

Web FairCurveModeler. Часть 1. Улучшение сплайновых кривых в САПР

Предисловие

- 1. Наглядная геометрия сплайновых кривых**
- 2. Программы**
- 3. Где нужны F-кривые и F-поверхности от FairCurveModeler:**
- 4. Для кого система Web FairCurveModeler?**
- 5. Регистрация в Web FairCurveModeler**
- 6. Улучшение кривых**
 - 6.1. Подготовка цифрового теоретического чертежа функциональной кривой в САПР**
 - 6.2. Урок 1. Улучшение сплайна КОМПАС 3D**
 - 1). Построение кривой на опорной ломаной**
 - 2). Улучшение сплайна на касательной ломаной**
 - 3). NURBzS кривая**
 - 6.3. Урок 2. Улучшение сплайна ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD**
 - 1). Построение сплайна на опорной ломаной**
 - 2). На касательной ломаной**
 - 3). NURBzS кривая**
 - 4). Улучшение кривой сглаживанием по “коридору”**
 - 5). Улучшение кривой сглаживанием по “средней линии”**
 - 6) Улучшение сплайна папоCAD**
 - 6.4. Урок 3. Фиксация касательных на глобальном сплайне**
 - 1). На NURBz сплайне**
 - 2). Фиксация касательной на B-сплайне**
 - 6.5. Урок 4. Улучшение сплайна в других системах (NX, Catia, Alias Design Rhinoceros 3D, и др.)**
- 7. FairCurveModeler в образовании**

Web FairCurveModeler. Часть 1. Улучшение сплайновых кривых в САПР

Р.И. Ахметшин, В.И. Гумеров,

Ф.Т. Зиганшина, Г.М. Ефимова,

В.Г. Муфтеев, Р.И. Набиев

Предисловие

Функциональные кривые и поверхности напрямую определяют эксплуатационные характеристики многих технических изделий. Это дорогостоящие изделия: самолеты, суда, автомобили, турбины, насосы и многое, многое другое.

Функциональные кривые должны обладать высочайшим качеством. Прежде плавностью: высоким порядком гладкости, плавностью изменения кривизны, малым значением потенциальной энергии.

Даже простое улучшение геометрии при сохранении прочих параметров существенно улучшает эксплуатационные характеристики изделий.

Нами разработаны инновационные методы моделирования кривых высокого качества. Эти кривые идеально подходят для моделирования функциональных кривых и поверхностей. Поэтому были названы кривыми класса F или просто F-кривыми. Отметим, кривые класса F превосходят по качеству кривые класса A.

Опыт проектирования изделий с функциональными кривыми показывает, что простое улучшение геометрии применением F-кривых в существующих конструкциях позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики изделий. Без изменения основных параметров конструкции!

В настоящее время методы вошли в отечественное геометрическое ядро C3D в виде раздела C3D FairCurveModeler.

На основе C3D FairCurveModeler разработаны приложения САПР (КОМПАС 3D, nanoCAD / ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD). Приложения интегрированы с Excel, MathCAD, Mathematica.

Предлагаем уникальное Web-приложение Web FairCurveModeler, которое можно использовать для существенного улучшения сплайновых кривых и поверхностей как в CAD-системах (КОМПАС 3D, nanoCAD / ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD) “средней руки”, так и в “топовых” NX и Catia. Приложение поможет дизайнерам в Rhino, Alias Design и других графических пакетах.

Внедряйте в проектную деятельность инновационный инструмент геометрического моделирования Web FairCurveModeler. И это можно сделать немедленно. Прямо сейчас, перейдя по ссылке на сайт Spliner.ru далее ‘WEB online modeling’ и затем непосредственно в ‘Web FairCurveModeler’.

Руководство по работе с приложением построено в виде последовательности уроков улучшения сплайновых кривых в конкретных CAD-системах. Выберите в оглавлении родную CAD-систему и учитесь создавать функциональные кривые в интеграции с Web FairCurveModeler.

1. Наглядная геометрия сплайновых кривых

Для осознанного понимания сути работы с NURBS кривыми нет необходимости погружаться в анализ формул и уравнений. Они работают в алгоритмах программ и работают корректно.

Так же, как при езде на автомобиле вам нет необходимости знать цикл Карно и прочие термодинамические формулы. Вы должны знать, как влияет на скорость педаль газа и как с помощью руля поворачивать автомобиль.

Предлагаем наглядную теорию моделирования кривых.

Исходные данные для построения или геометрические определители (ГО) кривой:

- опорная ломаная. Сплайновая кривая проходит через вершины опорной ломаной. Но узловые точки могут не совпадать с опорными точками.

- касательная ломаная. Сплайновая кривая проходит касательно к звеньям ломаной;
- ГО Эрмита. Задается опорной ломаной с фиксированными векторами касательных и векторами кривизны в вершинах.

Так же, как в любом производстве качество исходного сырья влияет на качество конечного продукта, качество исходных ГО влияет на качество функциональных кривых. При моделировании функциональных кривых в FairCurveModeler требуется соблюдать определенные правила построения исходных ГО.

В соответствии с уровнем качества “исходного сырья” форму ломаных можно классифицировать следующим образом:

- ломаные нерегулярной формы;
- ломаные регулярной формы;
- ломаные рафинированной формы.

Ломаные нерегулярной формы. Пилообразной формы, самопересечение трехзвенников, острые углы у смежных звеньев, резкое кручение ломаной (нормали к плоскостям смежных двухзвенников превышают 45 градусов).

Единственные ограничения:

- угол между звеньями > 30 ;
- смежные вершины не должны совпадать.

Система построит кривые и на этом сорте “сырья”, но эти кривые не обладают качеством функциональных кривых.

Ломаные регулярной формы. Углы между звеньями > 90 . Прямолинейные участки задаются вершинами, лежащими точно на прямой. Локально выпуклый участок определяется не менее, чем тремя точками.

Ломаные рафинированной формы. Вершины ломаной распределяются по моделируемой кривой с плотностью пропорциональной кривизне кривой. В системе есть уникальная опция благоприятного перераспределения вершин ломаной. Например, пусть задана ломаная на окружности с произвольным распределением вершин на окружности. После перераспределения ломаная превратится в равносторонний многоугольник.

Необходимо улучшать качество исходного сырья. Следуйте правилам построения регулярной ломаной. Рафинируйте исходные ГО. Есть все опции рафинирования. Помните, вы проектируете дорогостоящее изделие, эксплуатационные характеристики определяются качеством моделируемых функциональных кривых.

Сглаживание ломаных. Используются два метода. Сглаживание по “коридору” и сглаживание “по средней линии”.

Опция “сглаживание по коридору” используется для улучшения плавности кривых. Кривая улучшается в заданном коридоре допустимых отклонений от исходной ломаной. Позволяет существенно улучшить качество кривых.

Опция сглаживание “по средней линии” строит кривую, уклоняющуюся от плотного массива “зашумленных точек” (noisy points) с нулевой суммой отклонений.

Метрологическая определенность. Необходимость моделирования кривых ломаными регулярной и рафинированной формы - это не рекомендация. Это требование. Проектирование дорогостоящих изделий с функциональной геометрией – это не “game”. Только ломаные регулярной формы позволяют обеспечить метрологическую определенность модели кривой на всех этапах проектирования и производства изделия.

Такую же метрологическую определенность, как теоретические чертежи советских архивов.

Этап геометрического моделирования должен завершаться **цифровым теоретическим чертежом (ЦТЧ)**. Именно ЦТЧ обеспечивает метрологическую определенность (контроль точности и качества геометрии изделия на всех этапах проектирования и производства).

Современный ЦТЧ должен быть представлен ГО регулярной или рафинированной конфигурации с указанием участков монотонной кривизны + утвержденный метод изогеометрического восстановления NURBS кривой. ЦТЧ должен быть доступен на всех этапах проектирования и производства. Как “золотой эталон”. То есть обеспечивать изогеометричность I рода. Изогеометричность I рода необходимое свойство для метрологической определенности в CALS-технологии.

Любая производная геометрическая модель (например, в виде полигональной модели на этапе симуляционных испытаний) должна соответствовать “золотому эталону” с заданной точностью на положение и дифференциальные характеристики.

Для ЦТЧ обязателен дублирующий бумажный документ. Это жесткая необходимость из-за уязвимости цифровых носителей от злонамеренного / случайного искажения или уничтожения.

Бумажный документ ЦТЧ должен содержать таблицу координат точек для контроля точности + [координаты касательных векторов и векторов кривизны] в виде ГО Эрмита 2-го порядка.

Количество точек и точность представления координат должны быть достаточны для прямого изогеометричного (II рода) и точного восстановления кривой / поверхности стандартным утвержденным методом.

В качестве утвержденного метода можно принять метод прямой аппроксимации ГО Эрмита приложения FairCurveModeler.

NURBS-кривая (Non Uniform Rational B-Spline). Стандартное представление кривых в САПР. Однозначно определяется степенью, управляющим полигоном, значениями весов в вершинах полигона, параметрической сеткой (или вектором узлов).

В системе FairCurveModeler используются два вида NURBS кривых – рациональная B-сплайновая кривая и рациональная сплайновая кривая Безье (NURBzS кривая).

Необходимо различать реальную сплайновую кривую Безье (NURBzS) от геометрической сплайновой кривой Безье (GNURBzS). Реально сплайновая кривая Безье является просто форматом представления B-сплайновой кривой.

В системе FairCurveModeler можно преобразовать формат B-сплайновой кривой на формат NURBzS кривой. И, наоборот, формат реальной сплайновой NURBzS кривой на формат B-сплайновой кривой.

Геометрическая сплайновая кривая Безье GNURBzS строится на ГО Эрмита и является локальным сплайном. То есть изменение отдельных параметров ГО Эрмита влияет на форму сплайна локально. В отличие от глобальной B-сплайновой кривой, построенной на опорной ломаной. Изменение координат вершины опорной ломаной влияет на форму глобального сплайна в целом.

Преобразовать GNURBzS в B-сплайновую кривую геометрически точно невозможно.

Управляющий полигон B-сплайновой кривой называется S-полигоном. S-полигон может использоваться в качестве ГО кривой. S-полигон удобен для редактирования уже построенной B-сплайновой кривой. S-полигон, при некоторых ограничениях, однозначно определяет форму кривой.

S-полигон может быть представлен в закрытом (clamped) или открытом (float) формате. Открытый формат удобен для редактирования замкнутых сплайнов и для контроля качества и редактирования концевых участков незамкнутых сплайнов.

NURBzS кривая состоит из сегментов кривых Безье. Отдельная кривая Безье определяется B-полигоном. Последовательность B-полигонов сплайна Безье представляет обобщенный (General) GB-полигон.

Отдельную кривую Безье можно рассматривать как односегментную B-сплайновую кривую. B-полигон совпадает с S-полигоном в закрытом формате. В системе FairCurveModeler можно перейти от B-полигона кривой Безье к S-полигону в открытом формате односегментной B-сплайновой кривой. Эта опция используется при построении сопряжений.

Виртуальная кривая (V-кривая). Не имеет аналитического выражения. Строится алгоритмически на всех видах ГО. В пределах алгоритмического построения принадлежит кривой класса C^5 . V-кривая обладает рядом замечательных свойств:

- изогометрична исходным ГО;
- инвариантна относительно аффинных преобразований;
- геометрически точно моделирует конические кривые;
- обладает малой потенциальной энергией.

В системе Web FairCurveModeler V-кривая аппроксимируется посредством B-сплайновой кривой степеней 4/6/8/10 или GNURBzS кривыми с сохранением базовых свойств V-кривой.

Благодаря высокому качеству V-кривой и аппроксимирующих ее NURBS кривых, эти кривые идеально подходят для моделирования функциональных кривых. Поэтому эти кривые названы кривыми класса F или F-кривыми (Functional Curves).

Соответственно, F-кривая в формате B-сплайновой кривой называется FB-сплайновой кривой или FB-кривой.

F-кривая в формате NURBzS кривой называется FNURBzS кривой или FBz-кривой.

2. Программы

Авторами разработан программно-методический комплекс (ПМК) FairCurveModeler для моделирования функциональных кривых.

ПМК FairCurveModeler адаптирован и внедрен в геометрическое ядро C3D в виде раздела C3D FairCurveModeler.

На основе функционала ПМК/C3D FairCurveModeler разработаны универсальные и специализированные приложения CAD-систем (КОМПАС 3D, nanoCAD / ZWCAD / AutoCAD), математических систем (MathCAD / Mathematica / Wolfram Cloud), разработано приложение Excel, Web приложение.

Философия ПМК FairCurveModeler построена на теории исчисления параметров советской школы прикладной геометрии. Исходные данные для построения или редактирования кривых представляются в виде геометрических определителей (ГО).

Приложения FairCurveModeler предназначены для геометрического моделирования изделий с функциональными кривыми и поверхностями. Геометрические параметры

функциональных поверхностей являются определяющими для функциональных характеристик проектируемого объекта в целом.

Методы FairCurveModeler отвечают следующим базовым требованиям к методам моделирования функциональных кривых:

- Изогеометричность построения (или изогеометричность II рода);
- Высокое качество по критериям плавности;
- Малое значение потенциальной энергии.

Применение методов FairCurveModeler позволяет получить кривые высочайшего качества: высокого порядка гладкости (до 9-го порядка), с минимальным количеством экстремумов кривизны, с плавным изменением кривизны с ограниченной вариацией и с ограничением на скорость изменения, с плавным кручением пространственной кривой.

Основой FairCurveModeler являются инновационный метод построения т.н. виртуальной кривой (V-кривой) класса C^5 . V-кривые для включения в САПР аппроксимируются посредством NURBS кривых: B-сплайновыми кривыми высоких степеней m , ($m = 4/6/8/10$) или рациональными кубическими сплайновыми кривыми Безье (NURBzS кривыми). Кривые, построенные в FairCurveModeler на основе V-кривых, были названы кривыми класса F или F-кривыми. F-кривые представленные B-сплайновыми кривыми назовем FB-сплайновыми кривыми или FB-кривыми. F-кривые, представленные сплайновыми кривыми Безье, назовем FNURBzS кривыми или FBz-кривыми.

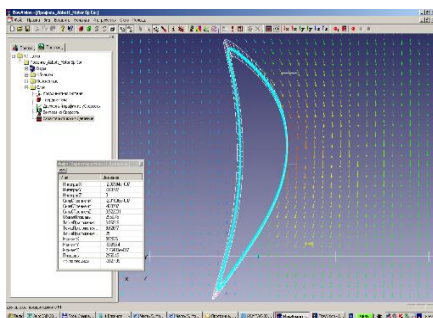
Инновационный метод построения B-сплайновой поверхности в FairCurveModeler основан на каркасно-кинематическом способе. Алгоритм построения состоит из двух этапов:

- Построение каркаса образующих FB-кривых на строках сети точек;
- Построение направляющих FB-кривых на столбцах сети S-полигонов образующих FB-кривых.

Благодаря использованию F-кривых, обеспечивается высокое качество F-поверхности.

3. Где нужны F-кривые и F-поверхности от FairCurveModeler:

1). Профиль крыла самолета / профиль лопатки турбины / профиль винта и крыла БПЛА должны создавать подъемную силу при минимальном лобовом сопротивлении. Предложенные техники моделирования на основе метода Abbott'a, но с применением кривых класса F, позволяют существенно улучшить аэродинамические характеристики стандартных профилей ЦАГИ, НАСА и профилей лопаток турбин и компрессоров. Сравнительное тестирование исходных профилей и улучшенных профилей в системе FlowVision показывает значительное повышение аэродинамического качества улучшенных профилей.

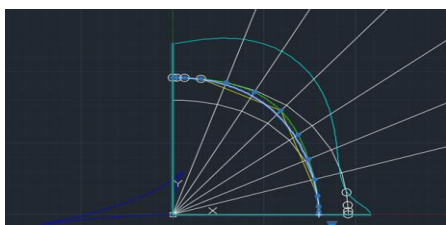


2). Трасса дороги должна обеспечивать комфортную безопасную езду на транспортном средстве, поэтому необходимо добиваться максимальной плавности трассы

при заданных ограничениях. Уникальные функции C3D FairCurveModeler построения кривых на касательной ломаной позволяют проектировать трассу дороги, заданную ломаной теодолитных ходов, с высоким качеством плавности и с минимизацией потенциальной энергии.

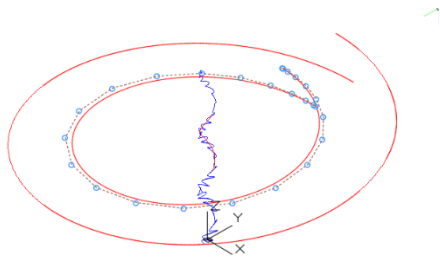


3). Профиль кулачка определяет перемещение толкателя с клапаном для обеспечения необходимого закона газораспределения, поэтому при его конструировании рекомендуется добиваться безударного плавного движения клапана. Предложенные техники моделирования в приложении позволяют обеспечить гладкость 9-го порядка! интегральной кривой с точными дугами окружностей верхнего и нижнего “выстоя”.



Переходный участок между участками выстоя в виде NURBzS кривой 8-ой степени. Обеспечивается 7-ой порядок гладкости.

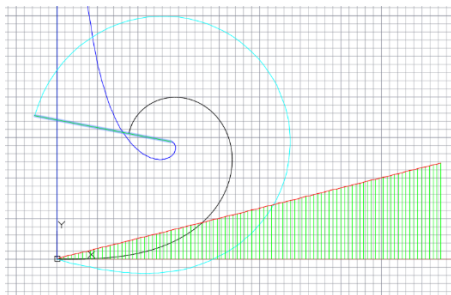
4). Среди функциональных кривых можно выделить подкласс инженерных аналитических кривых, которые единственным оптимальным образом обеспечивают проектную характеристику объекта. К таким кривым, например, можно отнести эвольвенту окружности, используемую для построения профиля зубьев зубчатого колеса, а также брахистохрону — кривую наискорейшего спуска для транспортировки предметов. Цепная линия, используемая для моделирования поверхности купола или висячей конструкции, а также клотоида, используемая для конструирования участков виража с линейным изменением центробежной силы, начиная с нуля, — все это тоже примеры инженерных аналитических кривых. Предложенные техники аппроксимации в приложении позволяют изогеометрически (с сохранением формы и базовых свойств) аппроксимировать аналитические кривые.



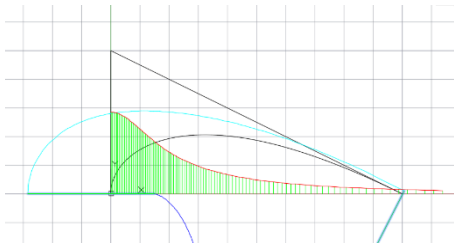
Аппроксимация В-сплайновой кривой степени 8 точек примитива `_Helix` AutoCAD. Идеальные эпюра кривизны и эволюта В-сплайновой кривой (показаны красным цветом). Эволюта штатного примитива `_Helix` AutoCAD показана синим цветом.

