

УДК 630*383: 625.7/8

Е. И. Бавбель, Ю. А. Лепо

Белорусский государственный технологический университет

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЛЕСНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ CREDO III**

В настоящее время в деятельность изыскательских и проектных организаций быстро проникает компьютеризация. Эта глобальная тенденция, охватывающая все развитые страны мира, коренным образом меняет характер работы проектировщика и изыскателя, предъявляет к ним совершенно новые требования. Наряду с умением решать архитектурно-строительные задачи современный проектировщик должен обладать хорошими навыками работы с компьютером, ориентироваться в многообразном программном обеспечении, своевременно и эффективно внедрять новейшие достижения в этой области. Компьютеризация поднимает проектную работу на качественно новый уровень, при котором резко повышаются темпы и качество проектирования, более обоснованно решаются многие сложные инженерные задачи, которые раньше рассматривались лишь упрощенно.

Ключевые слова: проектирование, CREDO «Дороги», продольный профиль, метод оптимизации, Экспресс-Оптимизация, Слайн-Оптимизация.

J. I. Bavbel, Yu. A. Lepo

Belarusian State Technological University

**DESIGN OF THE LONGITUDINAL PROFILE
OF FOREST HIGHWAYS ON THE BASIS OF CREDO III**

Now the computerization quickly gets into activity of the prospecting and design organizations. It is the global tendency covering all developed countries of the world radically changes kind of work of the designer and researcher, imposes to them absolutely new requirements. Along with ability to solve architectural and construction problems the modern designer has to possess good skills of work with the computer, be guided in the diverse software, in due time and effectively introduce the latest developments in this area. The computerization lifts the project work on qualitatively new level at which rates and quality of design sharply increase, many complex engineering challenges which were considered only simply earlier more are reasonably solved.

Key words: design, CREDO of «Road», longitudinal profile, optimization method, Express Optimization, Splayn-Optimization.

Введение. Система автоматизированного проектирования – автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура САПР. В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР – повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращения трудоемкости проектирования и планирования;
- сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;

- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Достижение этих целей обеспечивается путем:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

В системе автоматизированного проектирования CREDO ДОРОГИ продольный профиль можно запроектировать с помощью интерактивного конструирования либо автоматизированным созданием проектной линии – оптимизацией, либо комбинированием этих возможностей.

Основная часть. Одним из методов проектирования продольного профиля в системе

автоматизированного проектирования CREDO ДОРОГИ является метод оптимизации [1].

Оптимизационный метод был разработан в 1974 году во Всесоюзном научно-исследовательском институте транспортного строительства. Автоматизированное проектирование оптимальной линии продольного профиля автомобильных дорог осуществляют в три этапа:

- 1) оптимизация проектных отметок;
- 2) сглаживание проектной линии;
- 3) оптимизация элементов продольного профиля.

На первом этапе искомую проектную линию представляют в виде «цепочечной линии» с узлами, совпадающими с переломными точками черного профиля земли. «Цепочечная линия» при этом должна удовлетворять всем техническим условиям и ограничениям. Поиск оптимального решения осуществляют методом «проекции градиента», представляющего собой итерационный процесс, на каждом шаге которого получают новую проектную линию с меньшим значением целевой функции, чем на предыдущем шаге.

В качестве целевой функции принята строительная стоимость земельного полотна и искусственных сооружений. Оптимальное решение считают найденным, если выполнены все ограничения, проекция градиента равна нулю и никаких изменений положения проектной линии в части уменьшения значения целевой функции не происходит.

На втором этапе определяют границы элементов продольного профиля: «цепочечный» продольный профиль аппроксимируют последовательностью традиционных элементов: квадратных парабол и прямых, при этом могут иметь место переломы касательных на стыке элементов. Критерием оптимальности на этой стадии является минимум суммы квадратов отклонений, полученной кусочно-параболической кривой от исходной ломаной. Параметры парабол определяются таким образом, чтобы не нарушались ограничения по уклону и кривизне во всех точках предполагаемого элемента, а также выполнялись граничные условия в точках примыкания и отмыкания.

На третьем этапе выполняется оптимизация коэффициентов кусочно-параболических кривых проектной линии по строительной стоимости. При этом учитывают все заданные ограничения, длины принимают как на предыдущем этапе и исключают переломы касательных на стыках парабол [1, 2].

