

УДК 625.81

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАССЫ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Козлов В.Г.

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж,
e-mail: vya-kozlov@yandex.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог. Рассмотрено несколько методов проектирования с применением ЭВМ, отличающихся постановкой задачи, способами решения, характером геометрического представления трассы и другими особенностями. На основании анализа существующих отечественных и зарубежных методов проектирования трассы сделаны следующие выводы: трассирование является наиболее важным этапом проектно-изыскательских работ, так как именно положение трассы определяет основные технико-экономические показатели проектируемой дороги; установлено, что методы трассирования должны быть увязаны с принятой технологией проектирования; выявлено, что в большинстве стран на практике проектирования лесных автомобильных дорог применяются только методы однозначного расчета осей, которые достаточно эффективно используются при вариантном проектировании трассы; развитие средств вычислительной техники в части автоматической регистрации координат с топографических материалов и аэрофотоснимков обусловило целесообразность разработки методов, основанных на идеях сглаживания намеченной проектировщиком эскизной линии и наиболее перспективным направлением в данной группе следует считать сглаживание клотоидами, отрезками клотоид круговыми кривыми и прямыми в соответствии с требованиями клотоидного трассирования, выполняемое с применением методов нелинейного математического программирования. Использование современной вычислительной техники позволяет разработать методы оптимизации трассы по технико-экономическому критерию, при фиксированном продольном профиле, с применением методов нелинейного математического программирования.

Ключевые слова: метод, трасса, дорога, исследование, проектирование

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR THE DESIGN OF SLOPES OF FOREST ROADS

Kozlov V.G.

*Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh,
e-mail: vya-kozlov@yandex.ru*

This article is devoted to the study of methods for alignment design of forest roads. Describes several methods of designing by computer, different problem formulation, solution methods, the nature of the geometric representation of the route and other features. Based on the analysis of existing Russian and foreign methods of designing slopes, the following conclusions: tracing is the most important stage of design and survey works, as it is the position of the alignment defines the main technical and economic indicators of the projected road; it is established that methods of tracing must be linked to the adopted technology of design; it is revealed that in most countries, in practice the design of forest roads apply only unequivocal methods of calculation of the axes, which are effectively used in the design variant of the track; the development of computer equipment in the part of the automatic registration of coordinates with the topographical materials and aerial photographs led to the feasibility of methods based on the ideas of smoothing intended by the designer of the sketch lines and the most promising direction in this group should be regarded as smoothing klotodama, clothoid segments of circular curves and straight in accordance with the requirements of klotodanogo tracing performed by using methods of nonlinear mathematical programming. The use of modern computer technology, allows to develop methods of optimizing route on techno-economic criteria, with a fixed longitudinal profile, using methods of nonlinear mathematical programming.

Keywords: method, route, road, research, design

Исследованию методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог посвящены работы ряда авторов [1, 3, 6, 12, 15]. В них предложено несколько методов проектирования с применением ЭВМ, отличающихся постановкой задачи, способами решения, характером геометрического представления трассы и другими особенностями.

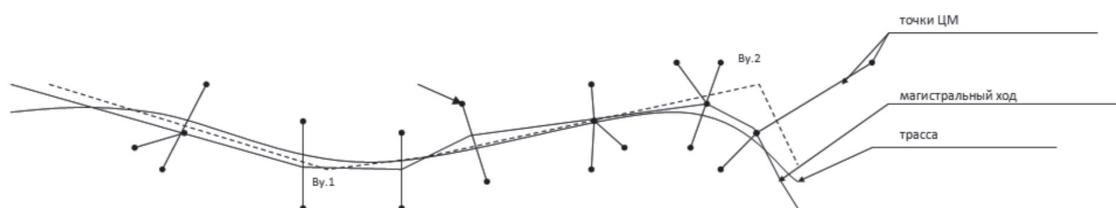
По постановке задачи можно выделить следующие характерные группы методов проектирования трассы:

I. Методы, основанные на расчете однозначно-определенной трассы.

Этот метод основан на расчете закруглений вида: клотоида – круговая кривая – клотоида или клотоида – клотоида, вписываемых в углы тангенального полигона, обычно прикладываемого на местности. Необходимые для расчета геометрические характеристики закругления (радиус круговой кривой и длины переходных кривых) определяют либо из условия размещения тангенсов, либо исходя из принятой биссектрисы угла поворота трассы. В случае проработки трассы по крупномасштабным топографическим планам или материалам аэрофотосъемки

тангентальный ход и необходимые геометрические характеристики намечаются на соответствующей топооснове камерально, путем детальной графической проработки трассы с применением шаблонов круговых и клотоидных кривых [2, 5, 16].