5). В промышленном дизайне / в инженерных задачах часто требуется построение кривых с монотонной кривизной. Кроме команд аппроксимации фиксированных аналитических кривых в приложении можно использовать три дополнительные команды построения эстетических кривых:

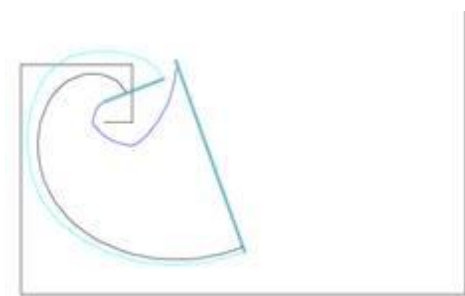
- начального участка клотоиды с заданием длины и конечной кривизны;



- сектрисы Маклорена – участка кривой с монотонной кривизной, заданного соприкасающимся треугольником;

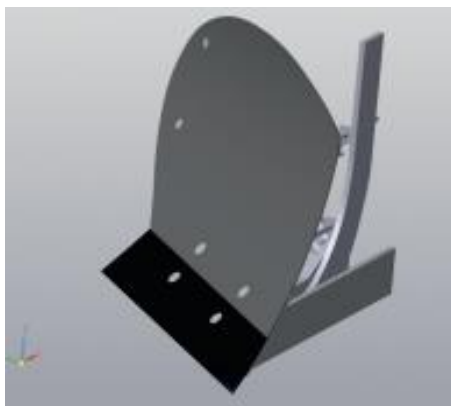


- участка В-сплайновой кривой с монотонной кривизной путем генерации вершин открытого S-полигона с заданным коэффициентом удлинения звеньев и фиксированным углом между звеньями.

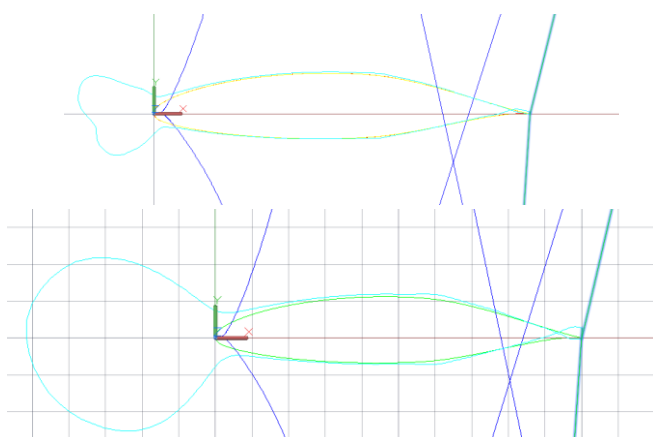


Участок В-сплайновой кривой 4-ой степени с монотонной кривизной (коэффициент удлинения 2, угол 90 градусов).

Замена в стандартной конструкции плуга направляющей кривой вида параболы посредством участка клотоиды с теми же макропараметрами позволила получить потрясающий результат: повысилось качество вспашки и уменьшилась энергоемкость обработки.



6). В реверсивном инжиниринге возникает проблема аппроксимации кривой, заданной массивом “зашумленных” точек. Точная интерполяция приводит к кривой с осцилляцией кривизны. Команды FairCurveModeler построения сглаживающих кривых решают данную проблему.



Исходная кривая на измеренных точках (наверху). Улучшенная кривая (внизу).

4. Для кого система Web FairCurveModeler?

Прежде всего, приложения FairCurveModeler предлагается пользователям т.н. “топовых” CAD-систем (NX, Catia), производители которых декларируют возможность моделирования кривых линий и поверхностей высокого качества. Этим пользователям действительно нужны функции моделирования кривых линий и поверхностей высокого качества. И такую функциональность, но обеспечивающую более высокое качество кривых и поверхностей, они найдут в приложении FairCurveModeler ([see curves comparison FairCurveModeler vs NX and 'Alias Design Studio'](#)) and ([see comparison of surfaces FairCurveModeler vs NX, Rhinoceros 3D and Alias Design Studio](#))

Вторая группа пользователей, которым нужна функциональность приложений FairCurveModeler, - это пользователи, которые обходятся в проектировании стандартными машиностроительными CAD-системами (КОСПАС 3D, ZWCAD, BricsCAD, AutoCAD,

naoCAD), но которые хотели бы улучшить потребительские свойства проектируемых изделий высококачественными по функциональности и эстетике геометрическими формами (see the examples of [analysis](#) and of [improving](#) primitive _Helix in ZWCAD).

Третья группа - пользователи графических пакетов (например, Corel Draw) и анимационных программ (например, 3D MAX Studio) - дизайнеры, художники, web-дизайнеры, геймеры, аниматоры, которым нужно нарисовать просто красивую линию, красивую поверхность с использованием удобных, наглядных и точных видов геометрических определителей ([see the examples of modeling and editing curves in the application](#)).

Почему Web FairCurve Modeler

Система Web FairCurveModeler не для моделирования красивых линий.

Система Web FairCurveModeler для моделирования функциональной геометрии проектируемых изделий.

Всегда помните – качество функциональных кривых определяет качество ваших изделий.

Web FairCurveModeler доступен любому конструктору из любой точки земного шара и в любое время.

5. Регистрация в Web FairCurveModeler

Заходим на сайт Spliner.ru

В меню сайта

 Меню сайта
»» WEB online modeling
»» WEB Lessons Improving Curves
»» WEB Lessons Improving Surfes
»» FairCurveModeler app (ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD)
»» FairCurveModeler приложение (ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD)
»» Обучение КОМПАС ГРАФИК
»» FairCurveModeler 2D приложение КОМПАС ГРАФИК
»» FairCurveModeler 3D приложение КОМПАС 3D
»» Обучение FairCurveModeler 3D КОМПАС 3D
»» How to get programs
»» Как получить программные продукты
»» Using in Specialized Applications / Применение в прикладных САПР
»» Library of apps and articles / Библиотека приложений и статей
»» YouTube
»» Guest book / Гостевая книга
»» About the developers / О разработчиках
»» Прикладная библиотека FairCurveModeler КОМПАС

нажимаем на строку [WEB online modeling](#).

Переходим на страницу онлайн моделирования



Main Page

[Help](#)
[YouTube](#)
[Theory](#)

Instructions and Messages: [Clear](#)

Set Your Email and UserId to login or register by clicking the [Register]

Login to work in the Created Folder

set Your E-Mail:

set Your UserId: [OK](#) Confirm entering params

Register your account in 'WebFairCurveModeler'

[Register](#)

To work with web FairCurveModeler .

[Для работы с web FairCurveModeler.](#)

Online modeling

[Web FairCurveModeler](#)

You can model and edit curves and surfaces of high quality on criteria of smoothness.

[Вы можете моделировать и редактировать кривые линии и поверхности высокого качества](#)

Если у вас уже есть аккаунт, то логируйтесь и нажмите кнопку

Online modeling

Web FairCurveModeler

И перейдете на страницу Меню Страниц.

При первом входе перейдете на страницу регистрации.

Нажмите кнопку 'Register'

Register your account in 'WebFairCurveModeler'

Register

To work with web FairCurveModeler .

Для работы с web FairCurveModeler.

Переходим на страницу регистрации Register3D.



Register3D

License Agreement

☒ I agree

☐ I do not agree

Instructions and Messages

Read the License Agreement and then register

Login Your Personal Account

set Your E-Mail:

set Your UserID:

repeat UserId: Confirm entered params

Download the Code of Activation

Transfer to Main Page for modeling by Web FairCurveModeler

В 'License Agreement' дайте согласие с содержанием лицензионного соглашения:

License Agreement

☒ I agree

☐ I do not agree

Введите в соответствующие поля адрес почты и дважды ваш идентификатор / пароль пользователя (UserId). Запомните UserId. Нажмите OK.

Если все ОК, значит ваш аккаунт UserId создан. Нажмите кнопку [to Main page]

Transfer to Main Page for modeling by Web FairCurveModeler

Вы перейдете в Меню WebFairCurveModeler3D:



WebFairCurveModeler3D

[Help](#) [YouTube](#) [Theory](#)

Instructions and Messages: [Clear](#)

License = Trial
Used = 2 days

Work in the Created Folder

Modeling Curve on Pages:

[Polyline3D](#) to Create and

Edit Curve on Base

Polyline

[Tangent3D](#) to Create and

Edit Curve on Tangent

Polyline

[Hermite3D](#) to Create and

Edit Curve on Hermite

Scheme with fairing

[NURBzS3D](#) to Edit Curve

on GB-polygon of Bezier

Spline Curve

[NURBS3D](#) to Edit Curve

on S-polygon of B-Spline

Curve

Modeling Surfaces on Pages:

[BSurface3D](#) to Create B-

Surface on 3D Mesh

[BZSurface3D](#) to Create

BZ-Surface on 3D Mesh

Transferrings

[to Main Page](#) to Main Page

Далее выполните следующие уроки.

6. Улучшение кривых

Поскольку для моделирования функциональных кривых инженеры используют стандартные САПР (КОМПАС 3D / nanoCAD / ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD), то мы построили обучение работе с системой Web FairCurveModeler в виде уроков улучшения качества сплайнов, смоделированных в конкретных САПР. Сравнивая качество сплайнов CAD-систем и улучшенных в Web FairCurveModeler, вы сможете понять, почему при проектировании функциональной геометрии необходимо использовать Web FairCurveModeler.

Проектирование дорогостоящего изделия – дело ответственное. Ошибка конструктора на этапе геометрического моделирования стоит дорого.

6.1. Подготовка цифрового теоретического чертежа функциональной кривой в САПР

Один из этапов проектирования - подготовка цифрового теоретического чертежа функциональной кривой. Цифровой теоретический чертеж (ЦТЧ) кривой дает метрологическую определенность геометрической модели. Обеспечивает возможность объективного контроля изогометричности модели на всех этапах проектирования и производства изделия. Изогметричность здесь означает, что используется одна и та же геометрическая модель на всех этапах проектирования и производства. Это изогметричность I рода.

Процесс подготовки ЦТЧ начинается с эскизирования кривой;

На эскизе кривой задается ГО;

Выполняется улучшение качества ГО (сглаживание по коридору/ сглаживание по средней линии / благоприятное перераспределение);

Строится V-кривая и выполняется ее изогеометрическая аппроксимация посредством NURBS кривой или B-сплайновой кривой. В данном случае это изогеометричность II рода.

Окончательно цифровая модель должна быть представлена рафинированным ГО и NURBS моделью, построенной на рафинированном ГО. Чертеж должен быть дополнен пояснениями вида указания по номерам точек ГО участков монотонности и других специфических требований к функциональной кривой (порядок гладкости, значения конечных параметров вида касательных и кривизн, максимально допустимой кривизны, ограничения по скорости изменения кривизны, точных положений прямолинейных участков, фиксированных касательных в некоторых точках).

Методы Web FairCurveModeler обеспечивают подготовку цифрового теоретического чертежа функциональной кривой в САПР.

6.2. Урок 1. Улучшение сплайна КОМПАС 3D

Урок показывает улучшение кубической сплайновой кривой, построенной по определяющим точкам в КОМПАС 3D путем построения B-сплайновой кривой высокой степени (4/6/8/10) в Web FairCurveModeler.

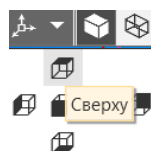
1). Построение кривой на опорной ломаной

> КОМПАС 3D

> Каркас и поверхности

 Каркас и поверхности

> Вид сверху



-27.657228	-96.099312	0.000000	0.000000
-84.763459	-53.058044	0.000000	0.000000
-59.297962	80.521747	0.000000	0.000000
-29.048160	95.688058	0.000000	0.000000
99.252996	12.200112	0.000000	0.000000
77.082573	-63.704607	0.000000	0.000000
29.579501	-95.525144	0.000000	0.000000

Строим по точкам сплайновую кривую.

Самая высококачественная кривая по критериям плавности – окружность. Постройте сплайн по произвольным точкам на окружности (рис. 1).

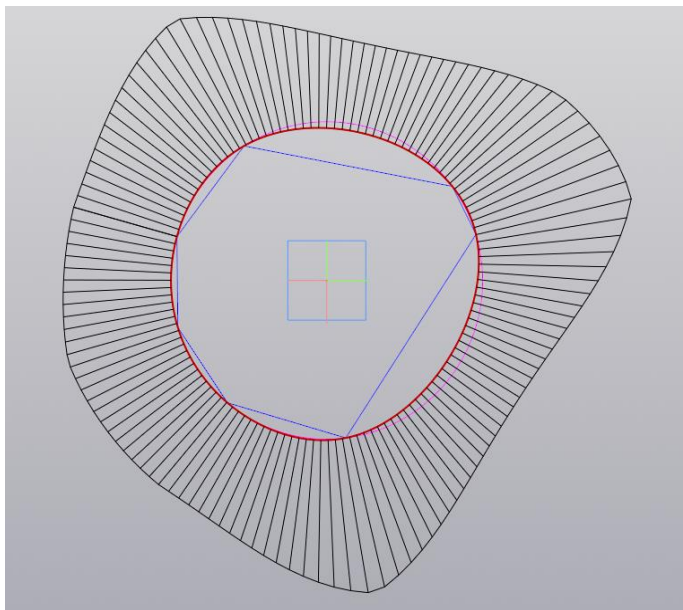


Рис.6.2.1. Сплайн в КОМПАС 3D.

Без комментариев.

Переходим к редактированию сплайновой кривой.

Записываем ломаную опорных точек во внешний текстовый файл.

Открываем текстовый файл.

Копируем содержимое в буфер памяти.

Переходим в Web FairCurveModeler на страницу

> Polyline3D

Instructions and Messages (I&M)

> Clear

> Вставляем содержимое из буфера памяти

Read Data

>3D Polyline from Table

> Zoom All

>Create

Создается NURBS кривая

Проверяем качество

View Params

>Draw Curvature as F(x)

(рис. 2)

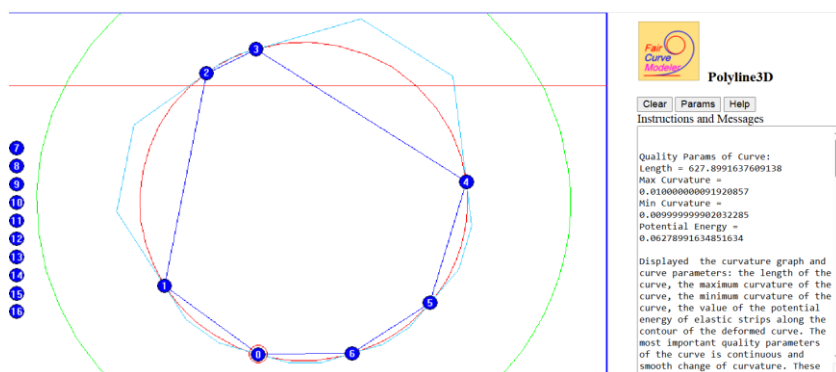


Рис. 6.2.2. Геометрически точная окружность.

Это окружность

Аппроксимируем В-сплайном 8-ой степени.

Approximation

> by Bspline

> Degree 8 (это степень сплайна, можно 4/6/8/10)

> Create

(рис. 3)

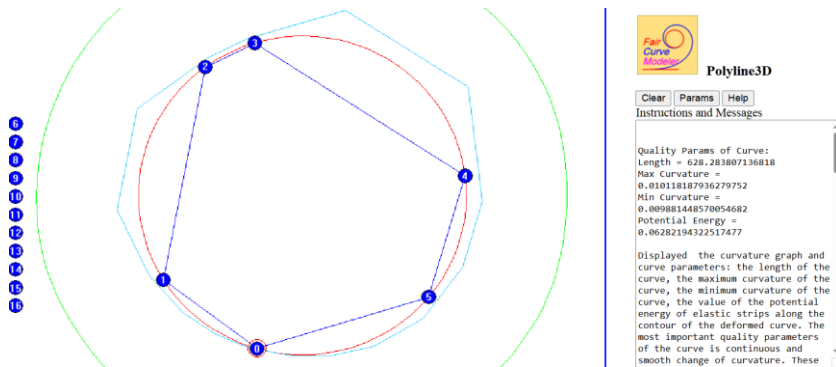


Рис. 6.2.3. В-сплайн степени 8.

Проверяем качество (рис. 4).

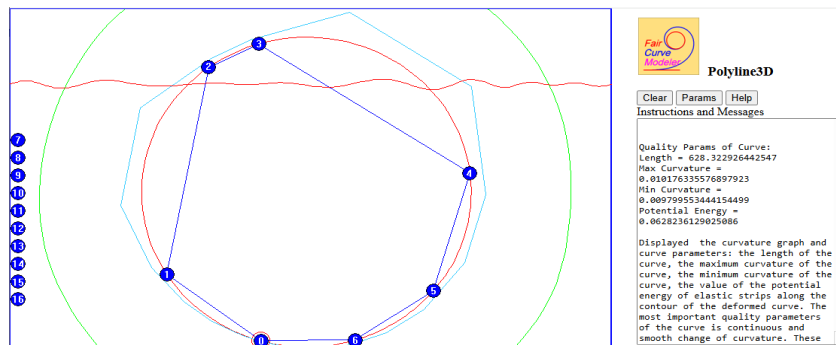


Рис. 6.2.4. График кривизны вида F(x).

Окружность не идеальная. Биение кривизны

Max Curvature = 0.010176335576897923

Min Curvature = 0.009799553444154499

Строим В-кривую с опцией рафинирования

Fairings:

(*) Fairing + arranging

(рис. 5).

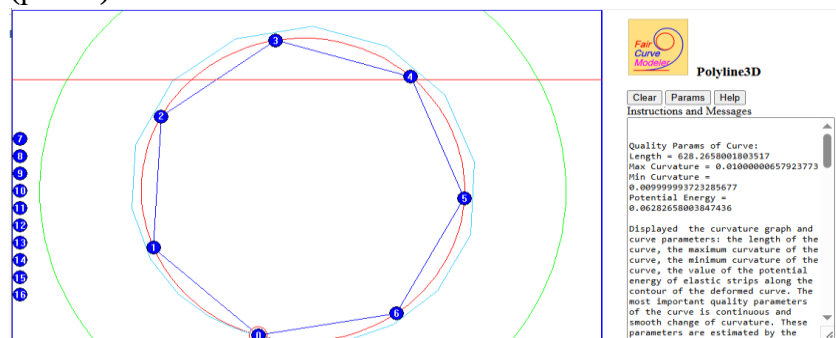


Рис. 6.2.5. Улучшенная кривая опцией 'arranging'.

Идеальная окружность с биением кривизны

Max Curvature = 0.01000000657923773

Min Curvature = 0.009999993723285677

Переходим на страницу NURBS3D

>Create

Устанавливаем опцию

Format:



Clamped



Float

>Create

(рис. 6).

