

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ПОМОЩИ СПЛАЙН-КРИВЫХ

*Пташиц Егор Олегович, Тарасевич Сергей Владимирович,
студенты 3-го курса кафедры «Автомобильные дороги»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Шохалевич Т.М., старший преподаватель,
Гатальский Р.К., старший преподаватель)*

Проектирование продольного профиля – это одна из наиболее важных задач от которой напрямую зависит безопасность использования и время эксплуатации автомобильной дороги на многие годы. Программа CREDO дает нам возможность упростить этап проектирования продольного профиля автоматизированным способом с помощью использования гладких кривых, примером которых являются квадратные и кубические сплайны.

До появления систем автоматизированного проектирования продольный профиль автомобильной дороги выполнялся вручную. Этот метод основывается на врезании круговой кривой постоянного радиуса между двумя прямыми различными уклонами. (Рис.1).

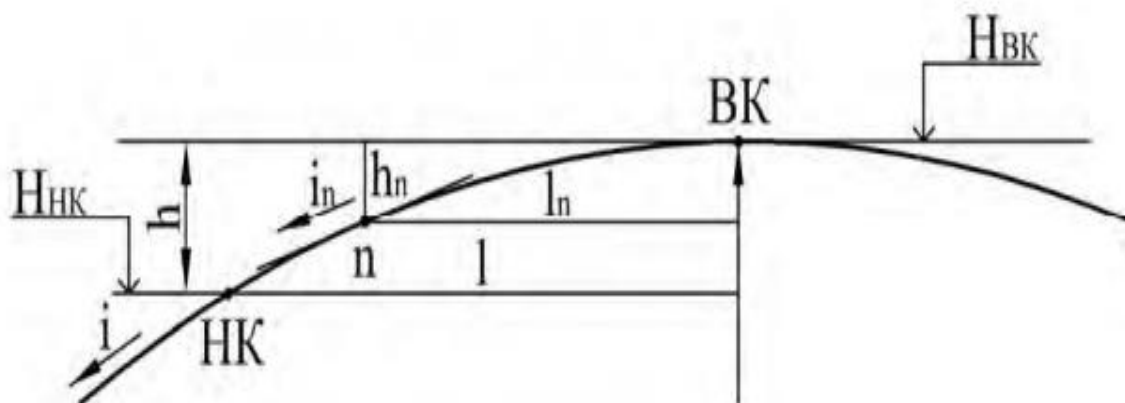


Рисунок 1 – Схема по расчету продольного профиля на участке выпуклой кривой

Данный метод имеет такие недостатки как:

- Требуется большого количества времени для расчетов.
- Не исключает человеческий фактор.
- В сравнении с автоматизированным методом проектирования увеличенный объем земляных работ.

С появлением систем автоматизированного проектирования данный метод стал менее актуален. В программе CREDO ДОРОГИ реализовано четыре способа проектирования продольного профиля:

1. Метод построений
2. Экспресс-оптимизация
3. Сплайн-оптимизация
4. Комбинированный

Метод построений предполагает личное участие инженера проектировщика. Он имеет как плюсы, так и минусы. К плюсам можно отнести то, что инженер может лучше контролировать процесс проектирования продольного профиля и адаптироваться под различные ситуации. В то время как машина ориентируется только на заданные параметры и ограничения, строго действует по алгоритму. Минусом является то, что во время проектирования инженер должен учитывать ряд факторов, ситуацию, рельеф и вписываться в ограничения строительных норм затрачивая большое количество времени и сил (Рис. 2).

