная поверхность является замкнутой и периодической. В этом случае при построении двумерной кривой в  $UV$ -пространстве нужно умножить необходимое количество витков на максимальное значение параметра, определяющего «ширину» поверхности (то есть на период) — рис. 4б.

Если в качестве оси будет не отрезок прямой, а набор гладкосопряженных произвольных кривых, то по такому осевому пути не получится построить цилиндрическую поверхность. Тем не

Кроме того, в САПР T-FLEX CAD существует команда, в которой спиральные пути могут быть построены с помощью математических функций — *3D Путь по формуле*, которая позволяет строить различные типы кривых, в том числе *Спираль* и *Спираль плоская*. При этом данные можно задавать как в декартовой, так и в цилиндрической и сферической системах координат. С помощью данной команды наиболее удобно пополнять пользовательскую библиотеку стандартных функций.





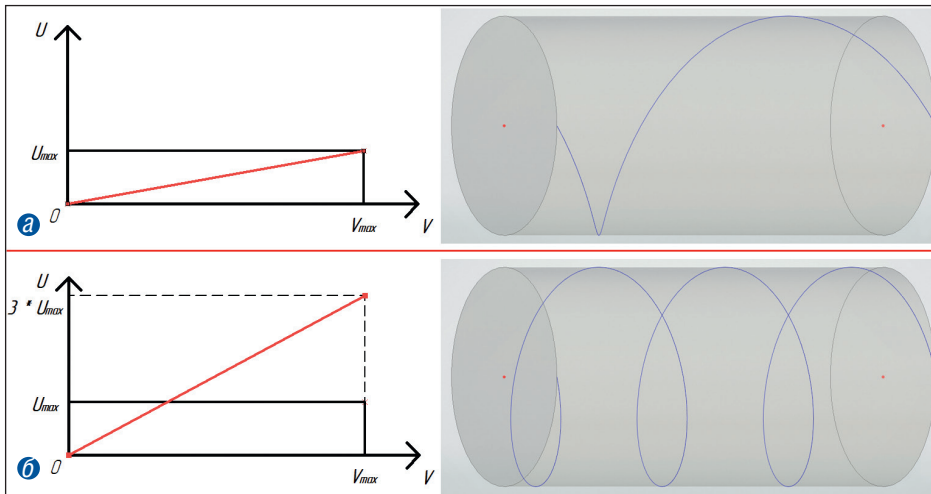


Рис. 4. Спиральный путь в  $UV$ -параметрах (слева) и в трехмерном пространстве (справа)

