

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, ОСНОВАННЫЕ НА РАСЧЕТЕ ОДНОЗНАЧНО ОПРЕДЕЛЕННОЙ ТРАССЫ

Е.В. Чирков¹, А.В. Скрыпников¹, В.Г. Козлов², С.Ю. Саблин¹, А.О. Боровлев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

skrypnikovvsafe@mail.ru

Предложено несколько методов проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог с применением информационных технологий, отличающихся постановкой задачи, способами их решения, характером геометрического представления трассы и другими особенностями. Рассмотрены основные методы проектирования лесовозных автомобильных дорог, построенные на расчете однозначно определенной трассы. Сделан вывод о том, что трассирование является наиболее важным этапом проектно-изыскательских работ. Показано, что именно положение трассы определяет основные технико-экономические показатели проектируемой дороги, обуславливая необходимость и целесообразность проведения исследований и совершенствования технологии и методов автоматизированного проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог с применением современных информационных технологий по материалам полученных с беспилотных летательных аппаратов или крупномасштабным топографическим планам в координатах. Рекомендуется увязывать методы трассирования с принятой технологией проектирования. Подчеркнуто, что выбор метода и технология могут зависеть от конкретных особенностей проектируемого объекта: природных условий, стадии проектирования, обеспеченности топографическими материалами и т. д.

Ключевые слова: метод проектирования, трасса, дорога, клотоида, криволинейный участок

Ссылка для цитирования: Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Саблин С.Ю., Боровлев А.О. Методы проектирования лесовозных автомобильных дорог, основанные на расчете однозначно определенной трассы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 128–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-128-137

Исследованию методов проектирования в плане посвящены работы некоторых авторов, как в России, так и за рубежом. Предложено несколько методов проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог с применением информационных технологий, отличающихся постановкой задачи, способами их решения, характером геометрического представления трассы и другими особенностями.

Методика исследования

В геометрическом смысле трасса лесовозных автомобильных дорог в плане обычно принимается 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 др.

Поскольку в подавляющем большинстве стран, в том числе и в России, в качестве переходных кривых приняты клотоиды, в настоящей работе рассматриваются методы проектирования клотоидной трассы.

В отечественной практике проектирования широко распространен и принят метод расчета

трассы, основанный на расчете закруглений вида клотоида — круговая кривая — клотоида или клотоида — клотоида, вписываемых в углы тангентального полигона, обычно прокладываемого 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 [1–3].

Первые отечественные работы по автоматизации проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог в плане были основаны на традиционном методе расчета трассы. В частности, на базе такого метода была разработана компьютерная программа. В качестве топоосновы для проектирования с применением этой программы был использован магистральный геодезический ход с поперечниками в характерных местах (рис. 1).

Исходными данными для расчета служили координаты вершин углов тангентального по-

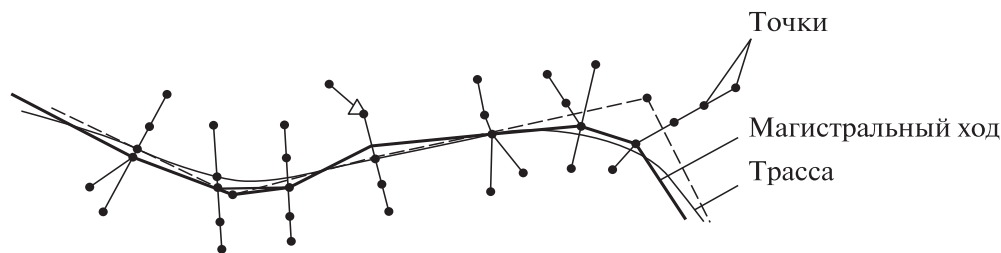


Рис. 1. Трассирование с использованием магистрального геодезического хода с поперечниками в характерных местах

Fig. 1. Location survey using a main geodetic line with cross-sections in particular places

лигона трассы, для каждого закругления — радиус круговой кривой и параметры клотоидных кривых. С помощью расчета были получены все геометрические характеристики трассы, данные для разбивки ее от магистрального хода, отметки земли и пикетажное положение в местах пересечения расчетной трассы с поперечниками и линиями магистрального хода.

Разработанная программа применялась на некоторых объектах республики Коми. При этом были выявлены ее недостатки заложенного в нее метода расчета трассы.