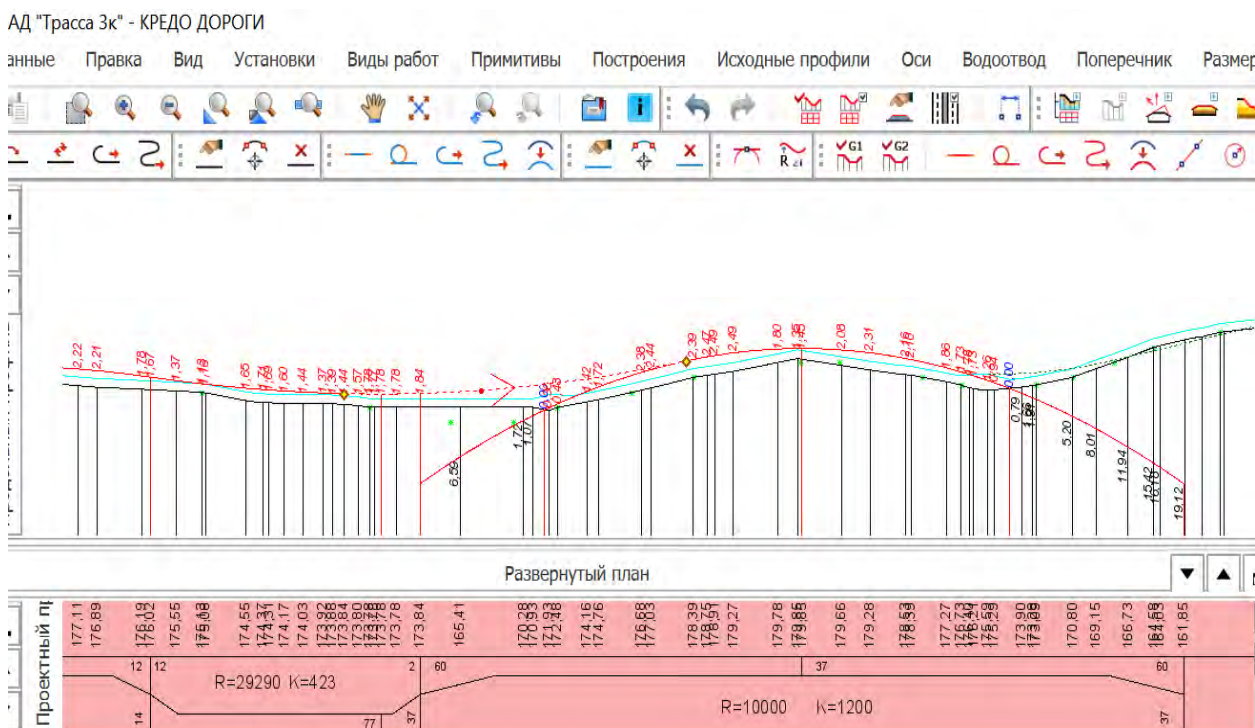


Рисунок 2 – Проектирование продольного профиля методом построений По параболе касательная к 2-м элементам

Оптимизация основана на использовании сплайн-кривых. Сплайн - функция, область определения которой разбита на конечное число отрезков на каждом из которых сплайн совпадает с некоторым алгебраическим полиномом. Экспресс оптимизация выполняется на основе сплайн-функции 2-го порядка. Параметрическое уравнение сплайна второго порядка:

$$P(t) = (1 - t)^2 P_0 + 2t(1 - t)P_1 + t^2 P_2$$

Сплайн-оптимизация выполняется на основе сплайн-функции 3-го порядка. Параметрическое уравнение сплайна третьего порядка:

$$P(t) = (1 - t)^3 P_0 + 3t(1 - t)^2 P_1 + 3t^2(1 - t)P_2 + t^3 P_3$$

Применение сплайна 2-го порядка значительно ускоряет процесс проектирования продольного профиля, при этом она опирается на эскизную линию (ЭЛ) или линию руководящих отметок (ЛРО). Расчет производится с соблюдением всех заданных ограничений. Эскизная линия выступает в роли основы по которой строится проектная линия, она является приоритетной по отношению к ЛРО. Также, в сравнении с методом построений, метод экспресс-оптимизации обеспечивает относительно высокую плавность движения автомобиля, а соответственно делает дорогу безопаснее (Рис.3).