Некоторые работы по автоматизации проектирования лесных автомобильных дорог в плане были основаны на традиционном методе расчета трассы. В качестве топоосновы для проектирования с применением программы ЭВМ в виде магистрального геодезического хода с поперечниками в характерных местах (рисунок).



Трассирование с применением программы ЭВМ в виде магистрального геодезического хода

Анализ данного метода показал, что он является наиболее совершенным в группе методов расчета однозначно-определенной трассы. Вместе с тем в нем имеется ряд недостатков, а именно:

- поблочный подход к расчету трассы вызывает избыточное применение методов итерации, что снижает эффективность решения задачи в целом;

- отсутствует контроль выполнения нормальных требований к геометрическим характеристикам элементов трассы, получаемых в результате расчета, что может приводить к неудовлетворительным решениям;

- использование математического аппарата комплексных переменных ограничивает возможность применения некоторых алгоритмических языков, что создает трудности при программной реализации.

II. Методы сглаживания эскизной линии трассы в плане по геометрическим критериям. Характерной особенностью методов этой группы является то, что для расчета на ЭВМ берется избыточное количество информации о предварительно проработанной эскизной линии, не определяющей однозначно ось проектируемой дороги. Положение расчетной трассы отыскивается с использованием методов оптимизации из условия наилучшего приближения к заданной линии, притом в данной группе методов принят геометрический критерий оптимальности: величина

максимального отклонения расчетной трассы от заданной или сумма квадратов отклонений [7–9, 14, 16].

Анализ данных методов показывает, что идея, реализованная в них, основанная на аналитическом разложении эскизной линии на проектные элементы трассы, безусловно, прогрессивная и открывает широкие возможности автоматизации проектирования трассы в плане. Вместе с тем в рассмотренных методах имеются следующие принципиальные недостатки:

- проектирование каждого варианта трассы осуществляется в несколько этапов,

что не позволяет существенно сократить сроки и трудоемкость работ;

- не представляется возможным отказаться полностью от этапа графической проработки трассы, так как при относительно малых углах поворота невозможно без предварительной проработки шаблонами наметить последовательность элементов;

- имеются жесткие требования к заданию эскизной линии, что не дает возможности использовать не отвечающие этим требованиям модели эскизных линий трассы, что часто имеет место на практике.

Инженер В. Калогаро предложил метод полиномиального трассирования, получивший такое название потому, что трасса в нем составляется из участков полиномов.

Анализ данного метода показал следующее:

- методом полиномиального трассирования не контролируется величина изменения центростремительного ускорения, возникающего при движении автомобиля по запроектированной дороге. Это приводит к тому, что получаемая в результате расчета трасса может не отвечать предъявленным требованиям в части обеспечения максимально допустимого, из условия удобства движения, нарастания центростремительного ускорения. Следует также отметить, что, используя данный метод, трудно вносить коррективы в полученные проектные решения;

- если наносить контрольные точки трассы, руководствуясь главным образом

экономическими соображениями и не прорабатывая ее графически, то трасса может получиться излишне извилистой или кривизна, хотя и будет направлена в одну сторону, может неконтролируемо то увеличиваться, то уменьшаться, что является недопустимым;

– назначить непротиворечивые ограничения (допуски отклонений точек от трассы и др.) без предварительной графической проработки, во многих случаях не представляется возможным (особенно в сложных условиях);

– решением уравнения являются коэффициенты полинома, однако по величине этих коэффициентов и выбранной степени полинома проектировщик никаким образом не может судить о качестве трассы. Поэтому для оценки трассы все равно необходимо переходить к понятиям, принятым при клотоидном трассировании, для чего в программе, реализующей метод полиномиального трассирования, осуществляется расчет так называемых параметров эквивалентных клотоид;

– при использовании полиномиального трассирования осложняется вынос трассы на местность. Это особенно остро в условиях нашей страны из-за редкой геодезической опорной сети и из-за принятой одностадийной или двустадийной системы проектирования (за рубежом автомобильные дороги, как правило, проектируются в 3 стадии). Отмеченные особенности обуславливают необходимость на одной стадии проводить и плано-высотное обоснование, и вынос трассы на местность. В этом случае в результате неизбежного накопления неувязок в геодезических измерениях (хотя и допустимых) на участке примыкания магистрального хода, от которого осуществляется разбивка трассы, к опорной геодезической сети возникает необходимость корректировки трассы по фактическим геодезическим измерениям. Эта корректировка, как правило, заключается в пересчете одного угла закругления и осуществляется непосредственно в поле. При полиномиальном трассировании такая корректировка практически неосуществима;

