

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ В ПРОГРАММЕ CREDO-ДОРОГИ

*Осмоловская Наталья Сергеевна, Вершило Павел Казимирович,
студенты 4-го курса, кафедра «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Шохалевич Т.М., старший преподаватель)*

Создание проектного профиля в программе CREDO-Дороги можно выполнить несколькими способами. Первый - это *интерактивное проектирование*. Интерактивное проектирование-это создание продольного профиля при помощи простых элементов, таких как: прямая, окружность, парабола, сплайн. При интерактивном проектировании создание проектного профиля ведётся с непосредственным участием проектировщика, от начала до конца проектирования.

Другой метод - *метод сплайн-оптимизации*. Суть этого метода в том, что программа сама выполняет расчёт и создание проектного профиля с заданными ограничениями.

В программе CREDO существует два метода оптимизации: экспресс-оптимизация и сплайн-оптимизация.

Самым важным плюсом метода Экспресс-Оптимизация является скорость, с которой система определяет положение проектной линии с минимальным отклонением от эскиза и с учетом всех требований. В итоге работы этого метода создается продольный профиль в виде непрерывной цепочки отрезков прямых и параболических кривых с *гладкостью сопряжения G^1* (гладкость G^1 подразумевает наличие общих касательных в точках стыковки сопрягаемых элементов)

Гладкость G^1 обеспечивает непрерывность изменения только уклонов проектной линии продольного профиля. При этом кривизна элементов в точках их сопряжения изменяется неравномерно.

Для уменьшения числа таких точек служит параметр $\pm\Delta G^1$ в окне параметров команды Экспресс-Оптимизации. Параметр $\pm\Delta G^1$ позволяет применять более длинные прямые или квадратичные кривые в тех случаях, когда это не ведет к существенным отклонениям от решения с наилучшим приближением проектного профиля к эскизной линии.

Экспресс-оптимизацию рекомендуется использовать для решения следующих задач:

предварительное определение рационального положения проектного профиля

контроль возможности выполнить все установленные ограничения, предварительный анализ и оценка объемов работ, необходимых для ремонта или строительства дороги.

Несовершенствами данного метода является нарушение условий к длинам вертикальных кривых и вдобавок геометрическая плавность проектной линии.

Сплайн-оптимизация заключается в проектировании продольного профиля при помощи G^2 -гладкоспряженных **V_Spline**.

V_Spline-плоская параметрическая бикубическая G^2 -гладкая кривая. При сопряжении кубических сплайнов в точке обеспечивается плавное сопряжение уклонов и радиусов кривизны. Кривые, при построении методом экспресс-оптимизации, обеспечивают плавность уклонов, однако, этого недостаточно для плавного движения автомобиля на высокой скорости.

Во время движения на автомобиль действует центробежная сила ($F_{цб}=m*\omega^2*R$). В квадратных сплайнах при их сопряжении радиусы кривизны остаются разными. Из-за резкого изменения радиуса, центробежная сила меняется скачкообразно, что приводит к ощущению толчков при движении автомобиля. В кривых постоянного радиуса на реальной дороге присутствует зона ограниченной обзорности. В кубических сплайнах эта зона гораздо меньше и наблюдаются в области максимального радиуса кривой. Также при проезде автомобиля по плоскости, очерченной кубическим сплайном, уменьшается объем затраченного топлива из-за эффективного использования кинетической энергии.

Плавность трассы зависит от характера изменения кривизны. В квадратных сплайнах используется линейное изменение кривизны, что приводит к резкому изменению радиуса (в том числе и его знака), в отличие от кубических сплайнов, где радиус меняется нелинейно, что создаёт более плавный характер изменения кривизны.