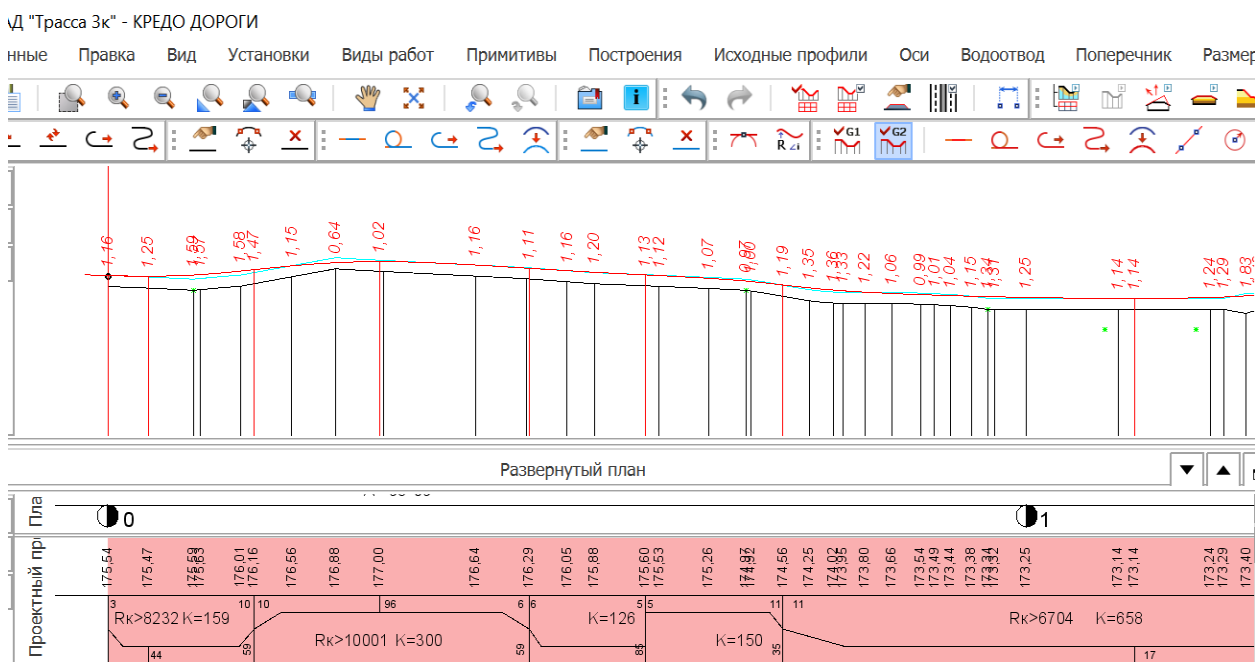


Рисунок 3 – Метод экспресс-оптимизации

Эскизная линия определяет желаемое положение проектного профиля, при этом не учитывает технические нормы. Эскизная линия — это лишь макет проектного решения на основе которой рассчитывается проектный профиль методами оптимизации. Для успешного использования ЭЛ требуются некоторые условия:

- ЭЛ не должна иметь разрывов в вертикальной и горизонтальной плоскости
- ЭЛ не должна иметь резких изломов, так как это может привести к созданию кривых маленькой длины

Вместо эскизной линии может использоваться линия руководящих отметок, которая строится на основе характерных точек. Они в свою очередь описывают ситуацию и конструкционные особенности дороги. ЛРО является непосредственным идеальным решением проектного профиля и может быть использован для проектирования ЭЛ с целью дальнейшей оптимизации или при создании проектного профиля.

Линия руководящих отметок создается по дополнительным параметрам, к которым относятся:

1. Высота насыпи по снегонезаносимости.
2. Расчетный уровень грунтовых вод (РУГВ) или уровень стоячих поверхностных вод (УСПВ).
3. Расчетный горизонт воды (РГВ).

При проектировании ремонтных работ отметки ЛРО определяются по принципу минимизации объемов выравнивающих слоев:

1. Слои усиления укладываются на существующее покрытие.
2. На любом расчетном поперечнике есть хотя бы одна точка касания низа усиления и существующего покрытия – в ней толщина выравнивая равна нулю.