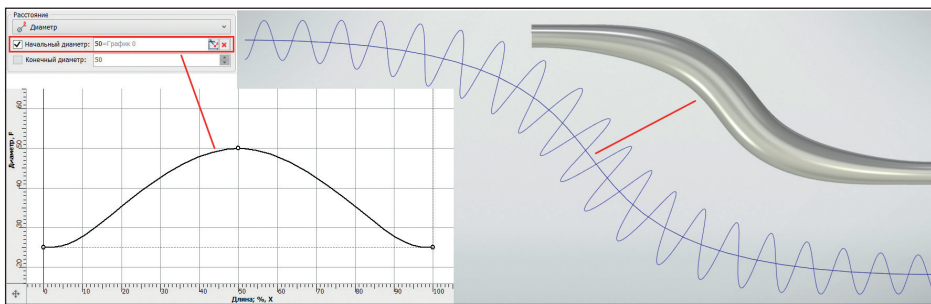


Рис. 5. Спиральный путь вдоль оси в виде сплайна с переменным диаметром

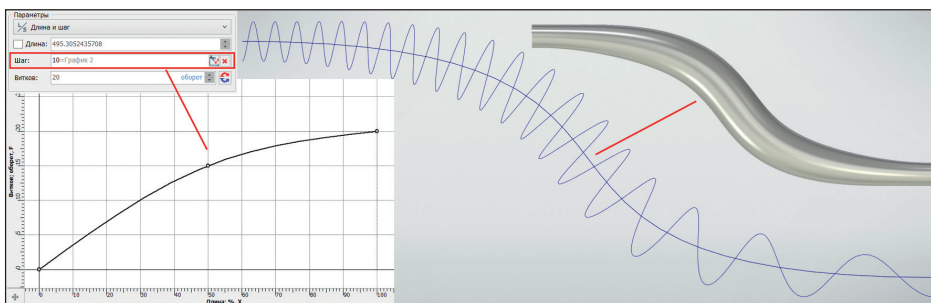


Рис. 6. Спиральный путь вдоль оси в виде сплайна с переменным диаметром и шагом

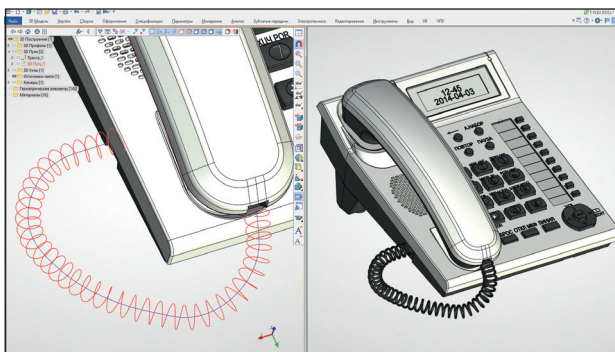


Рис. 7. Использование команды *Спиральный путь* для построения провода телефона

строить двумерную кривую в виде отрезка прямой по двум точкам. Необходимо учитывать (возможную) неравномерную параметризацию несущей сплайновой поверхности. В противном случае распределение витков по длине оси будет непропорциональным (шаг между витками будет непостоянным). Таким образом, получив массив двумерных точек в  $UV$ -координатах и построив по нему сплайн, можно получить спиральную кривую вдоль любой произвольной осевой направляющей (рис. 5).

При необходимости можно подключить и закон изменения шага витков вдоль направляющей осевой кривой. В данном случае, независимо от типа поверхности, которую мы получили, нужно рассчитать массив точек в  $UV$ -координатах. На каждое значение координаты, отвечающей за «длину» (чаще всего это параметр  $V$ ), у нас будет заданное количество витков, умноженное на период поверхности, то есть «ширина» (чаще всего это параметр  $U$ ). Таким образом, имея в арсенале три перечисленные возможности: произвольные (в том числе замкнутые) осевые направляющие, переменный диаметр и переменный шаг, можно создавать спиральные кривые различного типа и формы (рис. 6 и 7).

Если в модели уже существует циклическая поверхность, по которой нужно построить спиральную кривую, то описанный

менее подобный подход работает не только для цилиндрической, но и для любых циклических поверхностей (цилиндрическая поверхность — лишь частный случай). Более того, если есть необходимость задания переменного диаметра по длине, то учитывать его нужно именно на этапе построения поверхности. Но в данном случае уже нельзя

# Спецвыпуск

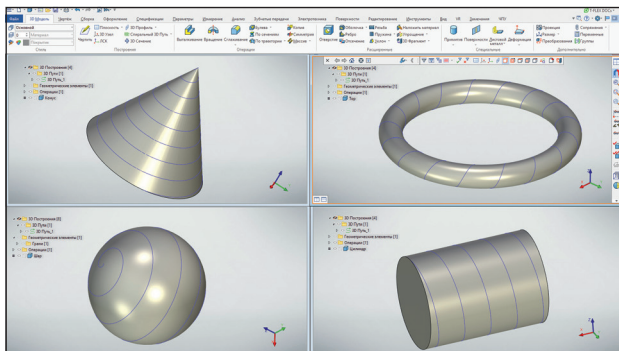


Рис. 8. Спиральный путь по граням

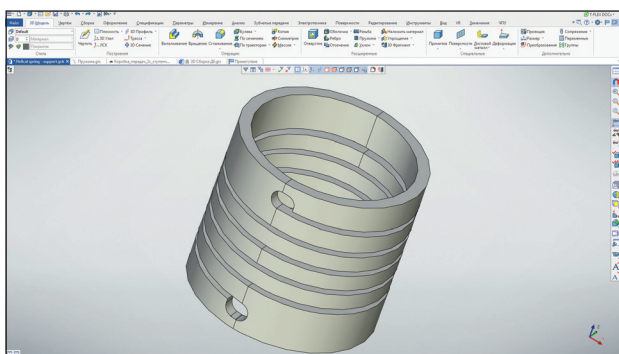


Рис. 9. Пример использования операции Спираль

алгоритм сработает и в данном случае. Кривая будет создана на основе несущей поверхности выбранной грани, без создания вспомогательной геометрии (рис. 8). Такой подход позволяет создавать различные спиральные кривые (рис. 9). При этом можно гарантировать, что они будут полностью принадлежать выбранной грани (поверхности). В свою очередь, это позволит использовать команду *По траектории*, за-

фиксируя кручение профиля вдоль всей длины осевой направляющей (об этом далее).