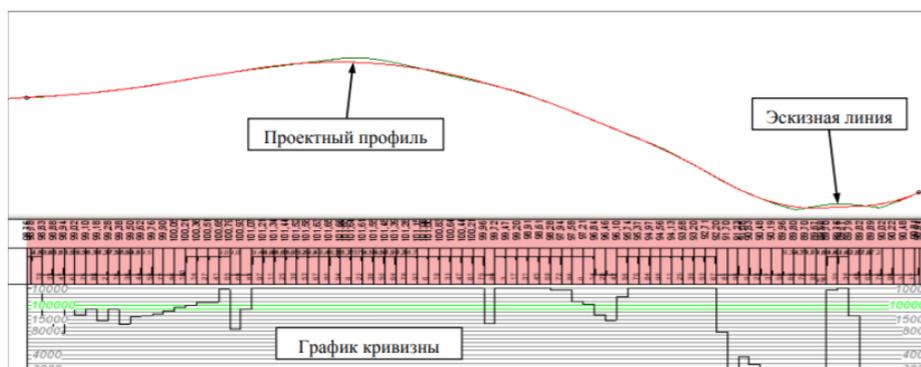


Рисунок 1 – Проектный профиль получен методом Экспресс-Оптимизации

Несомненный плюс кубических сплайнов в том, что присутствует возможность менять расположение профиля в зависимости от заданных параметров, что позволяет выбрать наиболее подходящий вариант расположения профиля, зависящие от задачи и условий проектирования.

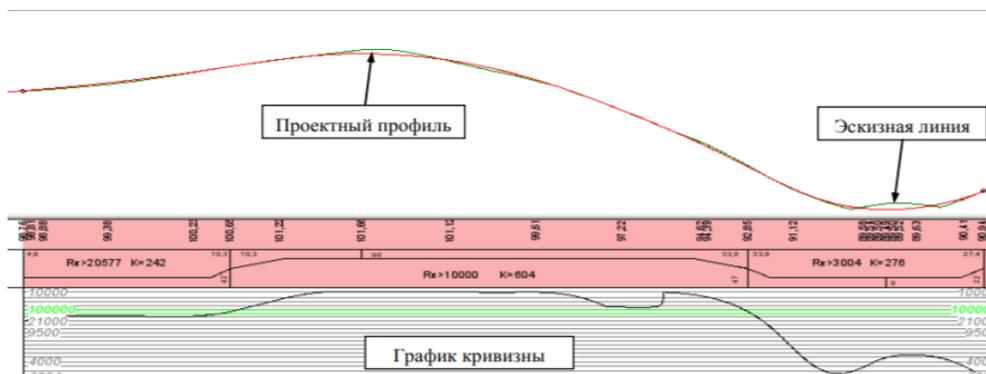


Рисунок 2 – Проектный профиль получен методом Сплайн-Оптимизации

Профиль поверхности земли в естественном виде ближе к кривым с переменным радиусом. При создании проектной линии кубическими параболами удаётся достигнуть большего приближения к рельефу местности, уменьшая при этом объем земляных работ.

Для расчёта кубического сплайна используют более общее уравнение параболы, в котором аргументом x является расстояние от начала элемента до точки на элементе, а функцией - отметка $H(x)$ этой точки:

$$H(x) = H_0 + I_0 x + C x^2 + D x^3.$$

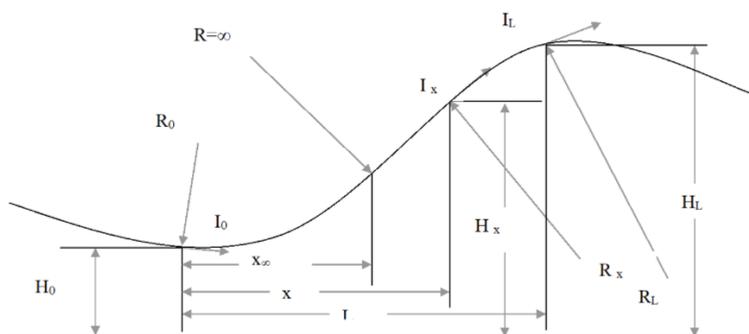


Рисунок 3 – Сегмент кубического сплайна

Коэффициенты H_0 , I_0 , C , D в уравнении определяются следующим образом:

H_0 – отметка проектной линии в начале элемента;

I_0 – уклон касательной к проектной линии в начале элемента;

C – параметр, обратно пропорциональный радиусу R_0 проектной линии в начале элемента (прямо пропорциональный кривизне K_0);

D – параметр, прямо пропорциональный изменению кривизны проектной линии в пределах этого элемента.

Проектируя продольный профиль кубическим сплайном, можно, что очень удобно, тем же уравнением описать любой элемент проектной линии, так как, частными случаями приведенного уравнения являются:

традиционно используемая в проектировании дорог квадратичная парабола (очень близкая к круговой кривой) с постоянной кривизной элемента ($D = 0$),

прямая с нулевой кривизной элемента ($C = 0, D = 0$).