Экспресс-оптимизация имеет недостатки. Из-за различных радиусов в точке сопряжения кривых появляется ощущение скачкообразности. Оно возникает из-за перепада центробежных сил и, как следствие, потере кинетической энергии и повышенным затратам топлива. По закону сохранения энергии кинетическая энергия движения преобразовывается в механическую в виде напряжений на осях автомобиля, что приводит к повышенному износу автомобиля. При использовании кривых постоянного радиуса наблюдается продолжительная зона ограниченной обзорности в отличие от метода сплайн-оптимизации, который использует кривые переменного радиуса. Экспресс-оптимизация позволяет запроектировать проектную линию в соответствии со всеми заданными ограничениями за минимальное время по сравнению со всеми остальными методами.

Кубический сплайн нивелирует минусы квадратного. Кривая по методу сплайн-оптимизации не имеет постоянного радиуса и уклона, благодаря чему достигается высокая плавность в точках сопряжения. В каждой такой точке соблюдается единство уклонов и радиусов и при этом можно контролировать расчетную скорость. Данный метод позволяет максимально точно описать проектную линию в соответствии с заданными ограничениями в виде строительных норм и эскизного профиля. По сравнению с кривыми постоянного радиуса на дорогах, проектируемых с помощью сплайнов 3-го порядка обеспечивается хорошая обзорность. В отличие от всех остальных методов

проектирования данный метод исключает ощущение скачкообразности в месте сопряжения кривых, а также уменьшает нагрузку на оси и объём затраченного топлива при движении автомобиля (Рис.4).

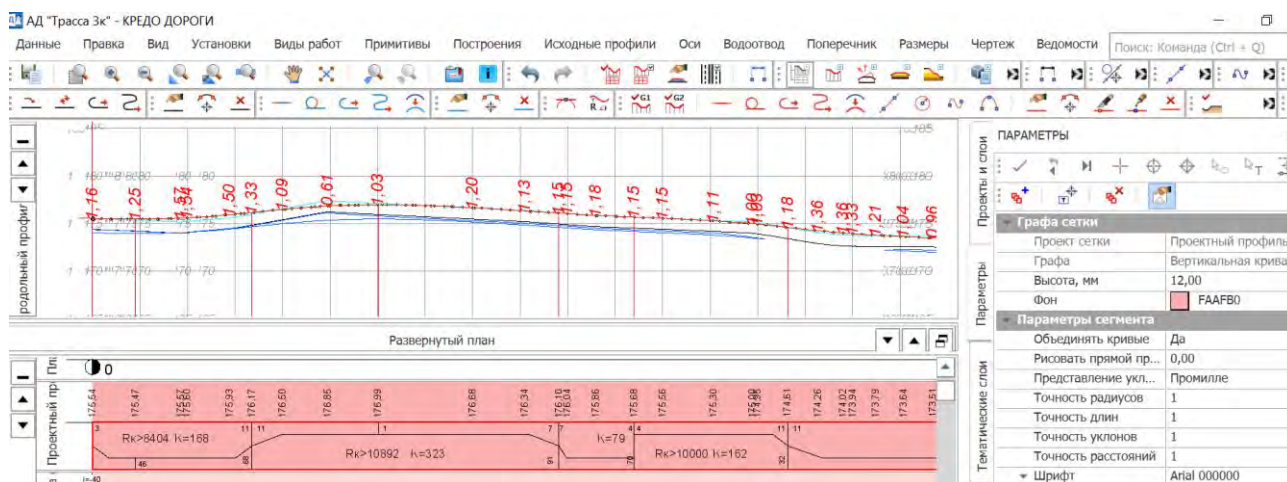


Рисунок 4 – Метод сплайн-оптимизации

Комбинированный метод проектирования используется в CREDO ДОРОГИ при невозможности проектирования продольного профиля с помощью только лишь сплайн кривых. Потому как, иногда возникают сложные ситуации, где программа не может найти верное решение в рамках заданных ограничений. Суть данного метода в удалении проблемного участка, запроектированного с помощью сплайн-кривых и его корректировки методом построений.

Вывод:

Метод построений и экспресс-оптимизация имеют свои преимущества и недостатки, однако уступают методу сплайн-оптимизации и комбинированному. В то же время последние два метода запрашивают высокие системные требования. Знание преимуществ и недостатков этих методов необходимо для инженера, чтобы он мог корректно выбрать нужный способ в конкретной ситуации.

Литература:

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