Поэтому прежде чем начать оптимизацию, проектировщик должен выполнить ряд дей-

ствий: создать эскизную линию (ЭЛ), контрольные точки (КТ), определиться с ограничениями, налагаемыми на профиль.

В каждом из этих действий предусмотрены рычаги влияния на конечный результат оптимизации. При выполнении оптимизации поиск наилучшего решения основан на принципах динамического программирования, что позволяет за короткий промежуток времени просчитать огромное количество возможных вариантов профиля, постепенно, с определенным шагом, добываясь максимального приближения к эскизной линии и оптимального сочетания требуемых параметров профиля. Очевидно, что получить такой же или хотя бы близкий вариант проектной линии, используя интерактивные методы создания и редактирования элементов, довольно трудоемко.

В системе CREDO ДОРОГИ представлены два метода оптимизации: *Экспресс-Оптимизация* и *Сплайн-Оптимизация*.

Экспресс-Оптимизация. Главным преимуществом метода является быстрота, с которой система определяет положение проектной линии с минимальным отклонением от эскиза и с учетом всех требований и ограничений.

В результате работы этого метода создается продольный профиль в виде непрерывной цепочки коротких биквадратичных параболических кривых с гладкостью сопряжения G^1 .

Экспресс-оптимизацию рекомендуется использовать для решения следующих задач:

- 1) предварительное определение оптимального положения проектного профиля;
- 2) проверка самой возможности выполнения все заданные ограничения;
- 3) предварительный анализ и оценка объемов работ, необходимых для ремонта или строительства лесной дороги.

Недостатками метода *Экспресс-Оптимизация* можно считать невозможность соблюдения формальных требований к длинам вертикальных кривых, а также меньшую геометрическую плавность проектной линии.

Сплайн-Оптимизация. Данный метод, как правило, работает дольше, чем *Экспресс-Оптимизация*. Это связано с затратами времени на поиск оптимального решения, которое обеспечивает высокую геометрическую плавность проектной линии и, как следствие, эксплуатационную ровность покрытия.

В результате работы метода *Сплайн-Оптимизация* продольный профиль создается в виде непрерывной цепочки G^2 – гладкосопряженных *VSpline*.

VSpline (вариационный сплайн) представляет собой плоскую параметрическую бикубическую G^2 – гладкую кривую, которая при заданных

отметках, уклонах и кривизне в ограничивающих ее точках позволяет оптимизировать закономерность кривизны и координат по критерию близости к множеству ($n \geq 0$) заданных точек с учетом ограничений по максимальным абсолютным значениям положительной и отрицательной кривизны; максимальному темпу изменения кривизны; максимальным абсолютным значениям уклонов касательных.

Гладкость G^2 подразумевает общие касательные и одинаковые радиусы кривизны в точках стыковки сопрягаемых элементов.

Работа метода *Сплайн-Оптимизация* выполняется в две стадии: сразу определяется исходное положение проектной линии, так называемое начальное приближение, затем просчитываются варианты (итерации) с учетом всех заданных параметров. Процесс оптимизации завершается программно, когда изменения проектной линии между смежными итерациями практически отсутствуют [3].

В качестве начального приближения можно также использовать проектный профиль, полученный методом *Экспресс-Оптимизация* либо другими командами создания профиля.

В любом случае для начального приближения должны соблюдаться следующие условия: непрерывность на всем участке оптимизации, G^1 -гладкость сопряжения всех элементов профиля, т. е. отсутствие изломов, соответствие всем геометрическим ограничениям, конструктивная согласованность с эскизной линией (заданный характер приближения к эскизной линии), согласованность по отметкам с контрольными точками.

При отсутствии надлежащей проектной линии метод *Сплайн-Оптимизация* определяет начальное приближение, выполняя расчеты по аналогии с методом *Экспресс-Оптимизация*.

Скорость метода *Сплайн-Оптимизация* напрямую зависит от значений параметров, при помощи которых пользователь может влиять на длины вертикальных кривых, на степень плавности проектной линии и степень ее приближения к эскизной линии.

Плавность продольного профиля зависит от параметра *Скорость комфортного движения V*. Он оказывает непосредственное влияние на график кривизны проектной линии, а также может воздействовать на длины выпуклых и вогнутых кривых.