Уклон i в точке x вычисляют как первую производную, а радиус кривизны r в той же точке находят из известной зависимости через первую и вторую производные.

Для построения проектного профиля методом оптимизации требуется наличие: линии руководящих отметок или эскизной линии, контрольных точек.

Линия руководящих отметок - это линия которая определяется по рабочим отметкам от черного профиля, которые рассчитываются на заданных поперечниках по условиям нового строительства или ремонта.

В условиях нового строительства максимальная рабочая отметка определяется по снегонезаносимости, по возвышению покрытия над расчетным уровнем грунтовых вод или длительного стоящих поверхностных вод в случае на участках, где определен II или III тип местности по увлажнению, возвышению покрытия над расчетным горизонтом воды у водоемов и искусственных водопропускных сооружений и на подходах к ним.

В условиях ремонта рабочие отметки для ЛРО рассчитываются исходя из минимизации объемов выравнивающих материалов.

Участок оптимизации определяется двумя контрольными точками. Длина участка должна быть не менее 100 м (фактически, это минимальное расстояние между КТ).

Для расчета требуемой плавности проектного профиля следует задать условный критерий плавности. Он отвечает за скорость изменения радиуса кубической кривой. В программе CREDO это задается буквами S, M, L, XL, 2XL...8XL, что соответствует низкой, средней, большой и т.д. плавности. По мере расчета можно контролировать показатель комфортной скорости движения, который позволяет понять соответствие заданной категории дороги и необходимость повышения плавности.

В методе Сплайн-Оптимизация есть параметр *Количество сплайнов*. Этот параметр определяет число сплайнов на линии проектного профиля. Минимальное значение сплайнов равняется 3, а максимальное задает сам

проектировщик. Количество сплайнов влияет на гладкость линии (чем больше сплайнов, тем более плавная линия). Следует учесть, что большое количество сплайнов требует более долгого расчета.

Процесс создания проектной линии запускается при помощи команды Сплайн-Оптимизация. Последовательность действий:

1. В графах *Оптимизация* профиля уточняем дополнительные параметры, которые влияют на результат оптимизации.

2. Затем команда *Сплайн-Оптимизация* (уточняем настройки в окне параметров).

3. Запускаем расчет кнопкой *Выполнить оптимизацию*.

О завершении расчета можно судить из графика «Тренд объемов».

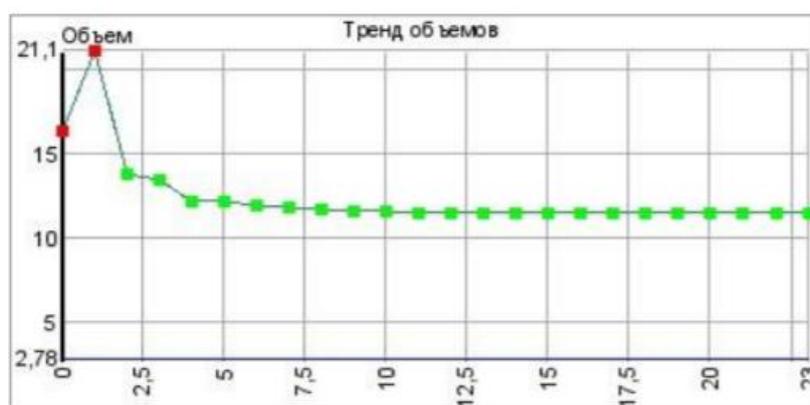


Рисунок 4 – График «Тренд объемов»

Он показывает площадь объема между проектной линии и эскизной линией.

По окончании оптимизации для сравнения и выбора лучшего варианта, можно задать свойства полученному профилю и сохранить в предварительно назначенном слое проектную линию, созданную ранее.

Литература:

1. https://credo-dialogue.ru/media/downloads/exchange_of_experience/road_design/Proektirovanie_prodolnogo_profila_metodom_optimizacii.pdf
2. Проектирование продольного профиля в CREDO кубическими сплайнами, д.т.н., профессор В.В.Филиппов, ХАДИ, к.т.н. Г.В.Величко, НПО «Кредо-Диалог»
3. Применение составных сплайн-кривых при автоматизированном проектировании автомобильных дорог, Г.В. Величко, к.т.н., академик ТАСУ, НПО «Кредо-Диалог», г.Минск, В.В.ФИЛИППОВ, д.т.н., профессор ХГАДТУ, г.Харьков