В традиционном методе как при графической проработке трассы (или при непосредственном трассировании на местности), так и при аналитическом расчете ее определяющими элементами являются прямые (направления тангенсов). Структура расчетных схем данного метода обусловлена принципами жесткого трассирования, когда основными элементами трассы были прямые, а закругления служили для соединения прямых участков.

Сама постановка задачи в этом случае не соответствует принципам клотоидного трассирования, при котором прямолинейные участки между закруглениями зачастую либо отсутствуют, либо малы и не могут служить в качестве определяющих элементов. В связи с этим при графической проработке трассы приходилось искусственно определять направление касательных в точках сопряжения клотоидных кривых (при $R = \infty$), продолжать их до пересечения со смежными касательными и таким образом искусственно создавать мнимый тангентальный полигон трассы. Такой подход, во-первых, позволяет сохранить необходимость производства трудоемкой графической проработки трассы с применением шаблонов клотоидных и круговых кривых. Во-вторых, вследствие неточности сопряжения касательных смежных элементов (что неизбежно имеет место при графической проработке с использованием шаблонов клотоидных кривых) при аналитическом расчете может возникнуть ситуация, когда, например, вместо планируемого *S*-образного за-

кругления происходит либо налезание смежных клотоид (недопустимая ситуация), либо между двумя обратными клотоидами появляется не предусмотренная прямая вставка (нежелательная ситуация). В-третьих, из-за неточности графической проработки трассы и особенно из-за угловых невязок, которые возникают при сопряжении шаблонов, аналитически рассчитанная трасса неизбежно смещается относительно намеченной графически и иногда весьма значительно.

Все это вызывает необходимость проводить неоднократные расчеты и путем подбора добиваться желательного результата. Кроме того, предусмотренный в традиционном методе ограниченный набор расчетных схем не позволяет использовать все возможности клотоидного трассирования.

Анализ традиционного метода выявил существенные недостатки метода, принятого в настоящее время в отечественной практике проектирования, что определило необходимость поиска иных, более совершенных методов. Вместе с тем следует отметить, что в целом работы В.К. Курьянова, Е.В. Кондрашовой, М.Б. Афанасьева и В.И. Ксенодохова имели важное значение в деле внедрения клотоидного трассирования в отечественную практику проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Впервые в нашей стране отойти от традиционного метода расчета трассы и использовать при проектировании информацию о положении оси дороги в плане на криволинейных участках предложил Э.Ф. Алешников. В работах В.К. Курьянова, Е.В. Кондрашовой, Е.В. Чернышовой, Ю.И. Трофимова рассматриваются вопросы укладки трассы по стереомодели местности. Положение оси дороги выбирается по шаблонам клотоидных кривых, и в процессе фотограмметрической обработки фиксируются координаты главных точек трассы. На основании этих данных рассчитывают все плановые характеристики намеченного варианта.

В работах В.К. Курьянова рассмотрены четыре расчетных случая.

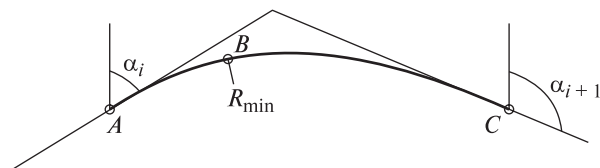


Рис. 2. Схема расчета трассы
Fig. 2. Scheme for calculating the route

Случай 1-й.

Дано: координаты X, Y точек A, B, C и направление касательной к первой клотоиде α_i (рис. 2).

Случай 2-й.

Дано: координаты X, Y точек A, B, C и направление касательной к первой клотоиде α_i , конечный радиус R_{\min} .

Случай 3-й.

Дано: направление двух касательных к кривым α_i и α_{i+1} , координаты X, Y точек A, B, C .

Случай 4-й.

Дано: направление касательной к кривым α_i и α_{i+1} , а также координаты X, Y точек A и C .

Анализ этих расчетных случаев показывает следующее:

1. Из приведенных четырех случаев только случаи 1-й и 4-й всегда приводят к однозначному решению, в остальных — имеет место переопределенность, т. е. избыточность исходной информации и, как правило, решение отсутствует. Расчетная схема случая 4-го по существу такая же, как и в традиционном методе, поскольку задание направления двух касательных практически аналогично заданию тангенциального полигона.