Этот параметр является не критичным, а желательным, и метод *Сплайн-Оптимизация* стремится соблюсти его по возможности.

Для того чтобы управлять длинами кривых проектного профиля, в методе *Сплайн-Оптимизация* предусмотрен настраиваемый параметр *Количество сплайнов*. Данный параметр опре-

деляет, каким числом сплайнов будет образована линия проектного профиля.

Минимальное количество сплайнов равно трем, а максимальное определяется программой из расчета, что длина каждого сплайна должна быть не меньше 100 м либо, в случае короткого интервала оптимизации (менее 300 м), длина каждого сплайна определяется из условия минимального их количества.

Следует заметить, что уменьшение количества сплайнов может привести к ускорению самого процесса оптимизации, но при этом увеличатся и отклонения проектного профиля от эскизной линии. Очевидно, что короткими фрагментами сплайнов с различным направлением кривизны можно лучше приблизиться к ЭЛ, а длинные участки непрерывно выпуклых или вогнутых кривых такую гибкость утрачивают.

Увеличение длин кривых целесообразно для нового строительства или при устройстве новой дорожной одежды на участках реконструкции, а в случае ремонта покрытия такие действия неизбежно приведут к существенному увеличению объемов выравнивающих материалов.

Для максимального приближения к эскизной линии, дающего, как следствие, самые минимальные строительные и эксплуатационные затраты, значение параметра *Количество сплайнов* должно быть наибольшим.

В результате оптимизации могут получиться относительно короткие участки кривых, длины которых не соответствуют формальным требованиям к длинам кривых проектного профиля. Но при этом для заданной расчетной скорости может обеспечиваться видимость в профиле, а значит, и безопасность движения, поскольку соблюдаются требуемые радиусы вертикальных кривых и эти кривые гладко сопряжены.

О работе метода *Сплайн-Оптимизация* можно судить по характеру изменений «объемов» при помощи динамического графика *Тренд объемов*.

«Объем» – условная величина, численное значение которой определяется как площадь фигуры, ограниченной линией проектного профиля и эскизной линией (ЭЛ).

Анализируя изменения графика и отображения проектной линии в окне *Продольный профиль*, можно принять решение о завершении оптимизации, если эти изменения незначительны, и получить при этом качественный результат.

Заключение. Таким образом, проанализировав данную работу, можно сделать вывод, что метод *Оптимизация* позволяет получить наилучший вариант продольного профиля с максимальной автоматизацией процесса проектирования. По сути, этот метод выполняет подбор

оптимального положения проектной линии относительно заданного эскиза и с соблюдением критериев, которые определил пользователь. Поэтому прежде чем начать оптимизацию, про-

ектировщик должен выполнить ряд действий: создать эскизную линию, контрольные точки, определиться с ограничениями, налагаемыми на профиль.

Литература

1. Федотов Г. А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1986. 318 с.
2. Бавбель Е. И. Разработка проекта строительства лесной дороги // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. М., 2010. Вып. 4. С. 82–88.
3. Системы на платформе CREDO III. Книга 2. Работа в плане. Руководство пользователя. Минск, 2008. 369 с.

References

1. Fedotov G. A. *Avtomatizirovannoe proektirovanie avtomobil'nyh dorog* [Automated design of roads]. Moscow: Transport Publ., 1986. 318 p.
2. Bavbel J. I. *Razrabotka proekta stroitel'stva lesnoj dorogi* [Project development construction of the forest road]. *Avtomatizirovannye tehnologii izyskanij i proektirovanija* [Automated technologies of researches and designing], Moscow, 2010, issue 4, pp. 82–88 (In Russian).
3. *Sistemy na platforme CREDO III. Kniga 2. Rabota v plane. Rukovodstvo pol'zovatelja* [The system on platform of CREDO III. Book 2. The work in the plan. User manual], Minsk, 2008. 69 p.

Информация об авторах

Бавбель Евгения Ивановна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jane18@mail.ru.

Лепо Юлия Александровна – магистрант кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: yulia_7_12_92@mail.ru.

Information about the authors

Bavbel Jane Ivanovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jane18@mail.ru.

Lepo Yulia Alexandrovna – Master's degree student of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yulia_7_12_92@mail.ru.

Поступила 16.02.2016