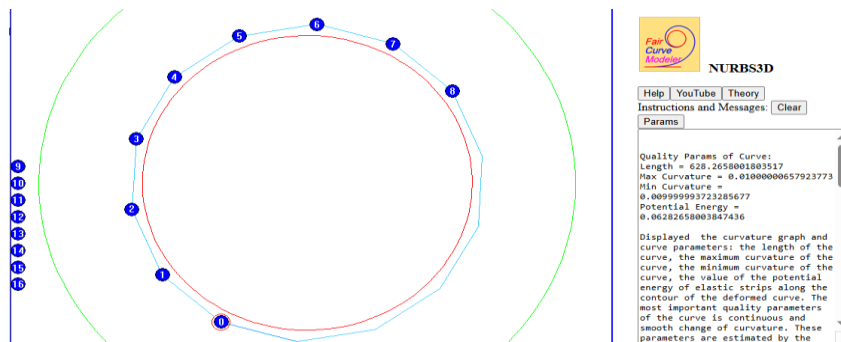


Рис. 6.2.6. Конвертирование S-полигона в плавающий формат.

Write Data

> NURBS Model to Table X Y X W

Instructions and Messages (I&M)

> Выделить содержимое (I&M)

> Копируем содержимое из I&M в буфер памяти

> Создаем текстовый файл *.txt

> Вставляем в текстовый файл содержимое буфера

```
-52.14881371696056 -94.41518458471091 0 1
-87.9502590492031 -62.43798175900517 0 0.9999999999999998
-106.33133860624594 -18.093723897589104 0 0.9999999999999998
-103.65160847621864 29.83420138345414 0 0.9999999999999996
-80.4418382892946 71.8530191026189 0 1
-41.298947595164606 99.64005376652989 0 1
6.02376861469962 107.69140081036176 0 1
52.153127658186406 94.41270591324081 0 1
87.95231945357807 62.43439686153323 0 1
106.33140970932425 18.090786533371855 0 1
103.65065408788553 -29.835450239903665 0 1
80.44161139919788 -71.85227046649922 0 1
41.300940215416745 -99.63847272668886 0 1
-6.019406805339123 -107.6911540053141 0 1
```

> Сохранить файл

Переходим в КОМПАС 3D

> Строим сплайн

> Сплайн по полюсам

> Читаем созданный файл с NURBS моделью

> Устанавливаем Порядок = степень + 1

>[*]Замкнуть кривую

(рис. 7).

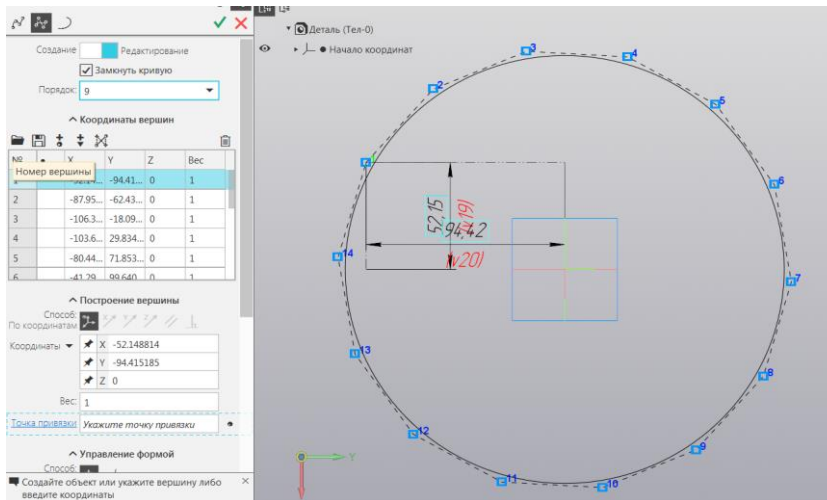


Рис. 6.2.7. Трансфер сплайна в КОМПАС 3D.

> Создаем сплайн (нажимаем зеленую галочку V)

Проверим качество

>График кривизны

(рис. 8).

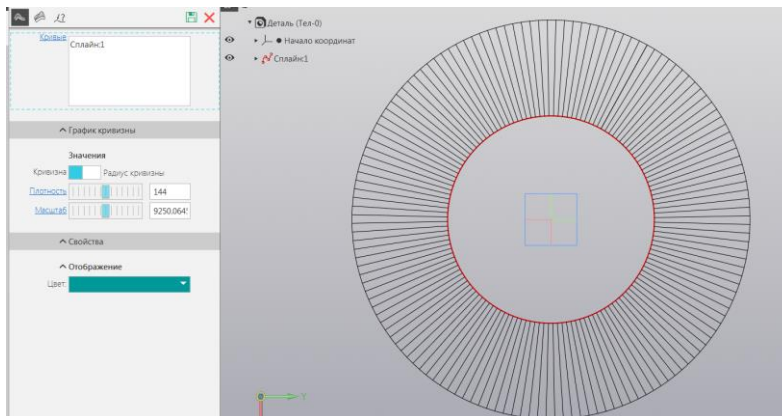


Рис. 6.2.8. График кривизны сплайна.

Сравниваем графики кривизны.

Почувствуйте разницу!

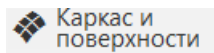
Данную B-сплайновую модель окружности вы можете использовать для представления окружности в инженерных проектах.

Всегда помните! Вы моделируете функциональную кривую, которая будет определять проектные характеристики изделия.

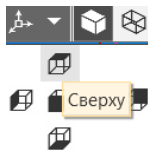
2). Улучшение сплайна на касательной ломаной

> КОМПАС 3D

Рабочее пространство: каркас и поверхности



Вид сверху:



Построим касательную к окружности.

Перенесем массив с координатами точек в текстовый файл

```
-135.824 -7.787849999999999 0 1  
-40.1194 108.692 0 1  
83.5374 86.72580000000001 0 1  
104.098 -8.22147 0 1  
74.46559999999999 -84.4208 0 1  
-29.5589 -110.511 0 1
```

Строим по точкам касательной ломаной сплайновую кривую по полюсам степени 2 (порядка 3). Используем текстовый файл с координатами точек (рис. 9).

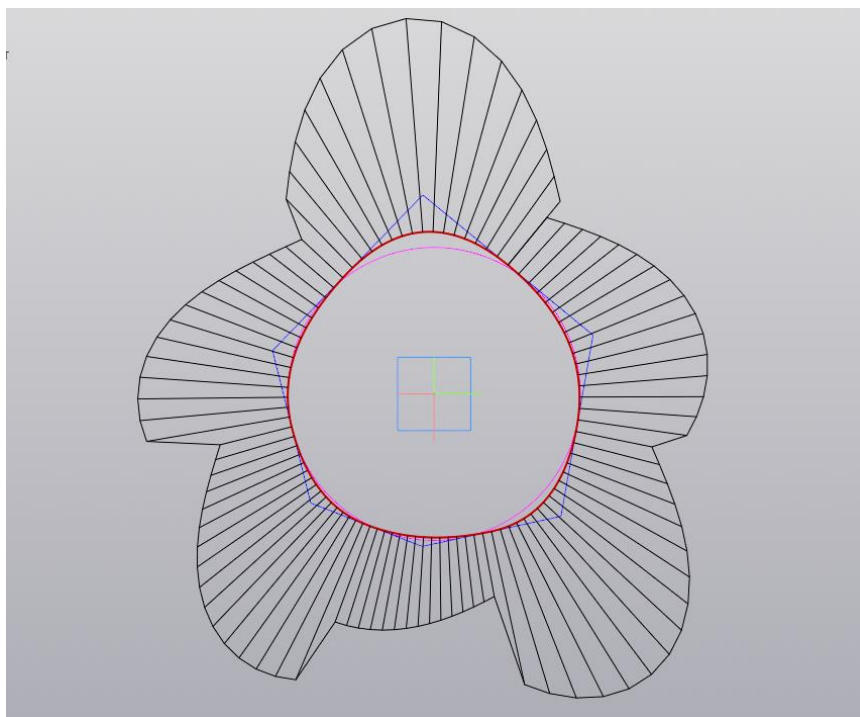


Рис. 6.2.9. Сплайн 2-ой степени (порядка 3) по полюсам.

Переходим к редактированию сплайновой кривой.

Записываем ломаную вершин во внешний файл.

Открываем файл.

Копируем содержимое в буфер памяти

Перейдем в Web FairCurveModeler

> Страница Tangent3D.

Instructions and Messages (I&M).

> Clear (очищаем текстовое поле).

> Вставляем содержимое из буфера.

Read Data

> 3D Polyline from Table

> Zoom All

> Create

Approximation

> by B-Spline

> Degree 8 (это степень сплайна, можно 4/6/8/10)

> Create (рис. 10).

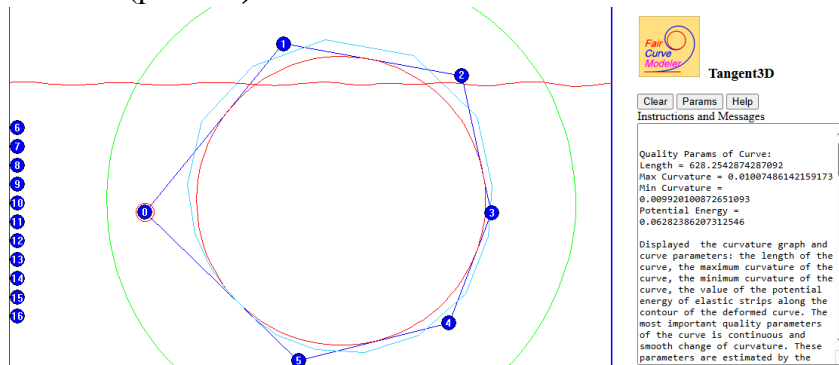


Рис. 6.2.10. В-сплайн 8-ой степени на касательной ломаной.

Биение кривизны:

Max Curvature = 0.01007486142159173

Min Curvature = 0.009920100872651093

Переход на страницу NURBS3D

Опции

Format:

- Clamped
- Float

> Create

Удаляем историю браузера.

Write Data

> NURBS Model to Table X Y X W.

```
-109.0285157088606 -46.80512591868069 0 1
-113.71171210730483 34.87466500159134 0 0.9999999999999998
-68.10087509222139 90.38655736512915 0 0.9999999999999998
-10.688041623495065 111.57820464530396 0 0.9999999999999996
50.12406045136008 100.77563821469738 0 1
94.24430066873506 58.277572863240835 0 1
104.61100278939244 10.404939513175663 0 1
101.86001668390259 -24.427252587523924 0 1
86.33176345920674 -64.35795316499087 0 1
49.090637176531004 -97.2076426673728 0 1
-3.166134859804572 -110.31407080480238 0 1
-58.69420141586107 -95.46173394208495 0 1
```

Instructions and Messages (I&M)

> Выделить содержимое в (I&M)

- > Копируем содержимое из I&M в буфер памяти
- > Создаем текстовый файл *.txt
- > Вставляем в текстовый файл содержимое буфера
- > Сохраняем файл

Перейдем в КОМПАС 3D

- > Строим сплайн.
- > Сплайн по полюсам.
- > Читаем файл с NURBS моделью
- > Устанавливаем Порядок = степень + 1

(рис. 11).

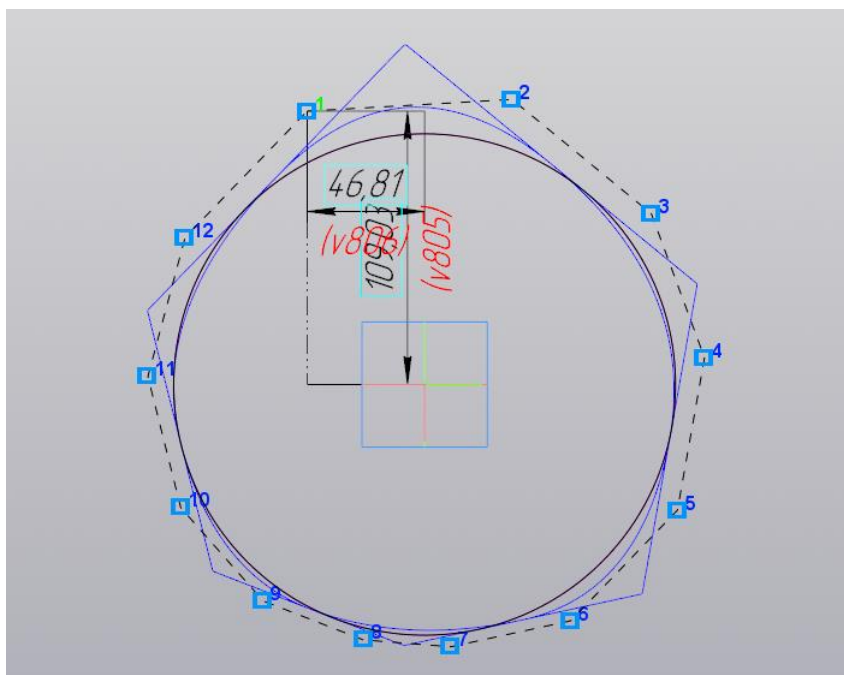


Рис. 6.2.11. Сплайн 8-ой степени по полюсам.

- > Создаем сплайн (нажимаем зеленую галочку V).

Проверяем качество.

- > График кривизны (рис. 12).

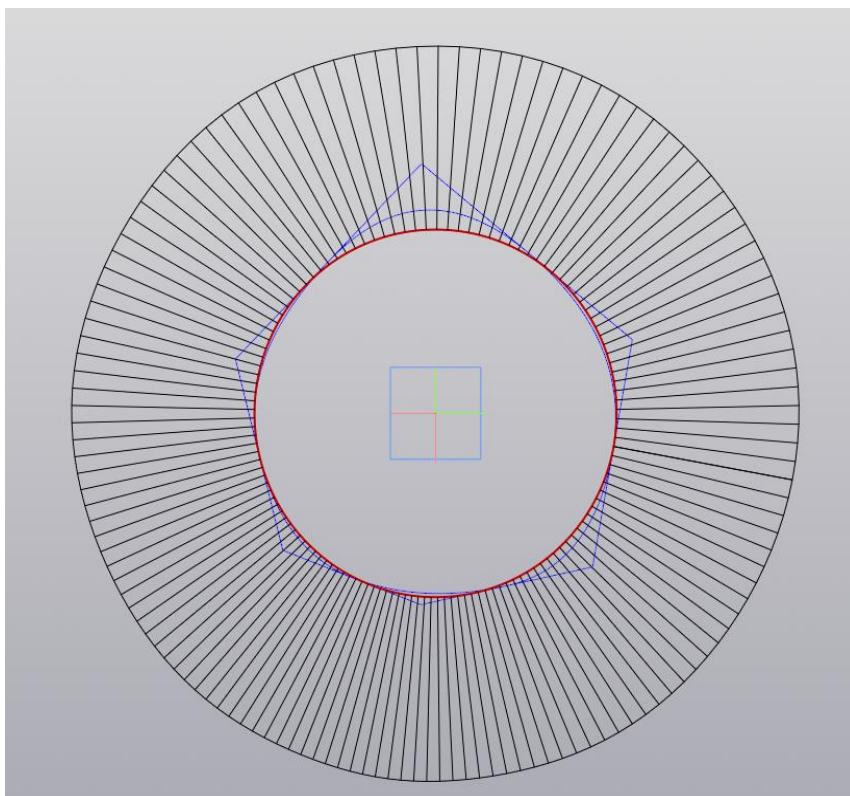


Рис. 6.2.12. График кривизны улучшенной кривой.

Сравните качество исходной и улучшенной кривой по графикам кривизны и макропараметрам.

Всегда помните! Вы моделируете функциональную кривую, которая будет определять проектные характеристики изделия.

Построением и редактированием кривой в Web FairCurveModeler можно добиться высочайшего качества кривой по параметрам плавности.

3). NURBzS кривая

Особенности NURBzS кривых. Узловые точки совпадают с исходными опорными точками. Прямолинейные участки точно моделируются. Точно моделируются конические кривые.

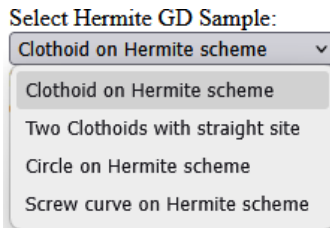
NURBzS кривые идеально подходят для построения сети кривых на сети точек для последующего построения поверхности на сети кривых штатными командами CAD-систем.

В КОМПАС нет специальной команды построения NURBzS кривой. Поэтому мы не имеем возможности “привязаться” к процессу построения кривой, как в случае построения B-сплайновой кривой.

Предлагается следующая техника переноса NURBzS кривой в КОМПАС.

Например, построим NURBzS кривую на странице Hermit3D.

>Выбираем пример ‘Clothoid on Hermite scheme’



ГО Эрмита сформирован на аналитической кривой Clothoid.

Аналитические кривые на ГО Эрмита необходимо строить напрямую без улучшения.

Опция улучшения

Params for V-

Curve

Fairings:

☒ None

☐ On points

☐ On

tangents

☐

>Create (рис. 13).

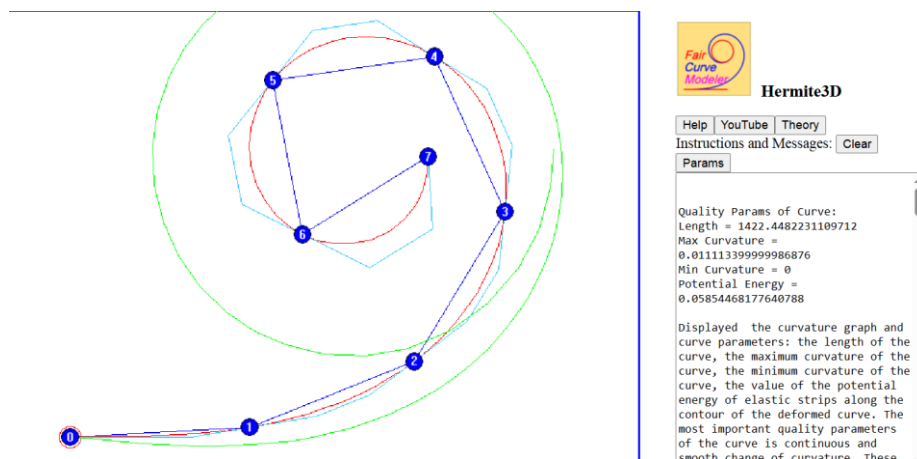


Рис. 6.2.13. Участок клотоиды.

Переходим на страницу NURBS3D

>Create

Убедитесь в высоком качестве аппроксимации аналитической кривой посредством NURBS кривой.

>Draw Curvature as F(x) (рис. 14).