## Операция Спираль

Создание спирали (твёрдого тела) является логичным продолжением создания спирального пути, о котором говорилось ранее. Для получения результирующего тела желаемой формы можно воспользоваться

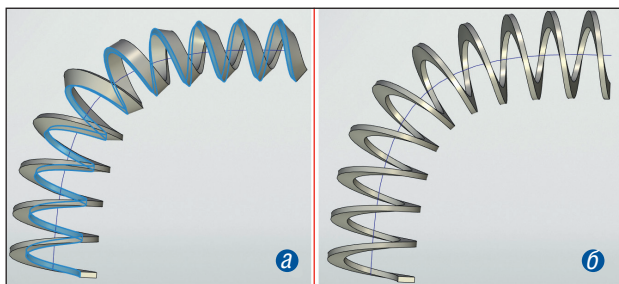
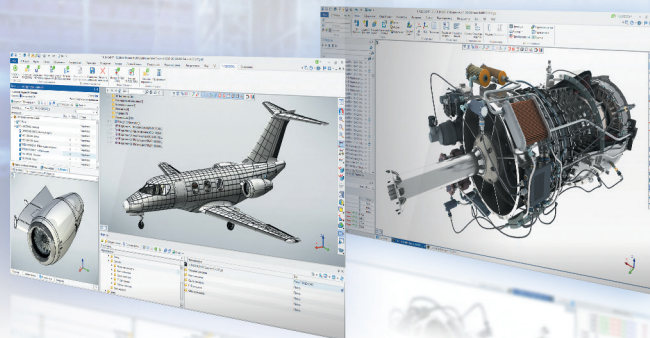


Рис. 10. Спираль без учета (а) и с учетом (б) вспомогательной поверхности



# T-FLEX PLM

РОССИЙСКИЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

Единое пространство разработки современных изделий



ТОП СИСТЕМЫ

[www.tfex.ru](http://www.tfex.ru)

Разработчик и интегратор  
российского ПО для  
управления ЖЦИ

+7 (499) 973-20-34/35





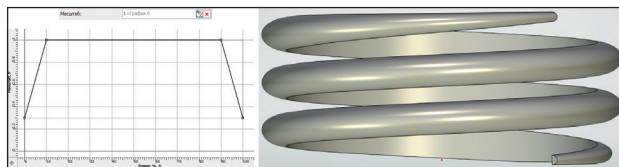


Рис. 11. Спираль с переменным масштабом профиля

командой *По траектории* и просто «протолкнуть» выбранный профиль вдоль заранее созданной спиральной кривой, которая в данном случае и будет траекторией. Однако в результате можно увидеть, что профиль начинает «крутить», и чем дальше мы продвигаемся вдоль

оси, тем более заметно отклонение от исходной ориентации. На рис. 10а видно, что грань, подсвеченная синим цветом, представляет собой внутренний габарит спирали в начале оси, но в конце она становится внешним габаритом.

Управлять кручением профиля поможет несущая

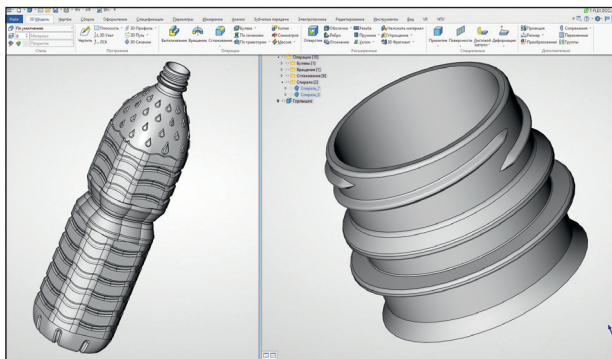


Рис. 12. Команда *Спираль* для построения горлышка бутылки

щая поверхность, которая создается в спиральной кривой. В каждой точке траектории дополнительно вычисляется нормаль по-