– внедрение методов клотоидного трассирования в отечественной практике проектирования осуществляется с 1962 года. За прошедшие годы усилиями автомобильно-дорожных вузов, научно-исследовательских и проектных институтов проделана значительная работа по научно-технической подготовке кадров, свободно владеющих инженерным аппаратом для проектирования автомобильных

дорог с использованием принципов клотоидного трассирования. Переход на полиномиальное трассирование вызовет необходимость соответствующей переподготовки специалистов.

Подводя итог анализа методов сглаживания с использованием полиномов, можно сделать вывод, что эти методы нельзя применять для окончательного трассирования, но можно использовать на этапе предварительной проработки трассы или для получения исходного приближения при последующей аппроксимации трассы клотоидами, круговыми кривыми, и прямыми.

III. Методы оптимизации трассы по технико-экономическому критерию.

Одна из первых работ, посвященных вопросам оптимизации трассы, принадлежит Г.Д. Аккерману [4]. В ней предложено отыскивать оптимальный вариант трассы железной дороги с использованием метода последовательного анализа вариантов, разработанного в Институте кибернетики В.С. Михайловичем, Н.З. Шором и др. В дальнейшем это предложение получило развитие в работах А.С. Забышного, В.И. Федорова и Д.Г. Румянцева [10, 12] применительно к проектированию трассы автомобильных дорог. Оптимизация трассы с использованием методов, основанных на идеях динамического программирования, связана с рядом трудностей, как теоретического характера, так и практической реализации. По этой причине выдвинутые предложения не получили широкого применения в практике проектирования. Более реальной является задача отыскания зоны расположения вариантов близких к оптимальному, поставлена в работах [1, 9]. В этих работах сделаны также предложения по улучшению правила отбора вариантов в узлах пространственной сетки, совмещению узлов сетки и точек нерегулярной ЭВМ и др.

Другой подход к решению рассматриваемой задачи предложил И.В. Турбин. Оптимизация трассы в ней сводится к определению положения вершин углов поворота при вписании в лог или обходе высотного препятствия с использованием направленного поиска.

За рубежом данной проблеме также уделяется должное внимание. В работе А. Сзидло приводится метод оптимизации геометрических элементов трассы, в ней для упрощения расчетной схемы, трасса представлена как последовательность чередующихся прямых и круговых кривых.

Отличительной особенностью данной группы является то, что положение трассы отыскивается в заданной определенными ха-

характеристиками полосы варьирования из условия минимизации технико-экономического критерия (стоимости строительства или суммарных приведенных затрат) [4, 10–11, 13].

В геометрическом смысле трассы лесных автомобильных дорог в плане обычно принимаются в виде совокупности элементов постоянной кривизны (прямых и круговых кривых), которые соединены между собой элементами с переменной кривизной (переходными кривыми). В качестве переходных кривых в различных странах используются: клотоиды, степенные полиномы, логарифмические спирали, различные тормозные кривые и т.д.

Следует отметить основной недостаток предложенного метода: значительную чувствительность к назначению исходных параметров. Ошибки, обусловленные дискретизацией данных, могут привести, с одной стороны, к потере глобального оптимума, а с другой стороны, к тому, что найденная трасса не будет отвечать предъявляемым требованиям в геометрическом смысле.

Выводы

На основании анализа существующих отечественных и зарубежных методов проектирования трассы можно сделать следующие выводы:

1. Трассирование является наиболее важным этапом проектно-изыскательских работ, так как именно положение трассы определяет основные технико-экономические показатели проектируемой дороги. Принятые в отечественной практике технология и методы проектирования дорог не позволяют обеспечивать высокое качество выбора трассы. Это обуславливает необходимость и целесообразность проведения исследований и совершенствования технологии и методов автоматизированного проектирования трассы лесных автомобильных дорог с применением ЭВМ по материалам аэрофотосъемки или крупномасштабным топографическим планам в координатах.