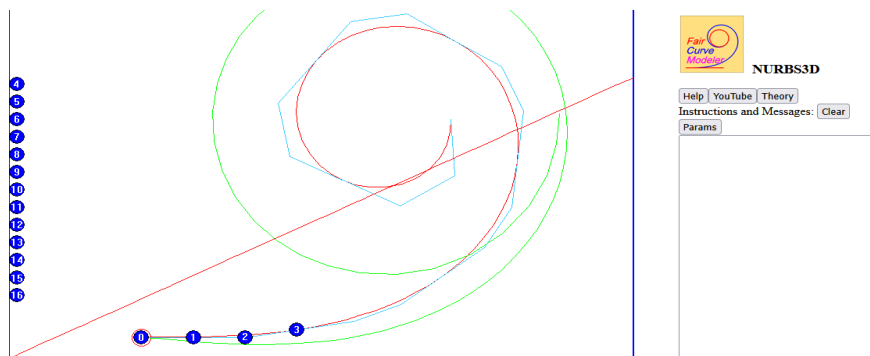


Рис. 6.2.14. Начальный участок клотоиды, аппроксимированный NURBzS кривой. Показан график кривизны.

Переносим модель в DXF файл.

Удаляем историю браузера.

>Down Load DXF

>Сохраняем текстовый r_out_dxf.txt с расширением DXF

Переходим в КОМПАС 3D. Читаем модель из DXF-файла (рис. 15).

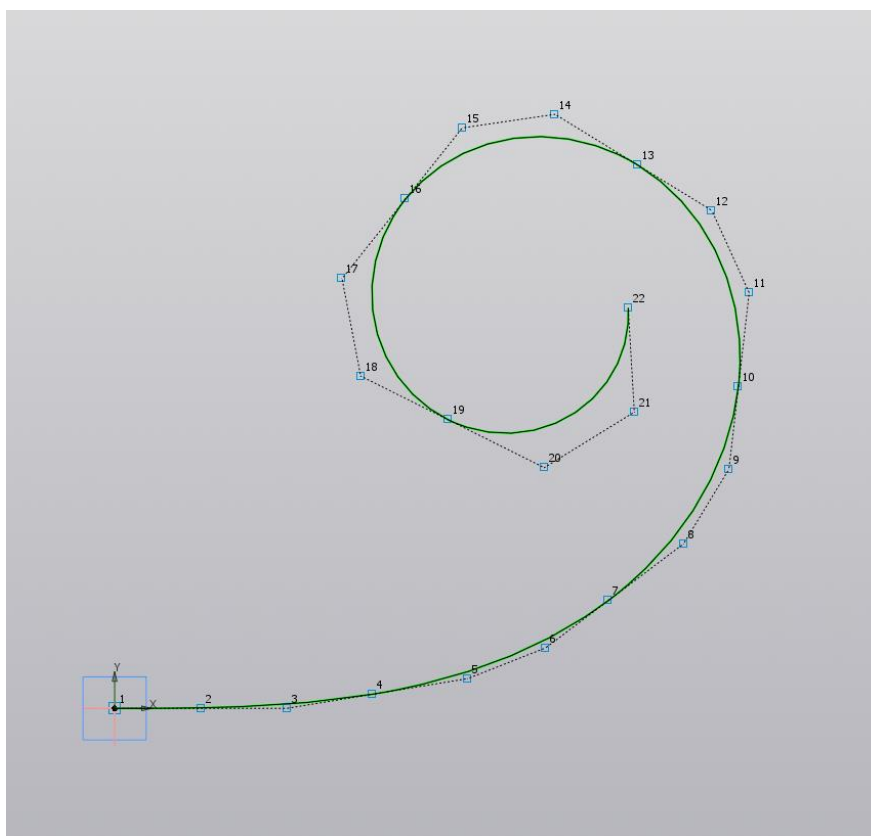


Рис. 6.2.15. Перенос NURBzS модели кривой в КОМПАС 3D.

Проверяем качество опцией 'графики кривизны' (рис. 16).

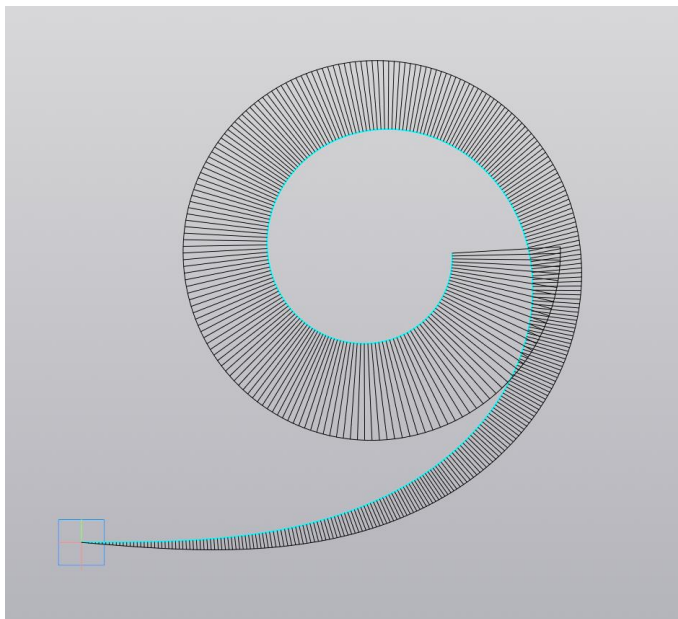


Рис. 6.2.16. График кривизны над кривой.

6.3. Урок 2. Улучшение сплайна ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD

AutoCAD и его “клоны” не имеют команды построения В-сплайновой кривой высокой степени на опорной ломаной. Разработчики в погоне за сверхприбылью разрабатывают эти команды в других продуктах (Alias Design). Благодаря приложению Web FairCurveModeler, пользователи могут создавать сплайны высочайшего качества без необходимости приобретения других продуктов Autodesk.

1). Построение сплайна на опорной ломаной

Построение FB-сплайновой кривой высокой степени (4/6/8/10)

Переходим в ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD

Рисуем ломаную по точкам примитива _Helix:

```

150.0,0.0,0.0,1.0
129.701,70.3711,0.0,1
51.8511,133.94,0.0,1
-52.6723,129.297,0.0,1
-123.385,56.251,0.0,1
-124.556,-42.4485,0.0,1
-59.6071,-112.798,0.0,1
32.9665,-119.089,0.0,1
102.264,-61.9321,0.0,1
112.965,24.2747,0.0,1
63.2448,91.8666,0.0,1
-16.4157,106.26,0.0,1
-81.687,63.5706,0.0,1
-99.0491,-9.4263,0.0,1
-62.9406,-71.8042,0.0,1
3.33705,-91.4122,0.0,1
62.2939,-61.3918,0.0,1
83.4295,-1.8277,0.0,1
58.9667,53.2286,0.0,1
6.04994,75.183,0.0,1
-44.677,55.7132,0.0,1
-66.7552,9.31806,0.0,1
-51.6838,-36.7037,0.0,1
-11.6269,-58.2294,0.0,1
29.3689,-46.9359,0.0,1
49.0338,-17.2364,0.0,1

```

Рисуем spline в CAD-системе по точкам ломаной (рис. 1).

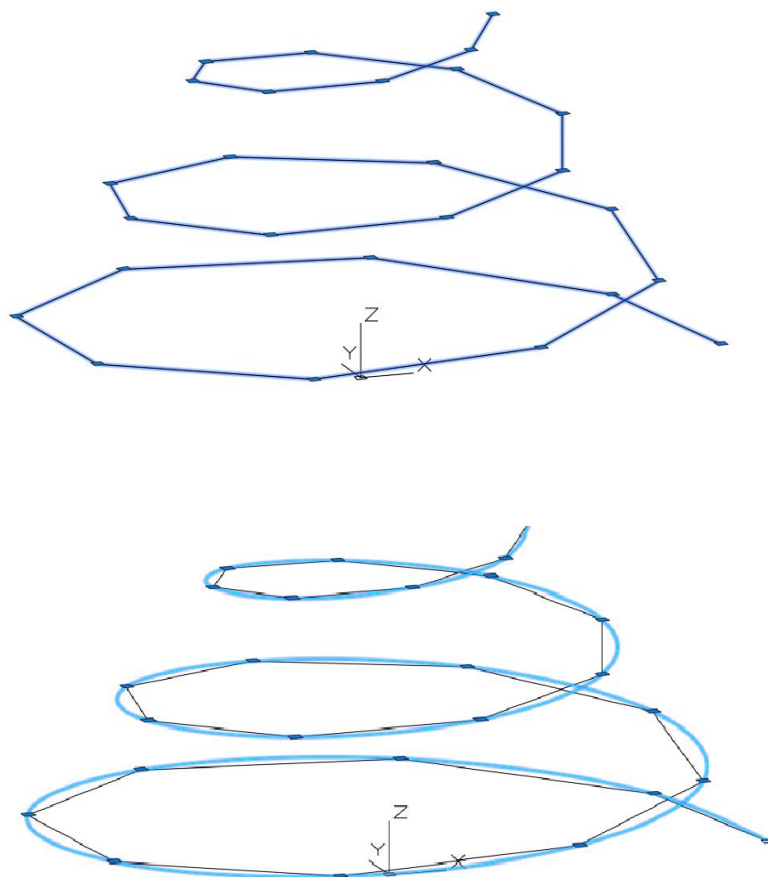


Рис. 6.3.1. Кубический сплайн по точкам примитива _Helix.

Оценим качество. Загрузим приложение [V_Test_WEB.lsp](#). Выполним команду V_Test (рис. 2)

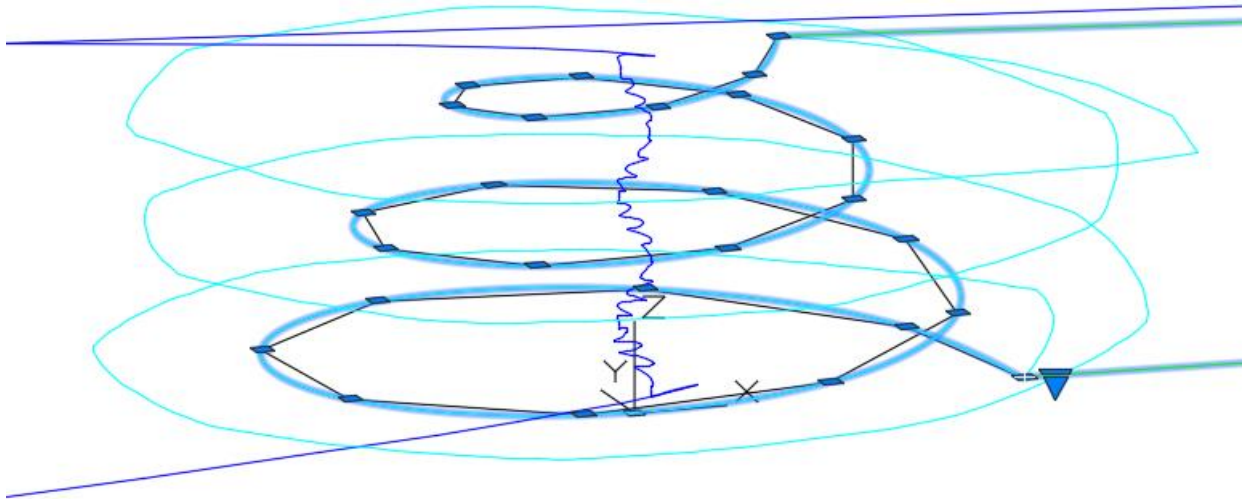


Рис. 6.3.2. Графики кривизны и эволюты кубического сплайна по определяющим точкам.

Синим цветом график эволюты. Обратите внимание на низкое качество графиков кривизны и эволюты.

Улучшим сплайн. Выполняем

(entget (car (entsel "select NURBS"))))

Указываем кривую.

Копируем в буфер памяти участок в протоколе:

```
((-1 . <Имя объекта: 2e5a47500d0>) (0 . "SPLINE") (330 . <Имя объекта: 2e5fab039f0>) (5 . "2CD") (100 . "AcDbEntity") (67 . 0) (410 . "Model") (8 . "0") (62 . 4) (100 . "AcDbSpline") (70 . 1056) (71 . 3) (72 . 32) (73 . 28) (74 . 26) (42 . 1.0e-09) (43 . 1.0e-10) (44 . 1.0e-10) (40 . 0.0) (40 . 0.0) (40 . 0.0) (40 . 0.0) (40 . 73.347) (40 . 174.01) (40 . 278.809) (40 . 380.653) (40 . 479.543) (40 . 575.479) (40 . 668.461) (40 . 758.49) (40 . 845.567) (40 . 929.691) (40 . 1010.87) (40 . 1089.09) (40 . 1164.36) (40 . 1236.69) (40 . 1306.07) (40 . 1372.5) (40 . 1435.99) (40 . 1496.54) (40 . 1554.14) (40 . 1608.81) (40 . 1660.54) (40 . 1709.34) (40 . 1755.21) (40 . 1798.16) (40 . 1834.18) (40 . 1834.18) (40 . 1834.18) (40 . 1834.18) (10 150.0 0.0 0.0) (10 145.61 24.5281 1.31076) (10 135.196 82.7192 4.42043) (10 54.2128 146.979 9.61262) (10 -57.2499 142.502 15.4924) (10 -135.593 62.3883 21.5076) (10 -137.223 -46.1906 27.5226) (10 -66.0794 -123.87 33.5373) (10 35.753 -131.197 39.5521) (10 112.257 -68.6219 45.5664) (10 124.436 26.1825 51.5807) (10 70.0533 100.797 57.5948) (10 -17.5309 117.035 63.6084) (10 -89.5777 70.3981 69.6219) (10 -109.078 -9.83729 75.6349) (10 -69.6911 -78.6864 81.6476) (10 3.13563 -100.653 87.66) (10 68.2068 -67.9729 93.6717) (10 91.8497 -2.54734 99.6833) (10 65.2914 58.2188 105.693) (10 7.18887 82.7587 111.704) (10 -48.7885 61.6956 117.714) (10 -73.5056 10.7913 123.721) (10 -57.1285 -40.0403 129.727) (10 -13.7391 -64.0047 135.737) (10 31.8929 -52.6273 141.543) (10 43.6643 -28.3227 145.499) (10 49.0338 -17.2364 147.303) (11 150.0 0.0 0.0) (11 129.701 70.3711 3.95553) (11 51.8511 133.94 9.56077) (11 -52.6723 129.297 15.5784) (11 -123.385 56.251 21.5961) (11 -124.556 -42.4485 27.6138) (11 -59.6071 -112.798 33.6314) (11 32.9665 -119.089 39.6491) (11 102.264 -61.9321 45.6667) (11 112.965 24.2747 51.6844) (11 63.2448 91.8666 57.7021) (11 -16.4157 106.26 63.7197) (11 -81.687 63.5706 69.7374) (11 -99.0491 -9.4263 75.755) (11 -62.9406 -71.8042 81.7727) (11 3.33705 -91.4122 87.7904) (11 62.2939 -61.3918 93.808) (11 83.4295 -1.8277 99.8257) (11 58.9667 53.2286 105.843) (11 6.04994 75.183 111.861) (11 -44.677 55.7132 117.879) (11 -66.7552 9.31806 123.896) (11 -51.6838 -36.7037 129.914) (11 -11.6269 -58.2294 135.932) (11 29.3689 -46.9359 141.949) (11 49.0338 -17.2364 147.303))
```

Переходим в Web FairCurveModeler

> Страница Polyline3D

Instructions and Messages (I&M)

> Clear (чистим (I&M)).

> Вставляем в (I&M) содержимое буфера памяти

> **NURBS Model from BricsCAD/AutoCAD**

> Create (рис. 3).

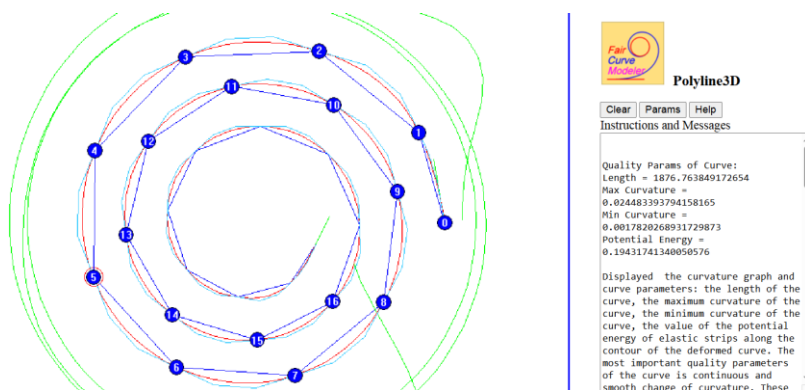


Рис. 6.3.3. Построение NURBS кривой.

Система нарисует сплайн. Это FNURBS кривая.

Переносим кривую в CAD-систему

Write Data:

NURBS Model to BricsCAD/AutoCAD

Далее выделите и скопируйте содержимое поля многострочного текстового поля “Instructions and Messages” в буфер памяти.

Затем перейдите в ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD и просто вставьте содержимое буфера памяти в командную строку.

CAD-система нарисует NURBS кривую (рис. 4).

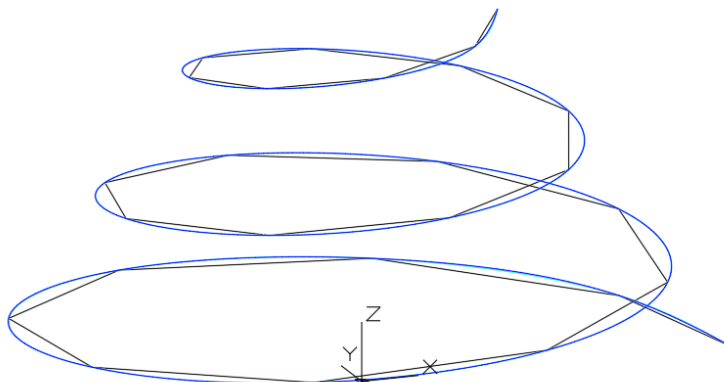


Рис. 6.3.4. F-кривая в CAD-системе.

Проверим качество.

Загрузим приложение [V Test WEB.lsp](#).

Выполним команду v_test (рис. 5).

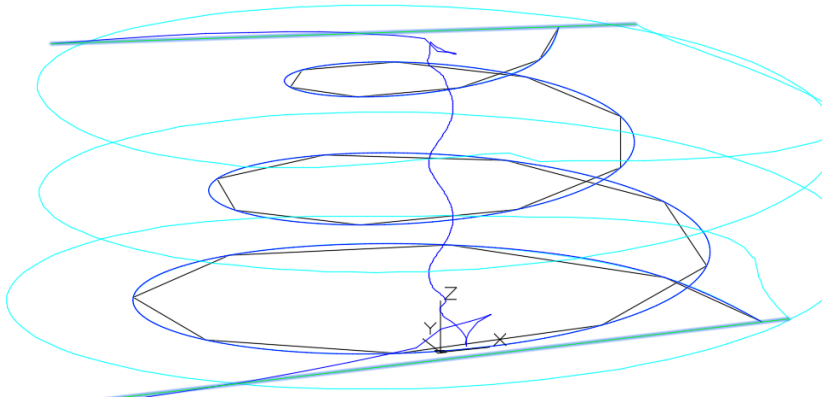


Рис. 6.3.5. Графики кривизны и эволюты улучшенной кривой.

Почувствуйте разницу.