верхности в данной позиции. Таким образом, можно «зафиксировать» исходное положение профиля и сохранить его ориентацию на

НОВОСТИ

**Компания «Топ Системы» провела ежегодную конференцию «Созвездие САПР»: «T-FLEX PLM 2021: Новые российские технологии разработки сложных изделий»**

В подмосковном конгресс-отеле «Ареал» с 6 по 8 октября прошла 14-я конференция «Созвездие САПР 2021», организованная компанией «Топ Системы». Главной темой мероприятия стало обсуждение применения цифровых технологий в машиностроении, авиастроении, судостроении и ОПК, а также роль комплекса T-FLEX PLM в процессе цифровой трансформации. На сцене конференц-зала руководители компании рассказали об успехах компании за последний год и продемонстрировали возможности систем комплекса T-FLEX PLM 2021. В рамках конференции выступили и представители ведущих предприятий и холдингов России, таких как «Роскосмос», ГК «Росатом», ГК «Ростех», ОАК, ОСК, НПК «Уралвагонзавод» и многие другие. В докладах предприятия поделились своим опытом цифровизации, а также озвучили планы на дальнейшее развитие.



Программу открыли генеральный директор компании «Топ Системы» Сергей Кураксин и заместитель генерального директора по развитию PLM-технологий Игорь Кочан с общим докладом «Комплекс T-FLEX PLM — единое пространство разработки современных изделий». Безусловно, одной из ключевых новостей, озвученных в ходе доклада, стала поддержка ПО T-FLEX PLM кросс-



платформенности: переводение сервера T-FLEX PLM на Linux, а также работа системы T-FLEX CAD на ASTRA LINUX с использованием технологии Wine. Подтверждением этому стала живая демонстрация работы T-FLEX CAD на ASTRA LINUX на примере сборки, состоящей из 1,5 млн тел.

Компания «Топ Системы» достигает успехов не только на отечественном рынке, но и на мировом, о чём в своем докладе рассказал Сергей Бикулов, исполнительный директор компании «Топ Системы». Более 3500 зарубежных компаний используют программы комплекса T-FLEX PLM. В настоящее время существует шесть локализованных версий программ комплекса, в настройках которых учитывается специфика рынка страны.

Гости конференции смогли обсудить все интересные вопросы напрямую со специалистами, а также протестировать основные продукты комплекса T-FLEX PLM на рабочих местах.

Конференция «Созвездие САПР 2021» прошла максимально эффективно для всех представителей сообщества комплекса T-FLEX PLM. Мы ждём новых встреч на Созвездии САПР 2022 — в год 30-летия компании «Топ Системы»!

Подробнее об итогах конференции «Созвездие САПР 2021» читайте на [www.tfex.ru](http://www.tfex.ru).

всем протяжении вдоль осевой направляющей. В итоге алгоритм создания спирали сводится к следующему:

- создается спиральная кривая, у которой, в свою очередь, создается поверхность, которой эта кривая и

принадлежит («кривая на поверхности»);

- выбранный профиль протягивается вдоль этой кривой, с учетом несущей поверхности;
- сама кривая и ее поверхность остаются невидимыми для пользователя.

В результате на рис. 10б видно, что профиль не меняет свою ориентацию на всем протяжении вдоль осевой направляющей спирали.

К описанным ранее возможностям *Спирального пути* (произвольный осевой путь, график диаметра и переменного шага) в команде *Спираль* можно добавить график переменного масштаба исходного профиля. Это может потребоваться, например, при моделировании резьбы на горлышке бутылки (рис. 11 и 12).

На рис. 13 показан практический пример моделирования спиралей в реальных технических изделиях.

В графике переменного шага, заданного как *Кубический сплайн*, учитываются касательные условия для крайних точек. При задании соответствующих условий можно получить спирали, показанные на рис. 14.