2. В предложенных расчетных схемах трасса рассматривается как последовательность клотоид и прямых, т. е. предусмотрен всего один вид закругления — биклотоиды. Круговые кривые и отрезки клотоид в трассу не включаются. Это существенный недостаток в соответствии со следующими причинами:

– во-первых, ограничиваются возможности клотоидного трассирования в части наилучшего и гибкого вписания в рельеф и учета геоморфологических особенностей местности;

– во-вторых, как показали исследования, закругления вида биклотоид не всегда обеспечивают необходимые условия удобства и безопасности движения;

– в-третьих, на закруглениях клотоида — круговая кривая — клотоида лучше условия для осуществления виража и отгона уширения проезжей части.

По этим причинам в некоторых странах, например в Германии, устраивать биклотоиды вообще не рекомендуется, и нормируется минимально необходимая величина круговой вставки между клотоидами одного направления. Закругления

вида клотоида — круговая кривая — клотоида наилучшим образом отвечают фактической траектории движения автомобиля, поскольку водитель, двигаясь по круговой вставке имеет возможность сориентироваться, чтобы осуществить переход с режима движения по клотоиде с уменьшающимся радиусом на режим движения по клотоиде с увеличивающимся радиусом.

При расчете по схеме случая 4-го не контролируются величины радиуса на стыке двух клотоид, а также величины параметров (длин) клотоид. Тогда полученные в результате расчета геометрические характеристики трассы не будут удовлетворять предъявляемым к ним требованиям. Чтобы уменьшить вероятность такой ситуации, необходима тщательная графическая проработка трассы с использованием шаблонов клотоидных кривых.

Проведенный анализ показал, что поставленная ранее задача расчета трассы, проходящей через графически предварительно намеченные главные точки, в общем виде не решена. Однако сама идея использования данных о расположении трассы на криволинейном участке для расчета является несомненной заслугой Э.Ф. Алешникова [4, 5].

Согласно зарубежному опыту, в подавляющем большинстве программы проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог в плане используют методы, в которых определяющими элементами являются как прямолинейные, так и криволинейные элементы.

В работах [6–8] освещены основные положения программ, реализующих указанный принцип. Наибольший интерес представляет работа К. Линквица и др., в которой приводятся результаты исследования программ фирм IBM, Nordisk, RIB и Zuse.

Необходимым условием для расчета трасс по всем этим программам является графическое проектирование на топооснове в определенной системе координат, в ходе которого проводится разбивка трассы на элементы (круговые кривые, клотоиды и прямые) и определяются необходимые данные для расчета: координаты определенных точек на прямых и круговых кривых, величины радиусов круговых кривых, длин переходных кривых и т. д.

По своим техническим возможностям программы RIB, IBM и Nordisk почти равноценны [7]. Различия между ними состоят преимущественно в формах представления исходных данных и выдаваемых результатов. Отмечается также, что с точки зрения проектировщика наиболее удобной признана программа Nordisk. В этой программе для каждого элемента трассы могут быть известны одна, две или

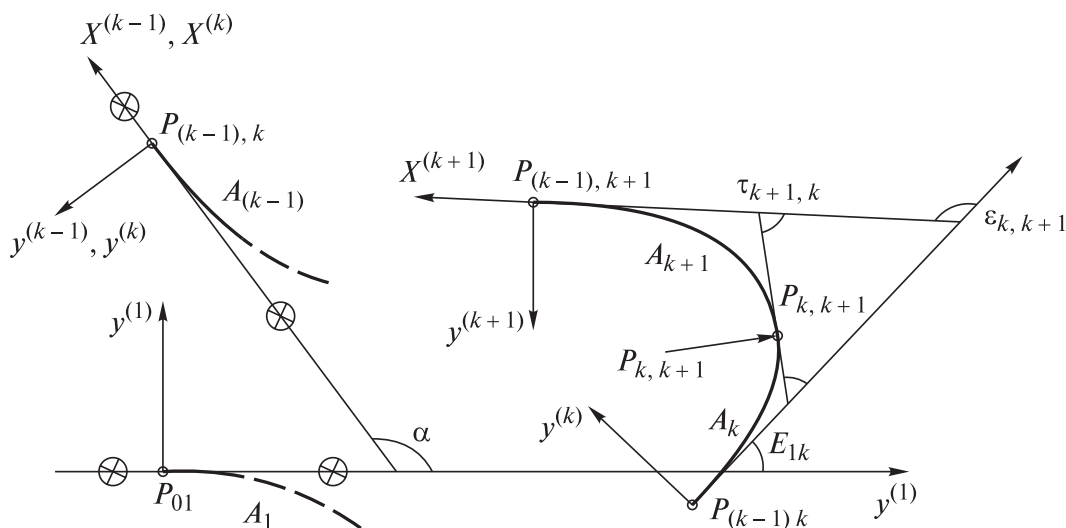


Рис. 4. Последовательность элементов между двумя фиксированными прямыми
 Fig. 4. The sequence of elements between two fixed straight lines

В работе [7] приведены основные принципы решения задач для различных типов блоков. Рассмотрим сначала последовательность элементов между двумя фиксированными прямыми, заданными, например, двумя фиксированными точками (рис. 4).