Обратите внимание на качество эволюты. На основном участке представляет собой идеальную винтовую линию. Это рациональная кубическая сплайновая кривая Безье. Кубическая, Карл. С плавным кручением. Разработчики САПР оценят метод.

Именно это свойство позволяет использовать метод для построения сети пространственных кривых для последующего построения поверхности штатными командами CAD-систем.

2). На касательной ломаной

Рассмотрим уникальную опцию построения FB-кривой на касательной ломаной. Такая необходимость возникает при профилировании профиля лопатки с тарельчатым толкателем или построении трассы дороги, касательной к теодолитным ходам.

В ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD построим ломаную с квадратичным сглаживанием. Это единственный вариант построения кривой на касательной ломаной в этих CAD-системах (рис. 6).

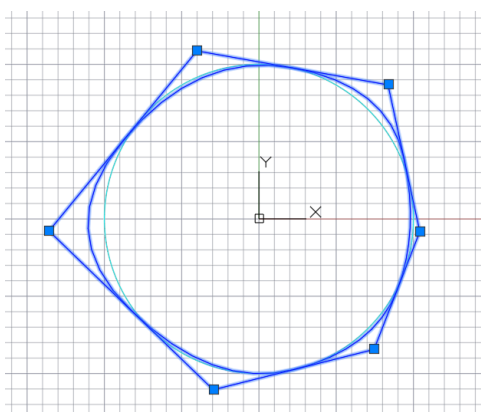


Рис. 6.3.6. Квадратичный сплайн по управляющим точкам.

Загрузим приложение [V_Test_WEB.lsp](#).

Выделим ломаную, отменим сглаживание и выполним команду

V_Spoly

Укажем ломаную и в протоколе выделим таблицу точек ломаной и сохраним в буфер памяти.

-135.824,-7.78785,0.0,1.0
-40.1194,108.692,0.0,1
83.5374,86.7258,0.0,1
104.098,-8.22147,0.0,1
74.4656,-84.4208,0.0,1
-29.5589,-110.511,0.0,1

Перейдем в Web FairCurveModeler на страницу Tangent3D. Очистим (I&M) и вставим буфер памяти. Выполним последовательно

>[Polyline from table]

>Zoom All

>Create

Система построит FNURBzS кривую (рис. 7).

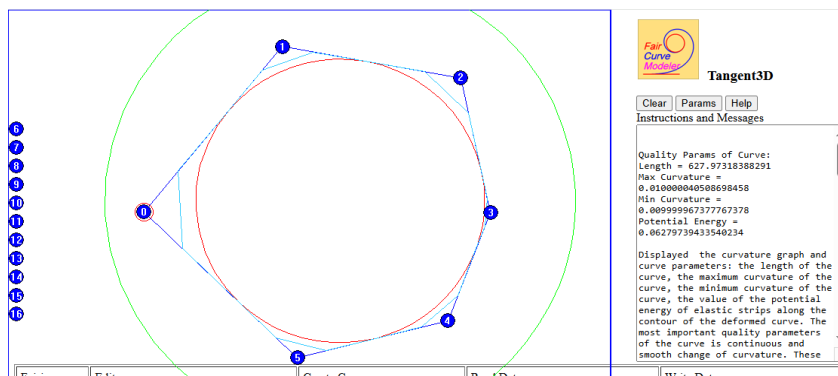


Рис. 6.3.7. NURBzS кривая.

Установим опции построения FB-кривой
Approximation:

☐ by Bezier Spline

☒ by B-Spline

Degree:

>Create

Система построит FB-кривую (рис. 8).

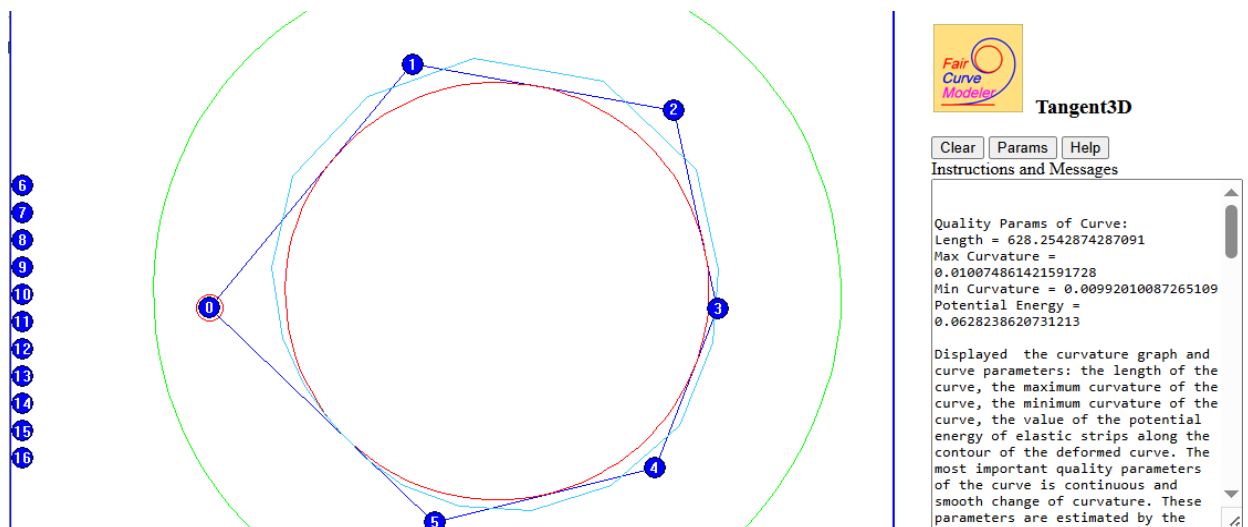


Рис. 6.3.8. В-сплайновая кривая 8-ой степени на касательной ломаной.

Перенесем модель в CAD-систему. Выполним

>NURBS Model to Brics/AutoCAD

```
Clear Params Help
Instructions and Messages
(setq nurbs_lst nil)
(setq nurbs_lst (cons (cons 0
"SPLINE") nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (cons (cons 100
"AcDbEntity") nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (cons (cons 100
"AcDbSpline") nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (cons '(210 0.0 0.0
1.0) nurbs_lst))(setq nurbs_lst
(reverse nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (append nurbs_lst
'((70 . 15))))
(setq nurbs_lst (append nurbs_lst
(list (cons 71 8))))
(setq nurbs_lst (append nurbs_lst
(list (cons 72 29))))
(setq nurbs_lst (append nurbs_lst
(list (cons 73 20))))
(setq nurbs_lst (append nurbs_lst
(list (cons 74 0))))
(setq nurbs_lst (append nurbs_lst
```

Сохраним в буфер памяти содержимое текстового поля.

Перейдем в ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD

Вставим буфер в командную строку. CAD-система нарисует сплайн (рис. 9).

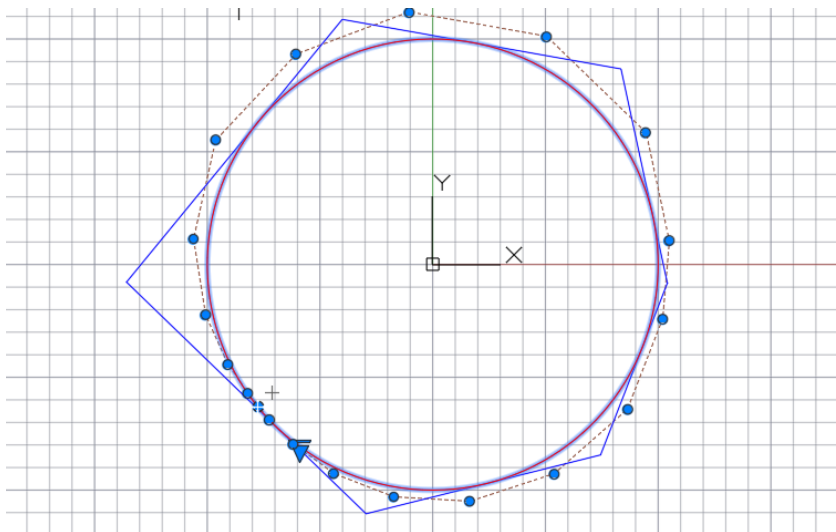


Рис. 6.3.9. Сплайн в CAD-системе.

Это уникальный способ обмена данными. “Из уст в уста”. Без лишних промежуточных файлов. Ощущение, что работаешь в одной “суперсистеме”.

3). NURBzS кривая

Для точного моделирования конических кривых используйте FNURBzS кривые. Нарисуем эллипс и построим ломаную (рис. 10).

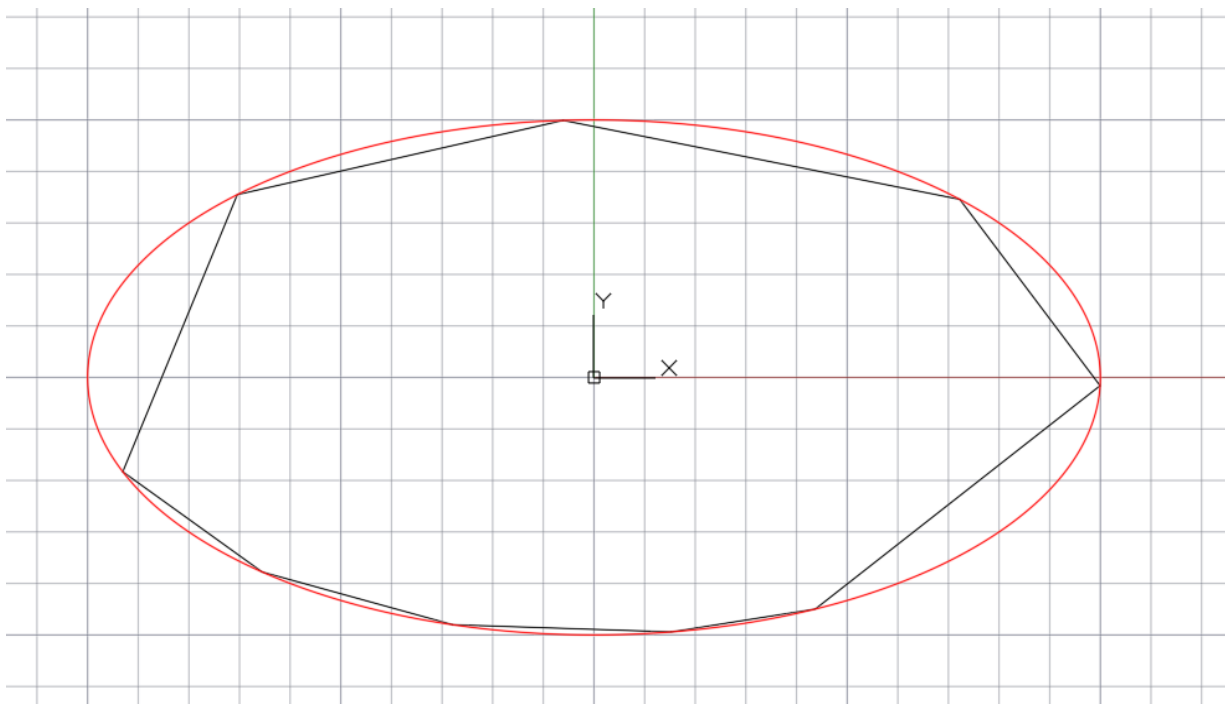


Рис. 6.3.10. Ломаная на эллипсе.

Загрузите приложение [V_Test_WEB.lsp](#).

Выполните V_Spoly. Укажите ломаную.

В протоколе выделите таблицу точек и скопируйте в буфер памяти:

```
-70.4343,35.493,0,0,1,0
-6.07111,49.9078,0,0,1
72.2313,34.5783,0,0,1
99.9486,-1.6026,0,0,1
43.7089,-44.9709,0,0,1
15.2958,-49.4116,0,0,1
-27.8809,-48.0173,0,0,1
-65.5352,-37.7662,0,0,1
-93.0523,-18.3116,0,0,1
-70.4343,35.493,0,0,1
```

Выделите весь текст с координатами и запомните в буфер памяти.

Перейдите в Web FairCurveModeler на странице Polyline3D. Очистите текстовое поле (I&M) и вставьте буфер памяти. Нажмите

>3D Polyline from Table

>Zoom All

>Create

Система нарисует FNURBzS кривую (рис. 11).

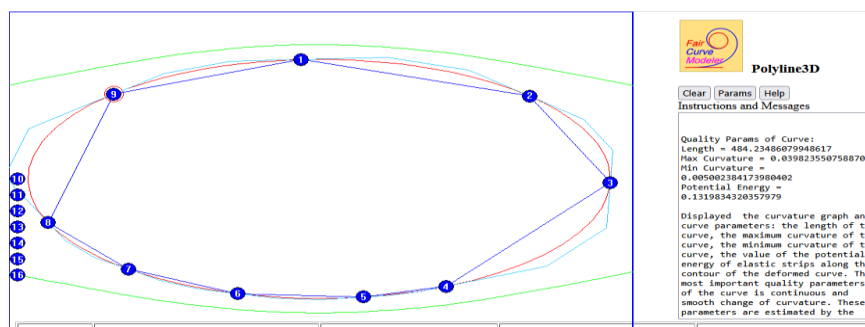


Рис. 6.3.11. Геометрически точная аппроксимация эллипса на опорной ломаной.

>NURBS Model to BricsCAD/AutoCAD

Выделим текст в (I&M) и запомним в буфер памяти.

Перейдем в ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD. Система нарисует FNURBzS кривую (рис. 12).

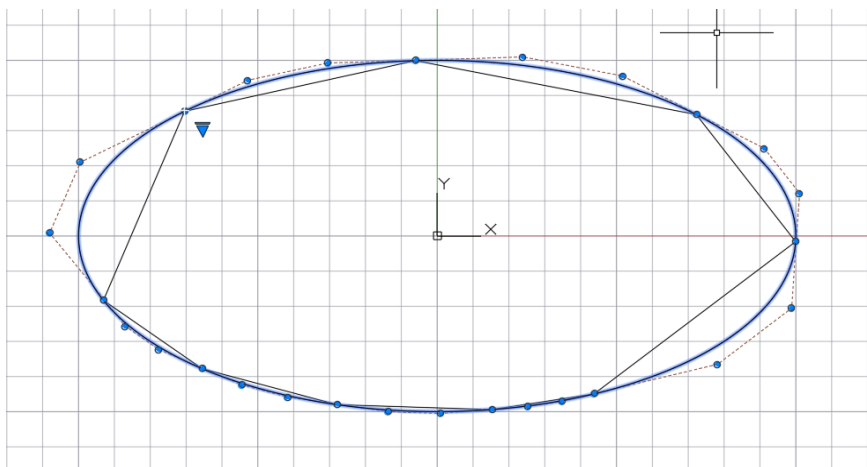


Рис. 6.3.12. Перенос модели NURBzS кривой в CAD-систему.

Как видим, FNURBzS геометрически точно совпадает с исходным эллипсом.

Для сравнения попробуйте нарисовать на ломаной сплайн штатной командой CAD-системы.

Почувствуйте разницу.

4). Улучшение кривой сглаживанием по “коридору”

Уникальная опция улучшения качества кривой сглаживанием. Задается ширина коридора допустимых отклонений от исходной ломаной. Образно говоря, “квадрат” сглаживается до “округлости”.

Исходная ломаная должна быть регулярной формы.

Такая задача возникает в авиастроении при цифровании огромного архива теоретических чертежей советского периода. Это золотой фонд авиастроения. Профили задавались на теоретических чертежах достаточно плотным множеством точек. Из-за округления чисел цифровые модели локально не обладают высоким качеством плавности. График кривизны осциллирует. Но, благодаря уникальной опции сглаживания, архивные профили можно ввести в практику современного проектирования.

Пример такого профиля (рис. 13).

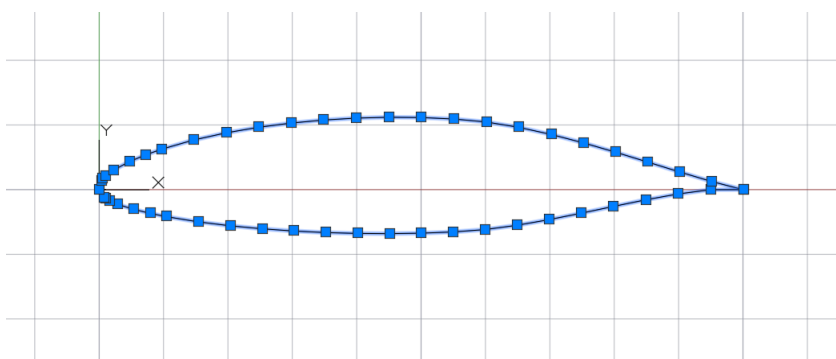


Рис. 6.3.13. Таблица точек из советского архива.

Перенесем в Web FairCurveModeler (рис. 14).

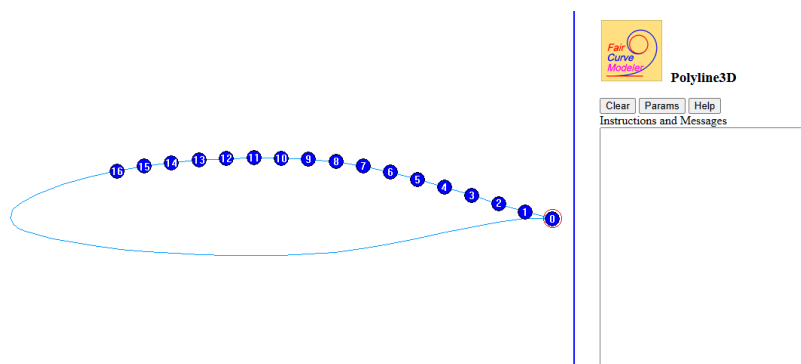


Рис. 6.3.14. Перенос таблицы в Web.

Качество кривой на точках таблицы из архива (рис. 15).

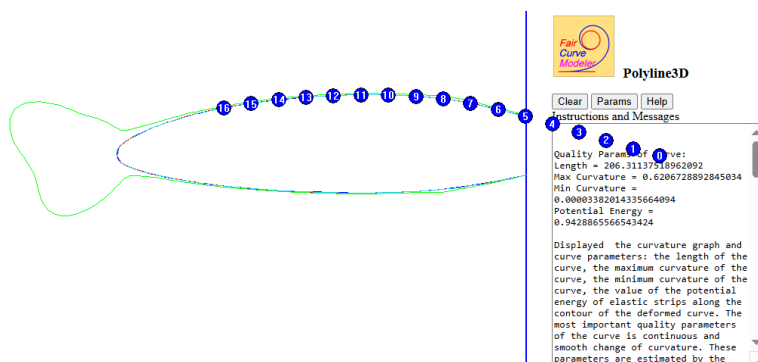
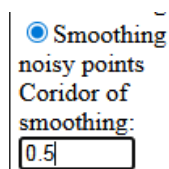


Рис. 6.3.15. NURBzS кривая на точках таблицы из архива.

Перейдем на страницу Hermit3D и сгладим профиль. Установим опции



Результат сглаживания (рис. 16).