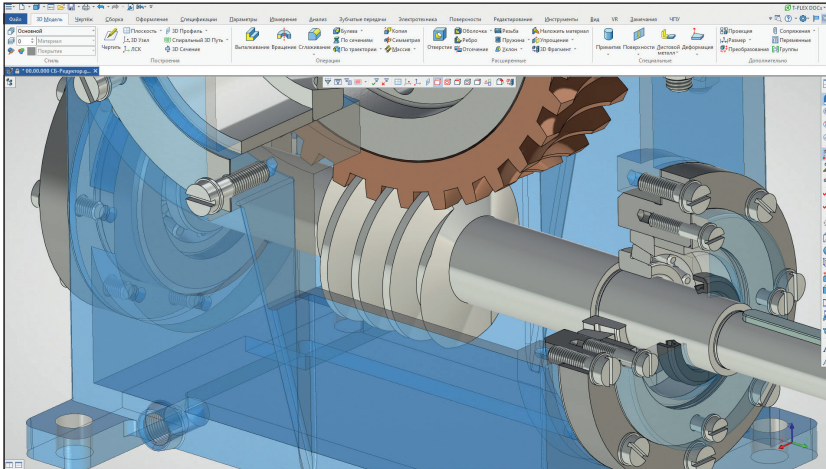


Рис. 13. Применение команды *Спираль* в червячной передаче редуктора

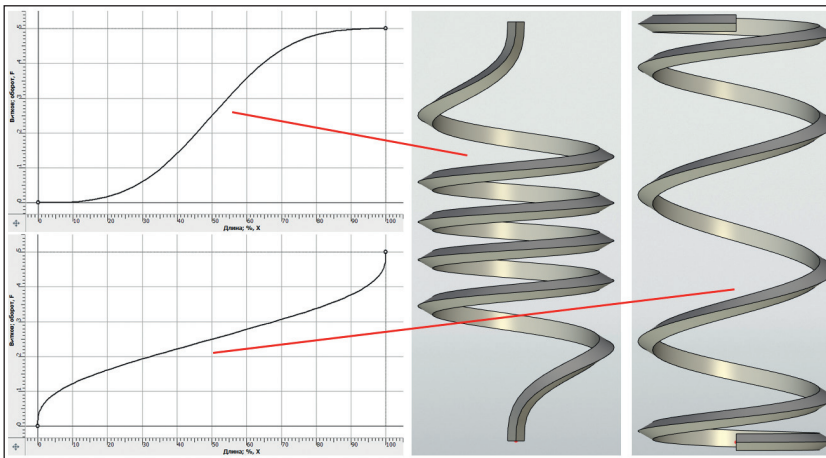


Рис. 14. Спирали с касательными условиями в крайних точках

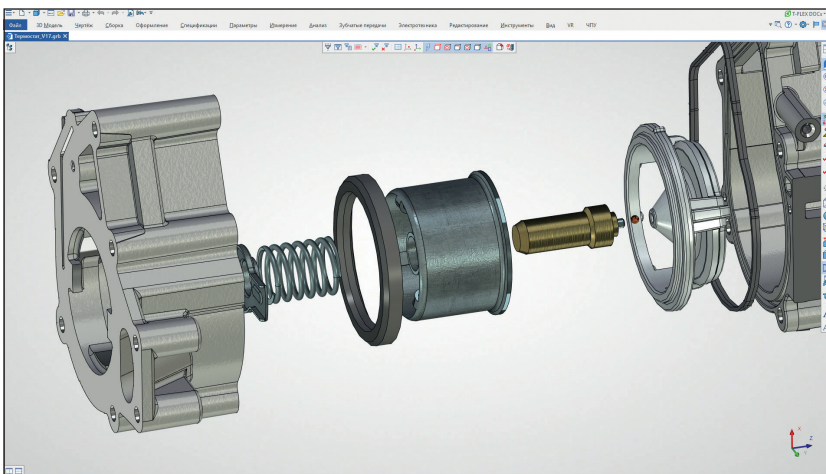


Рис. 15. Использование спирали для моделирования пружины в конструкции термостата

## Заключение

Алгоритм генерации на базе «кривой на поверхности» позволяет создавать геометрию с высокой точностью и большой производительностью, будь то проволоочные тела (спиральный путь) или твердотельные операции (спираль) — рис. 15. Также он позволяет создавать операции вдоль произвольных осевых направляющих. А возможность использования графиков для переменного диаметра, шага и масштаба делает обновленные команды более функциональными, практически полностью закрывающими спектр требований конструкторов при работе со спиральными телами. ➤