Для четвертого случая приводим определяющее уравнение

$$\alpha = \varepsilon_{1,k} = \varepsilon_{12} + \varepsilon_{23} + \varepsilon_{34} + \dots + \varepsilon_{k-1,k}. \quad (9)$$

Если, например, между двумя фиксированными прямыми имеется последовательность клотоид, где неизвестен только параметр $A_{\lambda v}$ при $v = 1, 2, \dots, n$ и задано:

$$m_v = \frac{A_{\lambda 1}^2}{A_{\lambda v}^2}, \quad v = 1, 2, \dots, n,$$

то получается

$$\alpha = \tau_{12} - \tau_{21} + \tau_{22} - \tau_{31} + \dots + \tau_{k-2,2} - \tau_{k-1,1}.$$

$$A = \frac{2\alpha - \sum_{\mu \neq \lambda, v} A_{\mu}^2 \left(\frac{1}{R_{\mu, \mu+1}^2} - \frac{1}{R_{\mu-1, \mu}^2} \right)}{\sum_{\mu = \lambda, v} \frac{1}{m_{\mu}} \left(\frac{1}{R_{\mu, \mu+1}^2} - \frac{1}{R_{\mu-1, \mu}^2} \right)}. \quad (10)$$

Если неизвестной является длина круговой кривой (k -го элемента), то поскольку $\tau_{k,1} = 0$, имеем

$$\alpha = \varepsilon_{1,k} + \tau_{k,2} - \tau_{k+1,1} + \varepsilon_{k+1,k},$$

следовательно

$$L_{k,k+1}^{(k)} = R_{k-1,k} \cdot (\alpha - \varepsilon_{1,k} + \tau_{k+1,1} - \varepsilon_{k+1,k}). \quad (11)$$

Если в общей последовательности элементов между двумя фиксированными прямыми неизвестным является радиус на стыке двух клотоид k и $k+1$, то его можно найти следующим образом:

$$\tau_{k,2} = \frac{A_k^2}{2R_{k,k+1}^2}; \quad \tau_{k+1,1} = \frac{A_{k+1}^2}{2R_{k,k+1}^2}; \quad \varepsilon_{k+1,k} = \tau_{k,2} - \tau_{k+1,1};$$

$$\beta = \alpha - (\varepsilon_{12} + \varepsilon_{23} + \dots + \varepsilon_{k-1,k} + \varepsilon_{k+1,k+2} \dots + \varepsilon_{k-1,k}) = \alpha - \varepsilon_{1,k} - \varepsilon_{k+1,k};$$

$$R_{k,k+1}^2 = \frac{A_k^2 - A_{k+1}^2}{2\beta}.$$

Если i -й элемент круговой кривой известной длины с неизвестным радиусом, то его значение определяют по выражению:

$$R_{i-1,i} = \frac{L_{i,i+1}^{(i)}}{\alpha - (\varepsilon_{1,i} - \tau_{i+1,1} + \varepsilon_{i+1,k})},$$

где

$$L_{i,i+1}^{(i)} = \tau_{i,2} \cdot R_{i-1,i}. \quad (12)$$

Рассмотрим теперь последовательность элементов между фиксированной прямой и фиксированной круговой кривой (рис. 5).

Определяющее уравнение в этом случае имеет вид

$$D = y_{Mk-1,k}^{(1)} = y_{Pk-1,k}^{(1)} + R_{k-1,k} \cdot \cos \varepsilon_{1,k} = y_{P01}^{(1)} + \sum_{\mu=1}^{k-1} \left\{ X_{\rho\mu, \mu+1}^{(\mu)} - X_{\rho\mu-1, \mu}^{(\mu)} \cdot \sin \varepsilon_{1, \mu} + \left[Y_{\rho\mu, \mu+1}^{(\mu)} - Y_{\rho\mu-1, \mu}^{(\mu)} \right] \cdot \cos \varepsilon_{1, \mu} \right\} + R_{k-1,k} \cdot \cos \varepsilon_{1,k}. \quad (13)$$