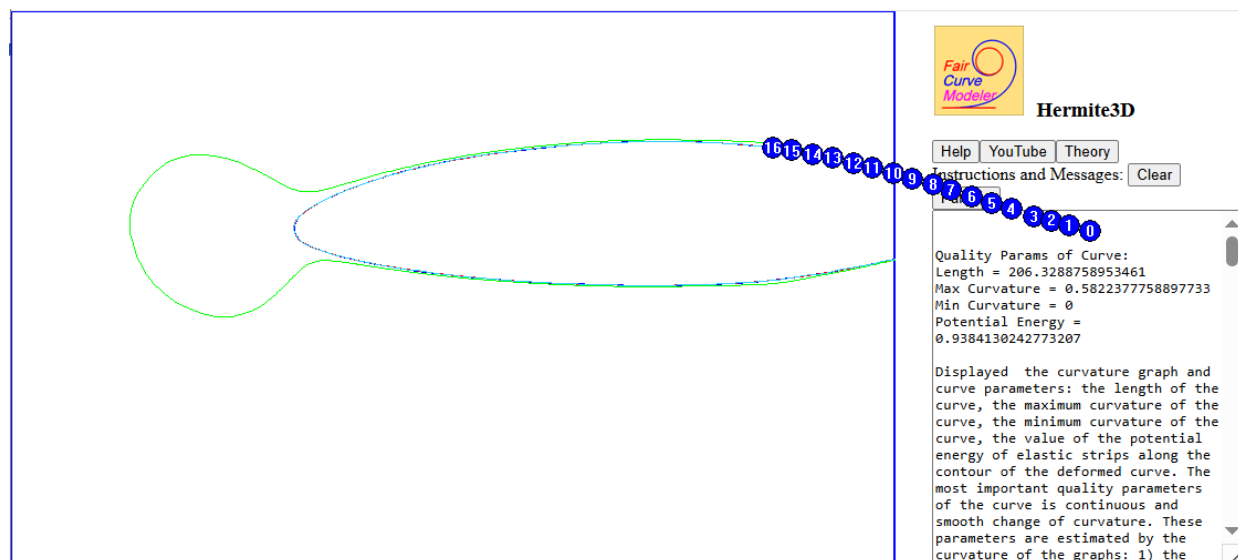


Рис. 6.3.16. Сглаженный профиль.

Перенесем NURBsS модель в ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD (рис. 17, 18).

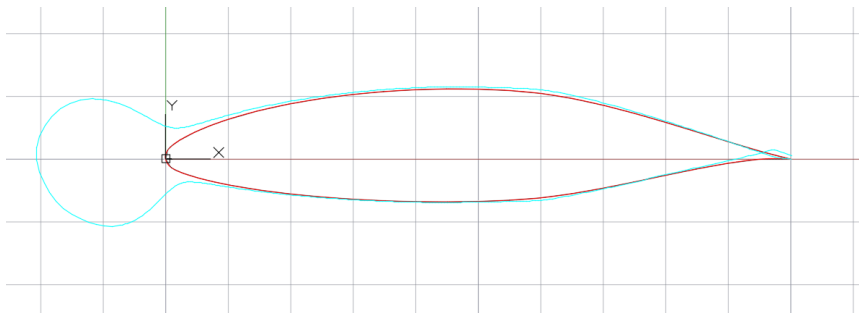


Рис. 6.3.17. Идеальный график кривизны сглаженного профиля.

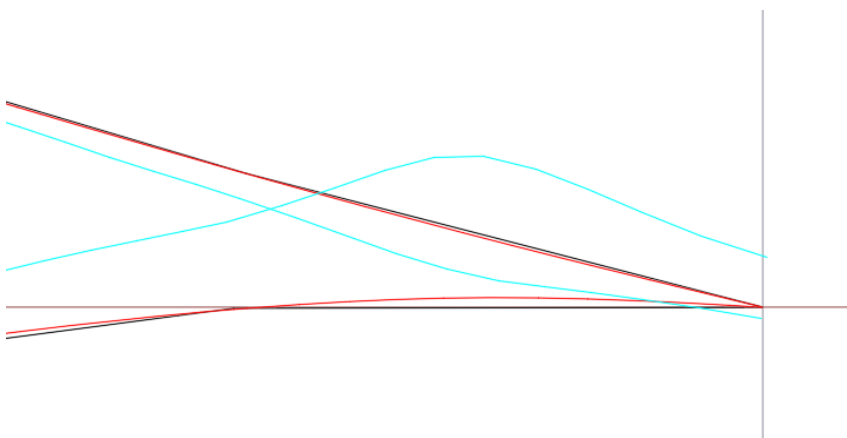


Рис. 6.3.18. График кривизны на концевом участке.

Данная опция настолько впечатлила экспертов C3D Labs, что картинка с изображением улучшенного профиля является аватаром раздела C3D FairCurveModeler на сайте C3D Labs (рис. 19).

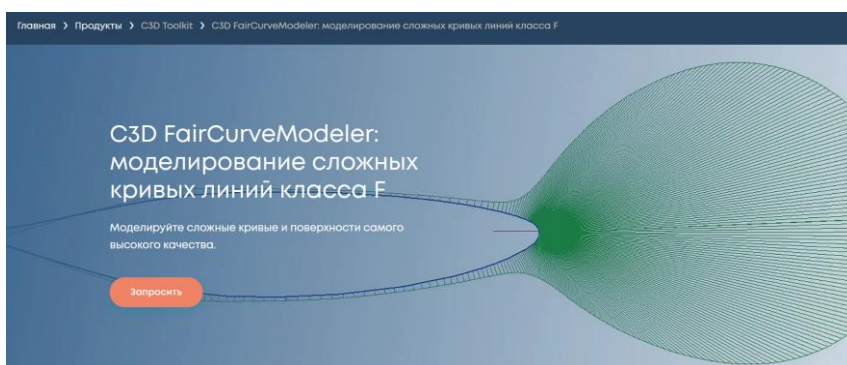


Рис. 6.3.19. Аватар раздела C3D FairCurveModeler.

5). Улучшение кривой сглаживанием по “средней линии”

Измеренные точки со измерительного устройства / сканера часто представляют зашумленные точки. Например, такой формы (рис. 20).

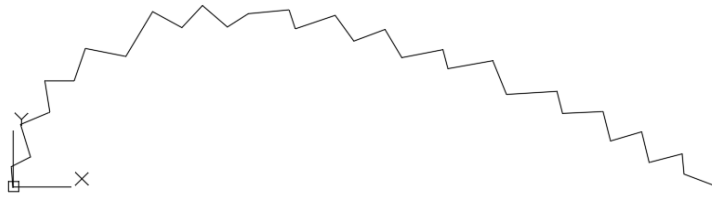


Рис. 20. Пример ломаной зашумленных точек.

Измеренные зашумленные точки:

```
0.0,0.0,0.0,1.0
-1.39305,17.8646,0.0,1
15.0111,26.3312,0.0,1
6.54445,54.3771,0.0,1
31.4153,64.9604,0.0,1
27.182,91.9479,0.0,1
52.0528,91.9479,0.0,1
61.5778,119.994,0.0,1
95.9736,113.115,0.0,1
118.728,151.744,0.0,1
143.599,137.985,0.0,1
161.061,157.035,0.0,1
182.228,138.515,0.0,1
200.0,150.0,0.0,1
234.615,153.331,0.0,1
239.907,136.927,0.0,1
273.774,148.569,0.0,1
289.649,126.344,0.0,1
316.107,136.398,0.0,1
330.394,112.056,0.0,1
365.319,118.935,0.0,1
369.553,102.531,0.0,1
407.653,109.41,0.0,1
419.294,80.3062,0.0,1
462.157,82.9521,0.0,1
466.919,63.9021,0.0,1
501.315,65.4896,0.0,1
507.665,40.0896,0.0,1
534.124,48.0271,0.0,1
540.474,21.5687,0.0,1
568.519,28.9771,0.0,1
570.107,11.5146,0.0,1
600.0,0.0,0.0,1
```

Запомним зашумленные точки в буфер памяти. Перенесем ломаную в Web FairCurveModeler.

На станции Polyline3D очистим текстовое поле и вставим буфер памяти. Выполним

3D Sketch from Table.

Ломаная зашумленных точек вводится как Sketch (рис. 21).

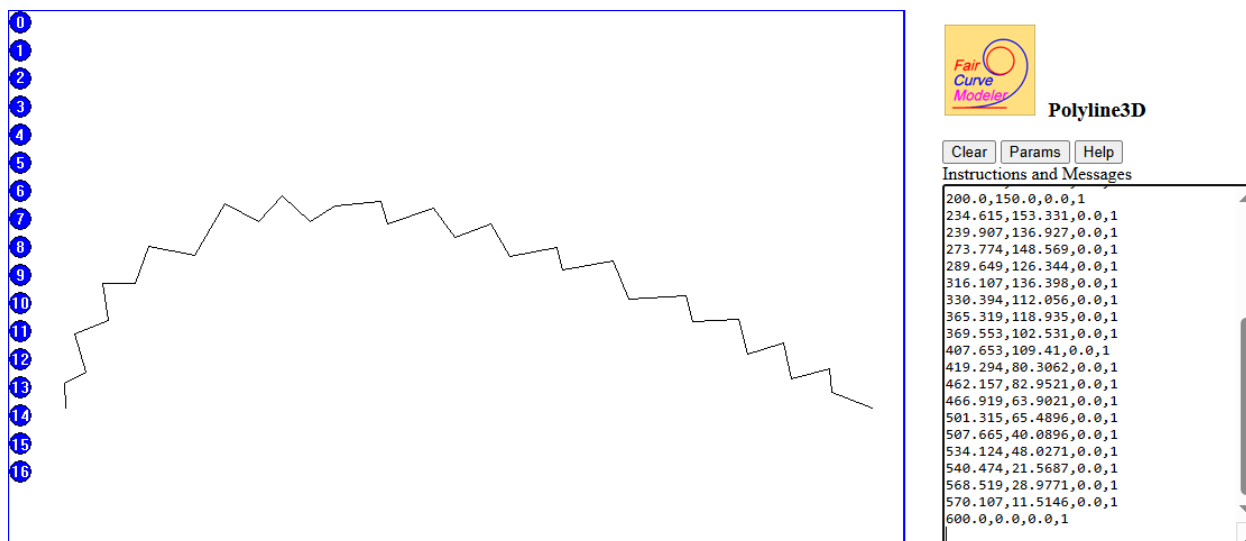


Рис. 6.3.21. Ломаная зашумленных точек введена как Sketch.

Разместим опорные точки для построения сглаживающей кривой (рис. 22).

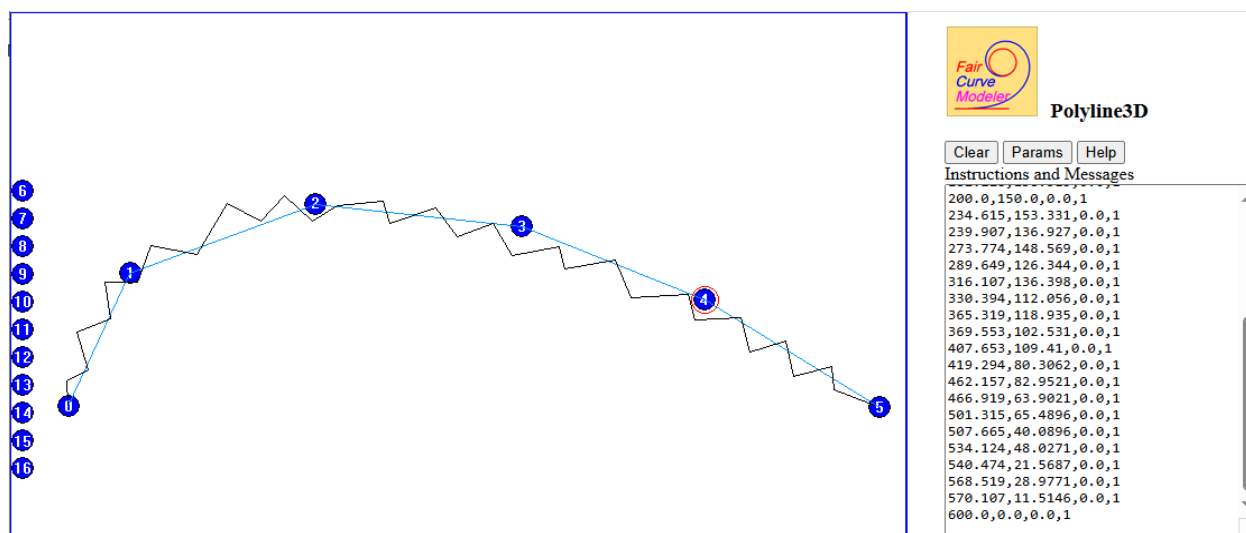


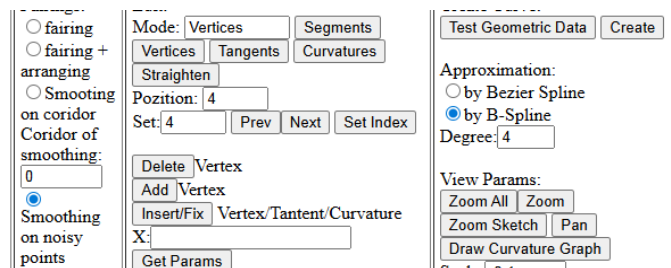
Рис. 6.3.22. Опорные точки на эскизе зашумленных точек.

Установим опции:

>(*)Smoothing on noisy

>Degree 4

>Corridor of smoothing 0



Построим сглаживающую кривую (рис. 23).

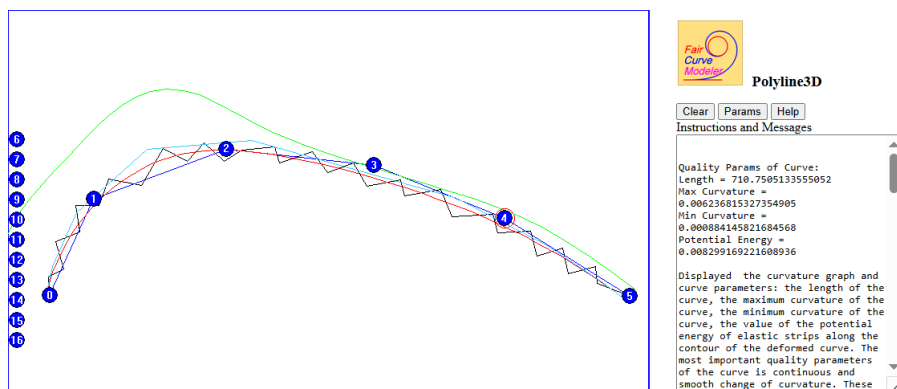


Рис. 6.3.23. Сглаживающая кривая.

Трансфер в CAD-систему (рис. 24).

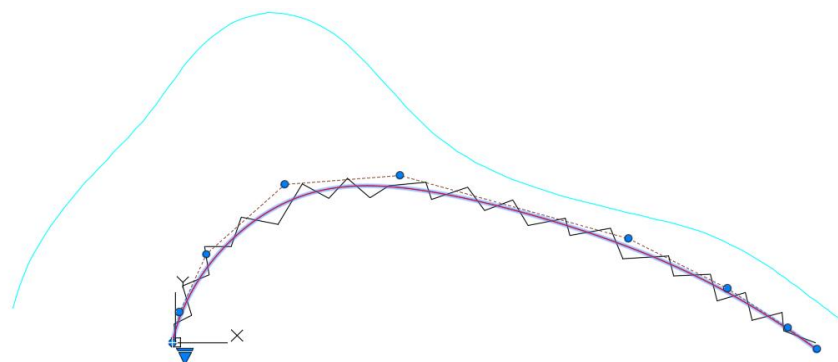


Рис. 6.3.24. Перенос сглаживающей кривой в CAD-систему.

2) Уточнение конечных параметров

Трансфер на страницу NURBS3D (рис. 25).

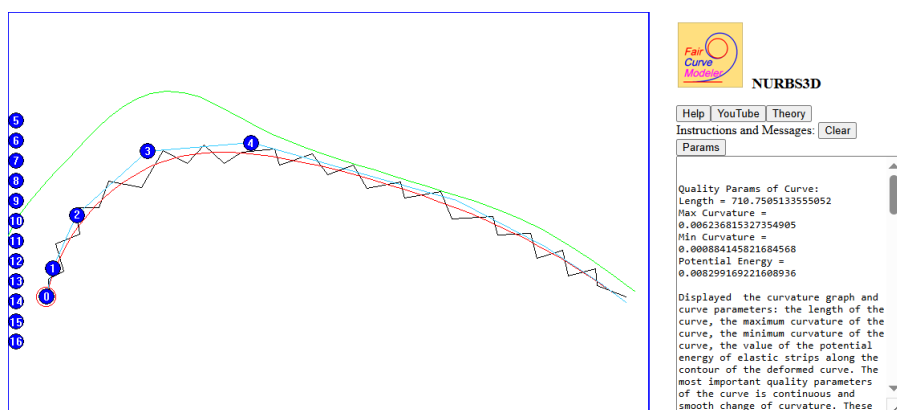


Рис. 6.3.25. Кривая на странице NURBS3D.

Конвертирование в NURBzS и трансфер в Hermite3D (рис. 26).

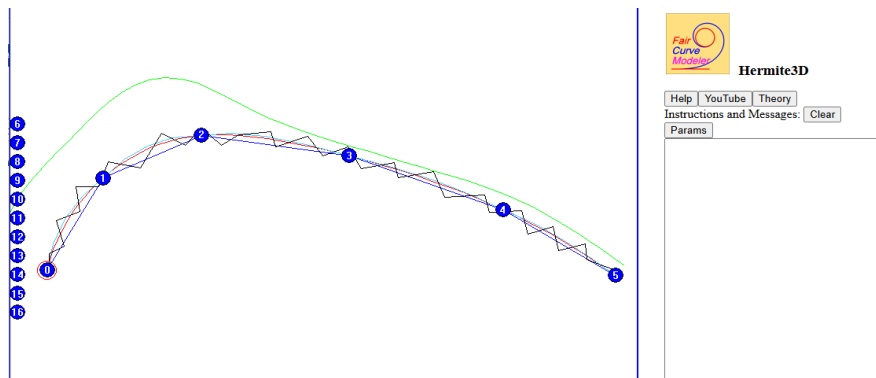


Рис. 6.3.26. ГО кривой на странице Hermite3D.

Уточняем и фиксируем конечные параметры

- координаты начальной точки

Set:[0]

[Set Index]

Get Params

X:[0]

Y:[0]

SetParams

Position: 0

Set: 0 Prev Next

Set Index Fix Poz

Delete Vertex

Insert Add Vertex

X: 0

Get Params

Y: 0

Set Params

Z: 0

-координаты конечной точки

Set:[5]

[Set Index]

Get Params

X:[600]

Y:[0]

Position: 5

Set: 5 Prev Next

Set Index Fix Poz

Delete Vertex

Insert Add Vertex

X: 600

Get Params

Y: 0

Set Params

Z: 0

Фиксируем касательную в начальной точке.