2. Методы трассирования должны быть увязаны с принятой технологией проектирования. В свою очередь и выбор метода, и технология зависят от конкретных особенностей проектируемого объекта: природных условий, стадии проектирования, обеспеченности топографическими материалами и т.д. Этим обусловлено создание в различных странах ряда методов автоматизированного проектирования трассы, которые систематизированы в три группы:

а) методы, основанные на расчете однозначно-определенной трассы;

б) методы сглаживания эскизной линии трассы;

в) методы оптимизации трассы по технико-экономическим критериям.

3. В большинстве стран в практике проектирования автомобильных дорог применяются только методы однозначного расчета осей. Они достаточно эффективно используются при вариантном проектировании трассы. В ряде случаев (например, в стесненных условиях) эти методы незаменимы, что обусловлено целесообразностью разработки применительно к отечественным условиям метода опорных элементов, основанного на идеях расчета однозначно определенных осей, с устранением недостатков.

4. Развитие средств вычислительной техники в части автоматической регистрации координат с топографических материалов и аэрофотоснимков обусловило целесообразность разработки методов, основанных на идеях сглаживания намеченной проектировщиком эскизной линии. Наиболее перспективным направлением в данной группе следует считать сглаживание клотоидами, отрезками клотоид круговыми кривыми и прямыми в соответствии с требованиями клотоидного трассирования, выполняемое с применением методов нелинейного математического программирования.

5. Наибольшую перспективу открывает применение оптимизации по технико-экономическому критерию.

Предложенные ранее методы могут быть применены лишь на этапе предварительного трассирования из-за значительных упрощений, допущенных в них. На базе современной вычислительной техники принципиально возможно разработать методы оптимизации трассы по технико-экономическому критерию при фиксированном продольном профиле с применением методов нелинейного математического программирования.

Список литературы

1. Афоничев Д.Н. Размещение петлевых разворотов на лесовозных усах / Д.Н. Афоничев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2010. – № 6. – С. 93–96.

2. Курьянов В.К. Эксплуатационные документы систем моделирования процессов функционирования дороги в рабочем проекте первой очереди САПР АД / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, Д.Н. Афоничев // Рациональное использование лесных ресурсов: Матер. междунар. научн.-практ. конф. / МарГТУ. – Йошкар-Ола, 2001. – С. 178–182.

3. Бурмистров Д.В. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог / Д.В. Бурмистров [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 2 (30). – С. 179–184.

4. Козлов В.Г. Исследование и проектирование структуры информационного обеспечения автомобильного транспорта / В.Г. Козлов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 1 (67). – С. 57–62.

5. Козлов В.Г. Математическая модель статистической идентификации информационного обеспечения автомо-

бильного транспорта / В.Г. Козлов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 1 (67). – С. 45–51.

6. Козлов В.Г. Методологическое обоснование особенностей проектирования трассы по методу опорных элементов / В.Г. Козлов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12–1. – С. 62–68.

7. Козлов В.Г. Моделирование транспортного потока на лесовозных автомобильных дорогах / В.Г. Козлов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19650>.

8. Козлов В.Г. Модернизация имитационной системы процесса функционирования автомобильных дорог с использованием информационных технологий / В.Г. Козлов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19651>.

9. Скрыпников А.В. Автоматизированное проектирование лесовозной дороги / А.В. Скрыпников [и др.] // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 6. – С. 38–41.

10. Скрыпников А.В. Выбор критерия принятия решений при управлении информационным обеспечением автомобильного транспорта / А.В. Скрыпников [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4–4. – С. 686–689.

11. Скрыпников А.В. Изучение состояния покрытий на лесовозной дороге с применением известняков / А.В. Скрыпников, В.Г. Козлов, Т.В. Скворцова // Воронежский научно-технический вестник. – 2015. – Т. 4, № 3–3 (13). – С. 116–122.

12. Скрыпников А.В. Математическое моделирование оптимизации и управления транспортным потоком посредством применения датчиков регистрации проходящих автомобилей и информационных устройств / А.В. Скрыпников [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 2016. – № 2. – С. 102–109.

13. Скрыпников А.В. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог / А.В. Скрыпников [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 11–2. – С. 305–309.

14. Скрыпников А.В. Проектирование структуры информационного обеспечения лесовозного автомобильного транспорта / А.В. Скрыпников [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – № 217. – С. 131–141.

15. Скрыпников А.В. Проходимость комплексных трелевочно-транспортных систем на трелевочных волоках / А.В. Скрыпников [и др.] // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2016. – Т. 20, № 2. – С. 152–158.

16. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision (A.V. Skrypnikov, S.V. Dorokhin, V.G. Kozlov and E.V. Chernyshova) – Journal of Engineering and Applied Sciences. – January 2017. – Vol. 12, № 2.

References

1. Afonichev D.N. Razmeshhenie petlevykh razvorotov na lesovoznykh usah / D.N. Afonichev // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoj vestnik. 2010. no. 6. pp. 93–96.

2. Kurjanov V.K. Jekspluatatsionnye dokumenty sistem modelirovaniya processov funkcionirovaniya dorogi v rabochem

proekte pervoj ocheredi SAPR AD / V.K. Kurjanov, A.V. Skrypnikov, D.N. Afonichev // Racionalnoe ispolzovanie lesnykh resursov: Mater. mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. / MarGTU. Joshkar-Ola, 2001. pp. 178–182.

3. Burmistrov D.V. Metodika opredeleniya vliyanija prirodnykh faktorov na stoimost stroitelstva zemljanogo polotna lesovoznykh dorog / D.V. Burmistrov [i dr.] // Sistemy. Metody. Tehnologii. 2016. no. 2 (30). pp. 179–184.

4. Kozlov V.G. Issledovanie i proektirovanie struktury informacionnogo obespechenija avtomobilnogo transporta / V.G. Kozlov [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tehnologij. 2016. no. 1 (67). pp. 57–62.

5. Kozlov V.G. Matematicheskaja model statisticheskoj identifikacii informacionnogo obespechenija avtomobilnogo transporta / V.G. Kozlov [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tehnologij. 2016. no. 1 (67). pp. 45–51.

6. Kozlov V.G. Metodologicheskoe obosnovanie osobennostej proektirovaniya trassy po metodu opornykh jelementov / V.G. Kozlov [i dr.] // Fundamentalnye issledovaniya. 2016. no. 12–1. pp. 62–68.

7. Kozlov V.G. Modelirovanie transportnogo potoka na lesovoznykh avtomobilnykh dorogah / V.G. Kozlov [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 1–1.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19650>.

8. Kozlov V.G. Modernizacija imitacionnoj sistemy processa funkcionirovaniya avtomobilnykh dorog s ispolzovaniem informacionnykh tehnologij / V.G. Kozlov [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 1–1.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19651>.

9. Skrypnikov A.V. Avtomatizirovannoe proektirovanie lesovoznoj dorogi / A.V. Skrypnikov [i dr.] // Avtomatizacija. Sovremennye tehnologii. 2016. no. 6. pp. 38–41.

10. Skrypnikov A.V. Vybhor kriterija prinjatija reshenij pri upravlenii informacionnym obespecheniem avtomobilnogo transporta / A.V. Skrypnikov [i dr.] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovanij. 2016. no. 4–4. pp. 686–689.

11. Skrypnikov A.V. Izuchenie sostojanija pokrytij na lesovoznoj doroge s primeneniem izvestnjakov / A.V. Skrypnikov, V.G. Kozlov, T.V. Skvorcova // Voronezhskij nauchno-tehnicheskij Vestnik. 2015. T. 4, no. 3–3 (13). pp. 116–122.

12. Skrypnikov A.V. Matematicheskoe modelirovanie optimizacii i upravlenija transportnym potokom posredstvom primenenija datchikov registracii prohodjashih avtomobilej i informacionnykh ustrojstv / A.V. Skrypnikov [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tehnologij. Voronezh: FGBOU VO «VGUIIT», 2016. no. 2. pp. 102–109.

13. Skrypnikov A.V. Metodika opredelenija vliyanija prirodnykh faktorov na stoimost stroitelstva zemljanogo polotna lesovoznykh dorog / A.V. Skrypnikov [i dr.] // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2016. no. 11–2. pp. 305–309.

14. Skrypnikov A.V. Proektirovanie struktury informacionnogo obespechenija lesovoznogo avtomobilnogo transporta / A.V. Skrypnikov [i dr.] // Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoi akademii. 2016. no. 217. pp. 131–141.

15. Skrypnikov A.V. Prohodimost kompleksnykh trelevочно-transportnykh sistem na trelevочноnykh volokah / A.V. Skrypnikov [i dr.] // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoj vestnik. 2016. T. 20, no. 2. pp. 152–158.

16. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision (A.V. Skrypnikov, S.V. Dorokhin, V.G. Kozlov and E.V. Chernyshova) Journal of Engineering and Applied Sciences. January 2017. Vol. 12, no. 2.