Устанавливаем режим 'Tangents':

Edit:

Mode:

Segments	Vertices
Tangents	Curvatures

(рис. 27)

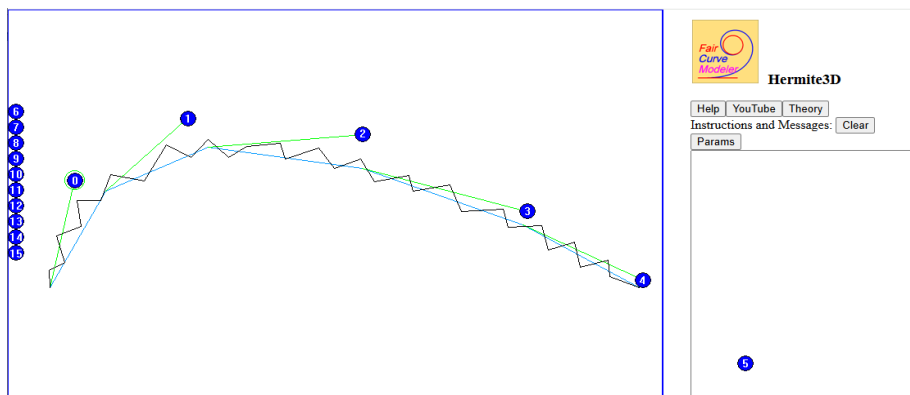


Рис. 6.3.27. Установка режима “Tangents”.

Устанавливаем вертикальную касательную:

Position:

Set:

X:

Y:

Z:

(рис. 28).

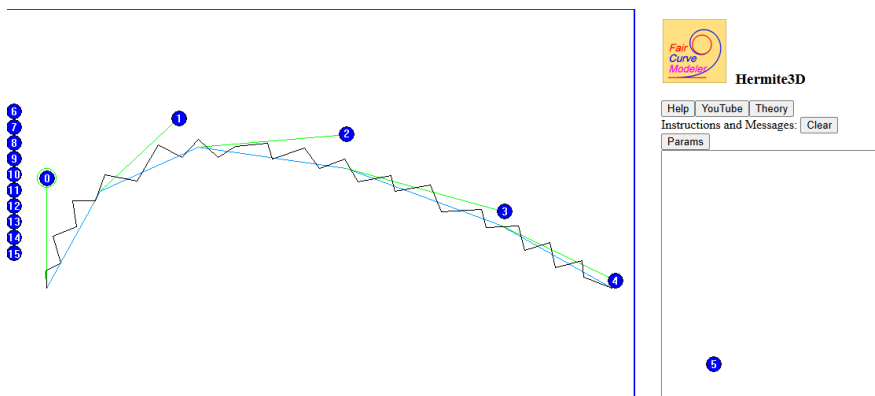
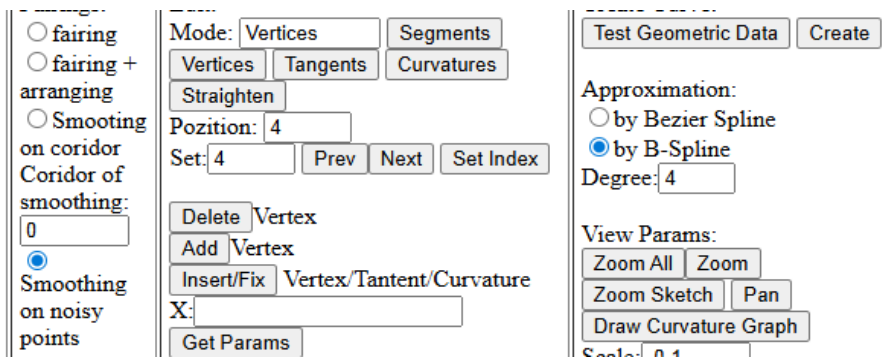
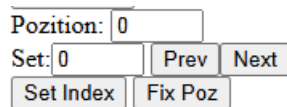


Рис. 6.3.28. Вертикальная касательная в начальной точке.

Устанавливаем параметры сглаживания:



Фиксируем



Строим кривую (рис. 29).

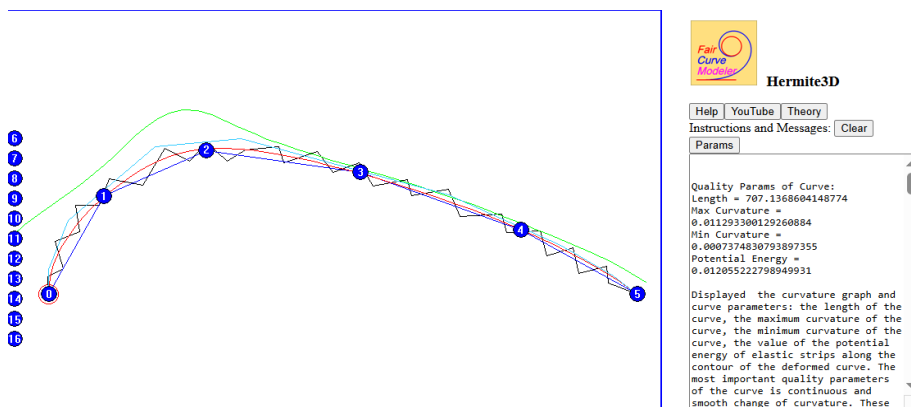


Рис. 6.3.29. Сглаживающая кривая с вертикальной касательной.

Трансфер в CAD-систему (рис. 30).

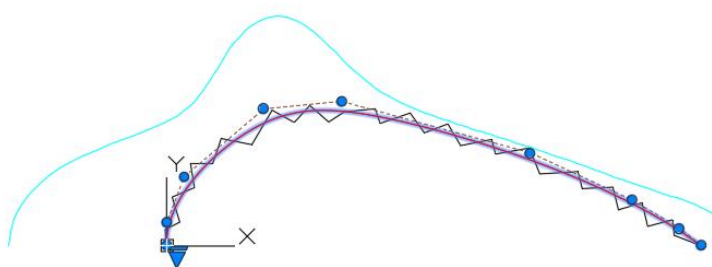


Рис. 6.3.30. Сглаживающая кривая с вертикальной касательной в CAD-системе.

Примечания

Как фиксировать некоторые точки с касательными?

Технология простая

- разбиваем контур на несколько независимых участков точками с фиксированными касательными [и кривизнами];

- сглаживаем эти участки;
- затем объединяем эти участки и строим глобальные сплайны с фиксацией касательных (см. урок 3).

6) Улучшение сплайна nanoCAD

CAD-система nanoCAD не вполне “клон”. Тем не менее, многие техники выполняются так же, как и в ZWCAD / BricsCAD / AutoCAD.

Отличие в технике сохранения модели NURBS.

После создания кривой модель кривой переходим на страницу NURBS3D (рис. 31).

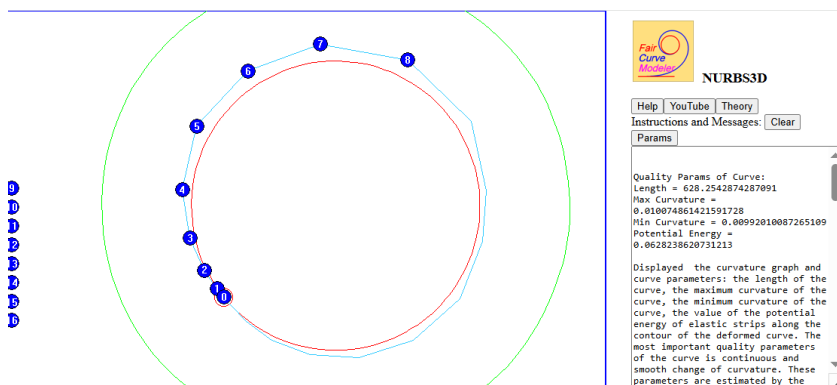


Рис. 6.3.31 Построенная модель кривой.

>Create

>NURBS to nanoCAD

Выделяем и запоминаем содержимое (I&M).

```

Help YouTube Theory
Instructions and Messages: Clear
Params
(defun c:spline_in()(setq nurbs_lst
nil)
(setq nurbs_lst (cons (cons 0
"SPLINE") nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (cons (cons 100
"AcDbEntity") nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (cons (cons 100
"AcDbSpline") nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (cons '(210 0.0 0.0
1.0) nurbs_lst))(setq nurbs_lst
(reverse nurbs_lst))
(setq nurbs_lst (append nurbs_lst
'((70 . 12))))
(setq nurbs_lst(append nurbs_lst
(list (cons 71 8))))
(setq nurbs_lst(append nurbs_lst
(list (cons 72 29))))
(setq nurbs_lst(append nurbs_lst
(list (cons 73 20))))
(setq nurbs_lst(append nurbs_lst
(list (cons 74 0))))

```

Обратите внимание, текст оформлен как Lisp функция

(defun c:spline_in() ...

...

)

Создаем текстовый файл Spline_in.lsp.

Открываем файл и вставляем содержимое буфера памяти.

Сохраним файл.

Перейдем в папоCAD.

Загружаем приложение Spline_in.lsp. Выполняем команду

Spline_in

Система построит В-сплайновую кривую (рис. 32).

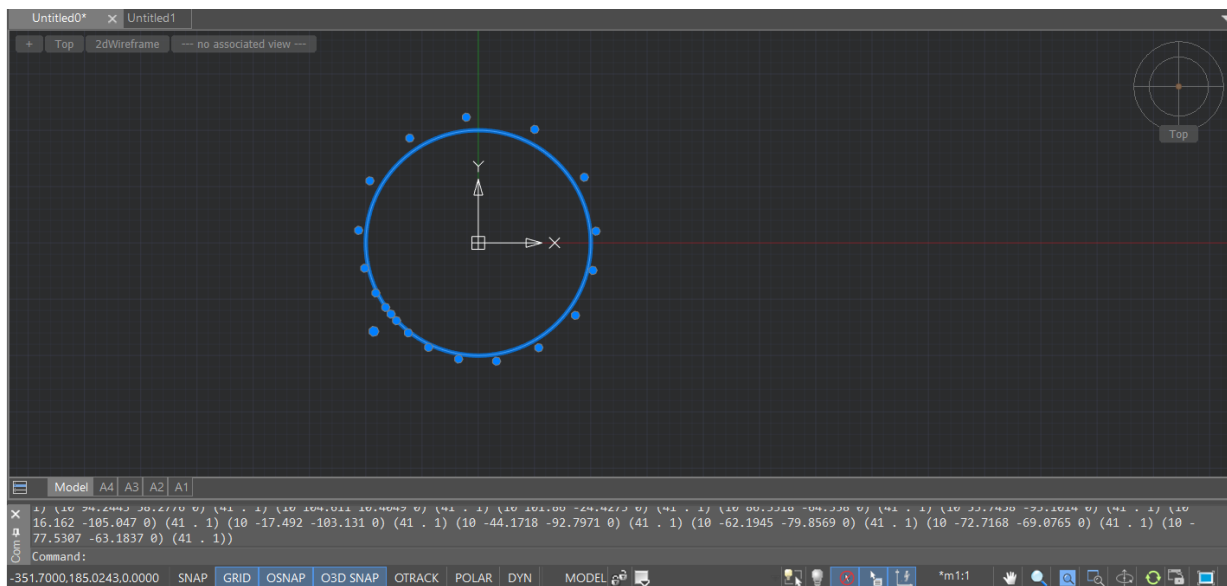


Рис. 6.3.32. NURBS модель в папоCAD.

6.4. Урок 3. Фиксация касательных на глобальном сплайне

1). На NURBz сплайне

Практический пример. Дана ломаная для построения профиля (рис. 1).



Рис. 6.4.1. Заготовка для построения профиля.

Перенесем в Web FairCurveModeler. Построим NURBzS кривую на странице Polyline и перейдем в Hermite3D (рис. 2).

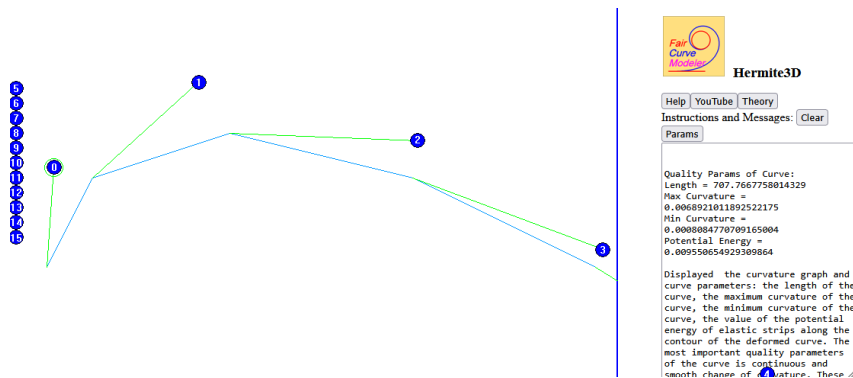


Рис. 6.4.2. Заготовка на странице Hermite3D.

Установим позицию 0. Рекомендуется это делать без указания маркера точки. Чтобы избежать изменения координат.

Изменим координаты вектора касательной в начальной точке

>Set [0]

>Set Index

>Get Params

>Изменим координату X на 0

Position: 0

Set: 0 Prev Next

Set Index Fix Poz

Delete Vertex

Insert Add Vertex

X: 0

Get Params

Y: 111.49336722365727

Set Params

>Set Params

Изменим координаты вектора касательной в начальной точке

>Set [4]

>Set Index

>Get Params

>Изменим координату Y на 0

Set: 2 Prev Next

Set Index Fix Poz

Delete Vertex

Insert Add Vertex

X: 205.97942922842665

Get Params

Y: 0

Set Params

Z: 0

>Set Params

В конечных точках касательные фиксируются по умолчанию.

Зафиксируем направление вектора в точке 2.

Position: 2

Set: 2 Prev Next

Set Index Fix Poz

>FixPoz

Опцию улучшения установим на (*)On points

Fairings:
☐ None
☒ On points
☐ On tangents
☐ Redistributing
☐ Smoothing
 noisy points
 Corridor of smoothing

Проверим параметры построения

>Test Geometric Data

Проверим параметры из (I&M):

```
&("command" crt_hrm)("Login" user106)("Email" user106@mail.ru)("k_array" 5)("l_array" 1)("virt_plg_u" 4)("smooth_u" 1)("multiply_u" 0)("cvt_rad" 1)("degree_u" 3)("unclose" 0)("trsn_u0" 0)("trsn_uk" 0)("fix_pnt_tng" 1)("i_fix" 2)("m_WSC_0_X" -40)("m_WSC_0_Y" -340)("m_dScale_X" 1.2)("m_dScale_Y" -1.2)("k_array_2" 25)("l_array_2" 1)("ed_mode" 1)("index" 2)("spl_index" 0)&("u_degree" 3)("u_cntr_plg" 3)("u_delta" 1.0e-007)("u_itera" 500)("u_segm" 4)("u_bnd_st" 2)("u_bnd_end" 2)("u_create" 3)("u_weights" 2)&("srf_scale" -0.1)("incr_poz_j" 2)("Proj_GD" 1)("Trsn_U0" 0)("Trsn_Uk" 0)&((0,0,0)(50,100,0)(200,150,0)(400,100,0))
```

Должны быть следующие параметры:

("fix_pnt_tng" 1)("i_fix" 2)

Построим NURBzS сплайн

>Create (рис. 3)

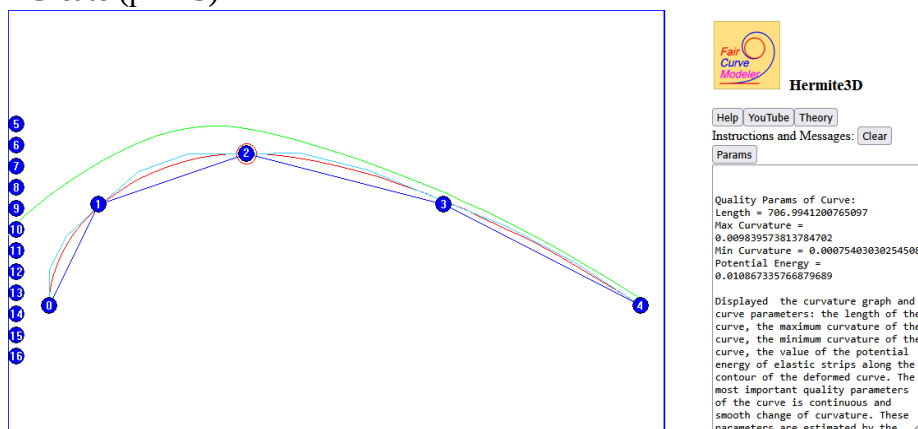


Рис. 6.4.3. NURBzS кривая с фиксацией касательной в точке 2.

Перенесем модель CAD-систему (рис. 4)

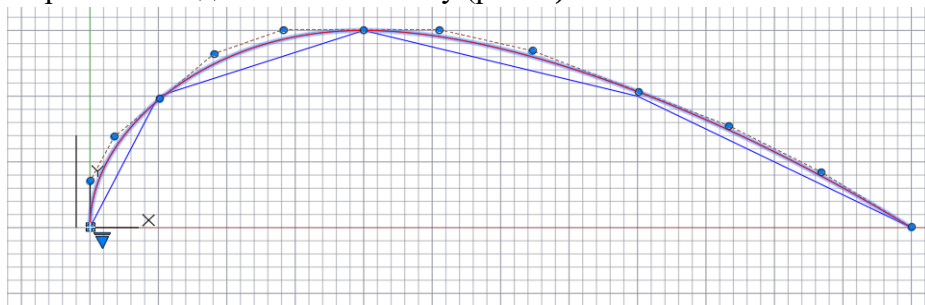


Рис. 6.4.4. Трансфер модели в CAD-систему.

Убедитесь, что в начальной точке вертикальная касательная, а в точке 2 горизонтальная касательная.

2). Фиксация касательной на В-сплайне

Предлагается следующая техника.

Построенная NURBzS кривая с фиксированными касательными переносится на страницу NURBzS

Change Geometric Determinant:

To Bezier Spline

>Create

(рис. 5).

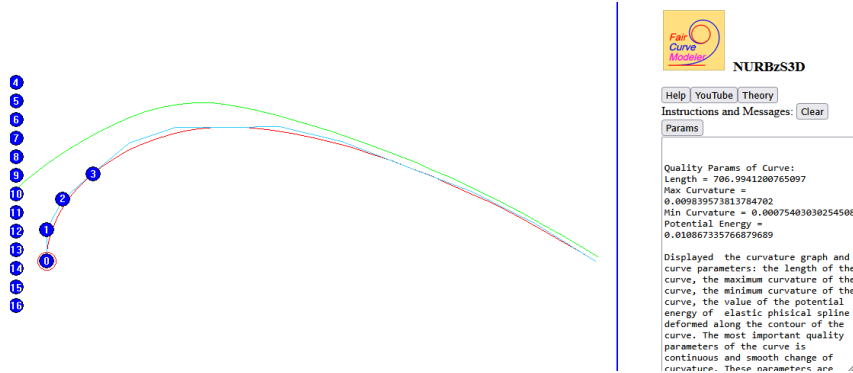


Рис. 6.4.5. NURBzS на странице NURBzS3D.

Уплотним GB-полигон NURBzS кривой

Subdiv GB-polygon

>Create

(рис. 6).

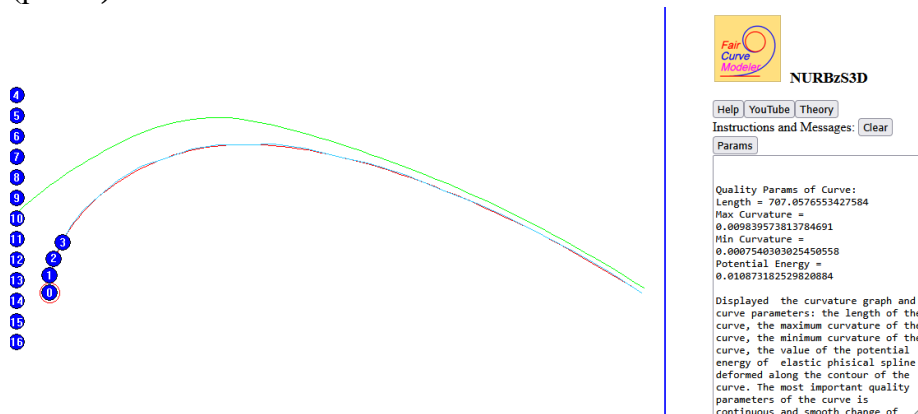


Рис. 6.4.6. Уплотненный GB-полигон NURBzS кривой.

Трансфер на страницу Hermite3D

To Hermite Scheme only in Bezier spline format

>Create

(рис. 7)

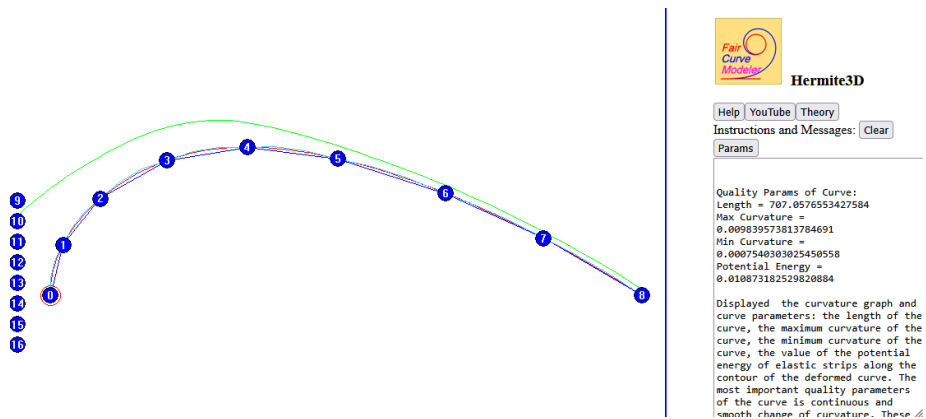


Рис. 6.4.7. Модель на странице Hermite3D.

Установим следующие опции:

Params for V-Curve Fairings: ☒ None ☐ On points ☐ On tangents ☐ Redistributing	Edit:	Mode: Vertices Segments	Create Curve: Test Geometric Data Create Approximation: ☐ by Bezier Spline ☒ by B-Spline Degree: 6
		Vertices Tangents	
		Curvatures Straighten	
		Position: 4	
		Set: 4 Prev Next	
	Set Index Fix Poz		
	Delete Vertex		

Fairing (*)None. Степень В-сплайна установим 6. Количество вершин между точками фиксации или концевыми точками должно быть больше Degree/2. Зафиксируем позицию 4.

>Create

(рис. 8).

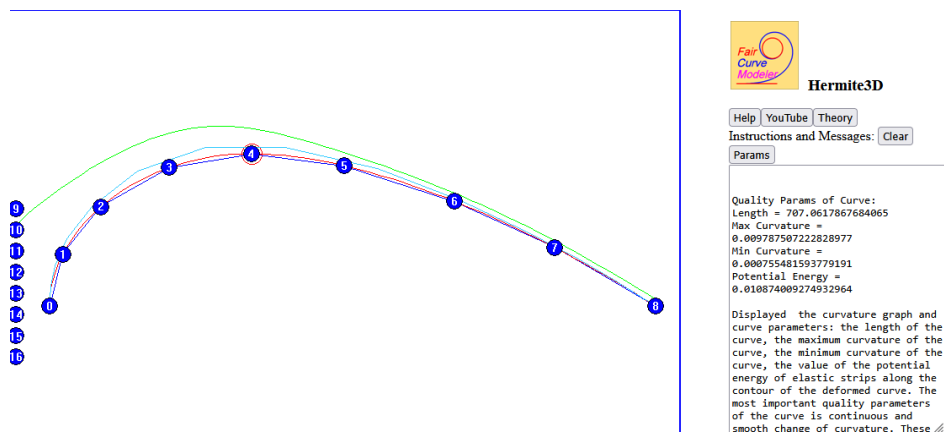


Рис. 6.4.8. В-сплайн с фиксированной касательной в точке 2.

Перенесем модель кривой в CAD систему (рис. 9).

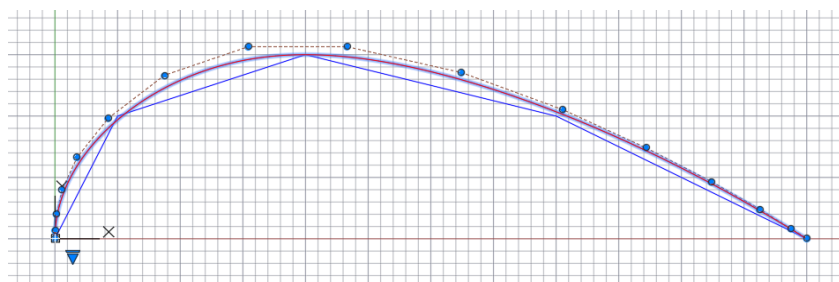


Рис. 6.4.9. В-сплайн с фиксированной касательной в CAD-системе.

Проверим качество фиксации касательной.

Построим отрезок из точки 200,0 нормально к кривой (рис. 10).

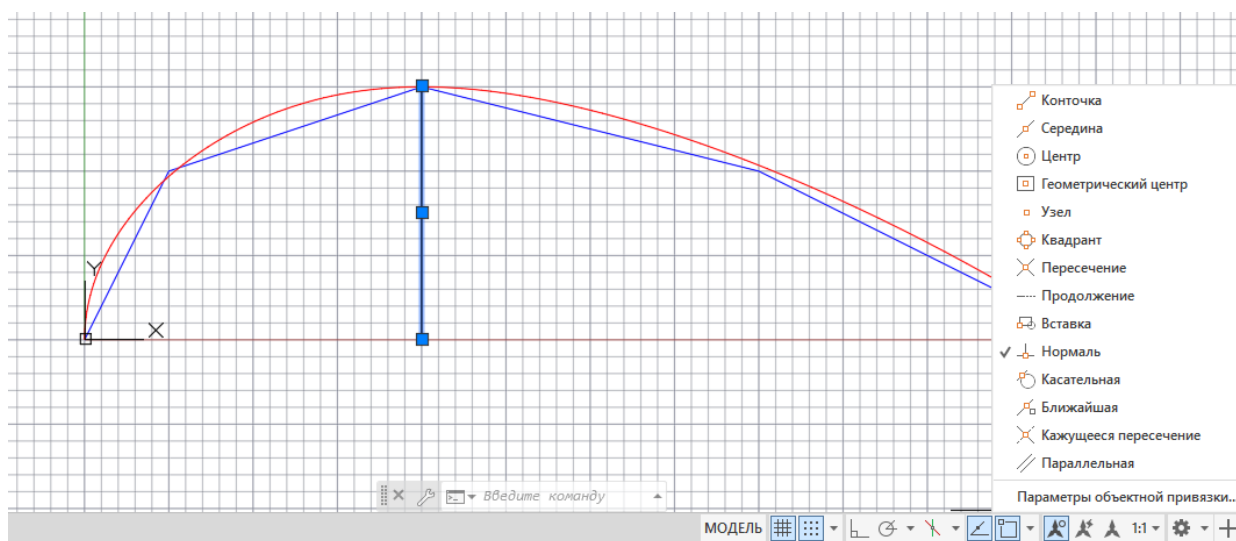


Рис. 6.4.10. Проверка точности фиксации.

Вторая точка отрезка равна (199.99993744, 150.00000034)

Геометрия		
Начало X		200
Начало Y		0
Начало Z		0
Конец X		199.99993744
Конец Y		150.00000034
Конец Z		0
Дельта X		-0.00006256
Дельта Y		150.00000034
Дельта Z		0
Длина		150.00000034
Угол		90

6.5. Урок 4. Улучшение сплайна в других системах (NX, Catia, Alias Design Rhinoceros 3D, и др.)

При интеграции с другими CAD-системах рекомендуется применять следующую схему.

Постройте опорные точки и постройте по опорным точкам сплайн в CAD-системе. Сохраните точки и сплайн в файл DXF.

В качестве вспомогательной платформы используйте ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD/nanoCAD.

Прочитайте в ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD/nanoCAD DXF файл.

Постройте ломаную по опорным точкам.

Перенесите ломаную в Web FairCurveModeler.

Постройте F-кривую и перенесите в ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD/nanoCAD.

Протестируйте качество исходной кривой и F-кривой. Убедитесь в превосходном качестве F-кривой.

1). Покажем эту схему на примере улучшения сплайна NX.

Нарисуем опорные точки и по опорным точкам нарисует сплайн в NX (рис. 1).

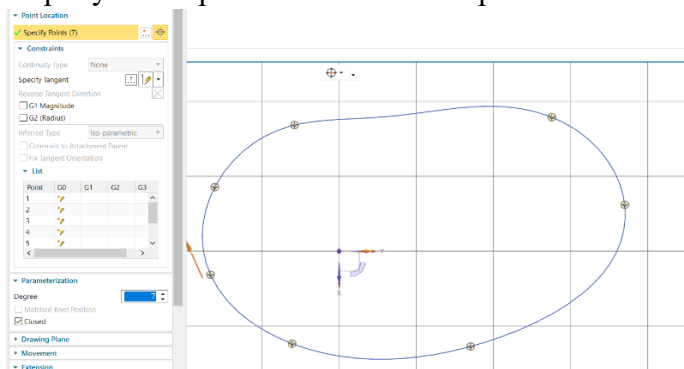


Рис. 6.4.1. Сплайн 7-ой степени.

Сохраним чертёж в формате DXF.

Перенесем чертёж в ZWCAD/BricsCAD/AutoCAD/nanoCAD. Сам сплайн в формате DXF не сохраняет опорные точки построения.

Обозначим точки

_PTYPE

И построим по ним ломаную.

Используя вспомогательное приложение V_Spoly, выведем в протокол таблицу с координатами точек:

```
31.4355,-166.826,0.0,1.0
-85.5917,-161.224,0.0,1
-168.382,-57.8911,0.0,1
-178.964,275.761,0.0,1
-61.9373,370.379,0.0,1
127.298,170.561,0.0,1
123.563,-61.0035,0.0,1
```

Переходим на страницу Polyline3D. Перенесем таблицу в поле 'Instructions and Messages' (I&M).

Внимание! При переносе таблицы в (I&M) из nanoCAD обязательно завершите перенос последней строки таблицы кнопкой ENTER. Чтобы не потерять последнюю точку.

Построим сплайн 8-ой степени (рис. 2).

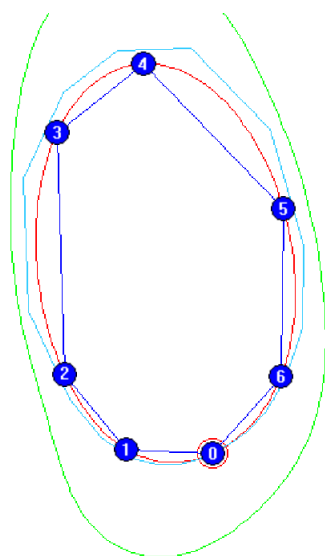


Рис. 6.4.2. Построение В-сплайна степени 8.

Перенесем сплайн в папoCAD.

Загрузим приложение V_Test.lsp.

Исследуем качество сплайна NX. Построим график кривизны (рис. 3).

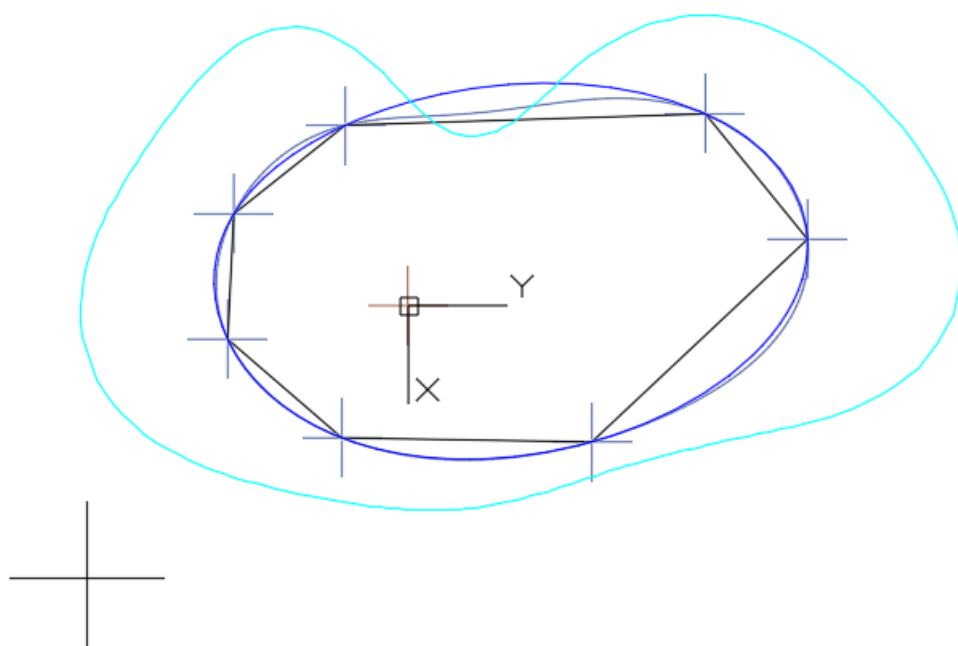


Рис. 6.4.3. Совмещенные на чертеже сплайны. График кривизны сплайна NX.

Параметры

"Real Length = " 1416.53

"Approximated Length = " 1430.85

"Potential Energy = " 0.0370422

"Min Curvature = " 8.07478e-05

"Max Curvature = " 0.00865677

Исследуем построенную F-кривую (рис. 4).

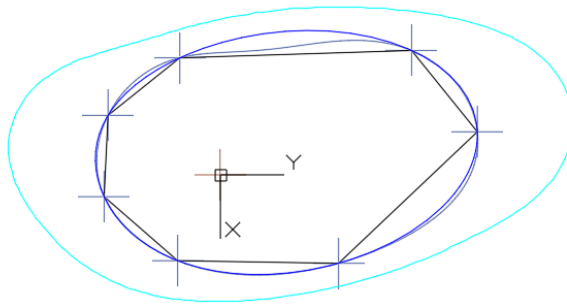


Рис. 6.4.4. График кривизны F-кривой.

Параметры:

"Real Length = " 1376.95

"Approximated Length = " 1431.99

"Potential Energy = " 0.0348085

"Min Curvature = " 0.00211101

"Max Curvature = " 0.00954703

Как видим на данном примере сравнительного тестирования, качество F-кривой, построенной на той же исходной ломаной опорных точек, существенно лучше, чем качество кривой класса A, построенной в NX.

Прежде всего, метод NX не удовлетворяет главному требованию к методам – изогеометричности построения. На простой ломаной регулярной выпуклой формы сплайн NX осциллирует.

FairCurveModeler в образовании

Курсы повышения квалификации инженеров

Удивителен наш российский инженерный “пофигизм”. Разговор с российским инженером-конструктором (передали разработчики КОМПАС):

- Почему не используете кривые высокого порядка гладкости?
- А зачем? У нас и по касательной все работает.

Потом прилетает “жареный петух”. Сименс удаленно отключает газоперекачивающие станции. Аэробусы и Боинги отзываются. А у нас своя техника на уровне прошлого века. И утешить инженеров некому – Гайдар умер, Чубайс убежал. Ну и начинаем догонять. Не догонять надо, а обгонять. И быть всегда впереди.

Кривые высокого качества по критериям плавности (высокого порядка гладкости, с минимальным количеством экстремумов кривизны, с малым значением потенциальной энергии) - это не буржуазная лженаука. Это направление давно "окучивают" на "западе". Т.н. кривые класса A и есть продукт разработок в данном направлении.

Мы должны осознать, что качество проектов изделий с функциональными кривыми во многом зависит от уровня компетентности инженеров-конструкторов в области

геометрии кривых. И необходимо признать, что уровень компетенций инженеров в этой области в настоящее время крайне низок. Именно это подтверждает разговор разработчиков КОМПАС с инженером конструктором. То есть большинство инженеров не отличают гладкость кривой от плавности кривой.

Если мы хотим быть передовой промышленной державой необходимо повышать уровень знаний инженеров и выпускников ВУЗов.

В советское время в УАИ был факультет повышения квалификации для инженеров-конструкторов и преподавателей. Необходимо воссоздать такие факультеты при ВУЗах.

Предлагаю два курса.

1. Курс моделирования кривых и поверхностей высокого качества в САПР. В качестве геометрического инструмента – использовать Web FairCurveModeler.

Требуемый уровень знаний курсантов:

Базовый функционал САД-системы должен быть освоен. Знание штатных команд САД-систем. Моделирование кривых и поверхностей.

2. Курс разработки приложений в САПР на платформах C3D ToolKit и C3D FairCurveModeler.

Требуемый уровень знаний курсантов:

Знание функционала C3D/ПМК FairCurveModeler и навыков работы в интегрированной системе CAD + Web FairCurveModeler

Необходимо построить обучение в контексте проектирования технических объектов с функциональными кривыми. На примерах проектирования технических объектов с тестированием в симуляционных системах:

1) Профиль крыла. Метод Abbott'а. Средняя линия. Эталонный профиль. Перенос профиля на среднюю линию.

2) Профиль кулачка. Анализ движения толкателя. Определить максимальное ускорение. Определить максимальное усилие на толкатель.

3) Трасса дороги. Тангенциальный ход. Построение сплайна в FairCurveModeler. Построение в Credo / IndorCAD. Анализ качества.

4) Поверхность плуга.

5) Поверхность дизайнерского изделия. Метод В-сплайнов. Метод NURBS поверхности. Тестировать качество. Сравнить.