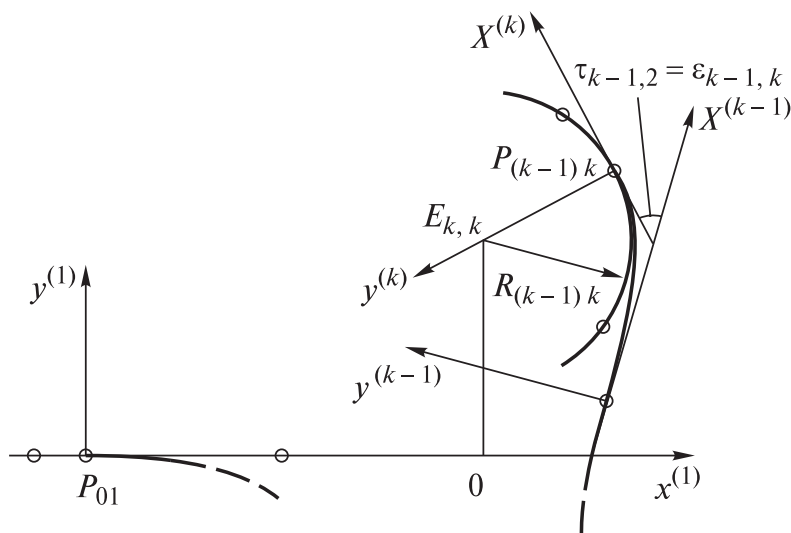


Рис. 5. Последовательность элементов между фиксированной прямой и фиксированной круговой кривой

Fig. 5. Sequence of elements between a fixed straight line and a fixed circular curve

Решение уравнения (13) осуществляется итеративным методом, в зависимости от составляющих элементов последовательности и неизвестных величин.

Для последовательности элементов между двумя фиксированными круговыми кривыми определяющее уравнение имеет вид

$$S = |Z_{Mk-1,k}^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}|$$

или

$$S^2 = (Z_{Mk-1,k}^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}) (\overline{Z_{Mk-1,k}^{(1)}} - \overline{Z_{M01}^{(1)}}). \quad (14)$$

Рассматриваемым методом предусмотрена возможность проложения рассматриваемой последовательности элементов трассы через фиксированные точки. Например, если между фиксированными элементами нужно включить общую последовательность элементов, *i*-й элемент которой является круговой кривой, и этот элемент нужно провести через фиксированную точку (рис. 6), то определяющие уравнения будут иметь вид

в случае, представленном на рис. 6, а:

$$\alpha = \varepsilon_{1,k}; D_1 = y_p^{(1)}; D_2 = y_p^{(k)}, \quad (15)$$

в случае, представленном на рис. 6, б:

$$D_1 = y_p^{(1)}; D_2 = |Z_p^{(k)} - Z_{Mk-1,k}^{(k)}|; \\ S = Y_{Mk-1,k}^{(1)}; \quad (16)$$

в случае, представленном на рис. 6, в:

$$D_1 = |Z_p^{(k)} - Z_{M01}^{(1)}|; D_2 = |Z_p^{(k)} - Z_{Mk-1,k}^{(k)}|; \\ S = D_2 = |Z_{M01}^{(1)} - Z_{Mk-1,k}^{(1)}|. \quad (17)$$

Данные уравнения решаются итеративными методами.

В работах [3, 6, 7, 9] представлена также возможность расчета последовательности элементов, из которой первый элемент фиксированный, а последний — должен проходить через одну фиксированную точку. В этом случае определяющие уравнения имеют вид

в случае круговой кривой (рис. 7, а):

$$S = |Z_p^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}| = |Z_{Pk,k+1}^{(1)} - Z_{M01}^{(1)}|, \quad (18)$$

в случае прямой (рис. 7, б):

$$D = y_p^{(1)} = y_{pk,k+1}^{(1)}. \quad (19)$$

Уравнения (18) и (19) решаются методами итераций с учетом конкретной последовательности элементов.

В работах [4, 5, 10] предлагается также возможность решения ряда частных случаев проектирования осей: параллельное смещение трассы в определенных точках (например, при переходе на раздельное трассирование по направлениям движения на дорогах первой категории), переломы касательных в главных точках и др.

Метод, изложенный в работах [11–21], признан лучшим в группе методов расчета однозначного определенной трассы.

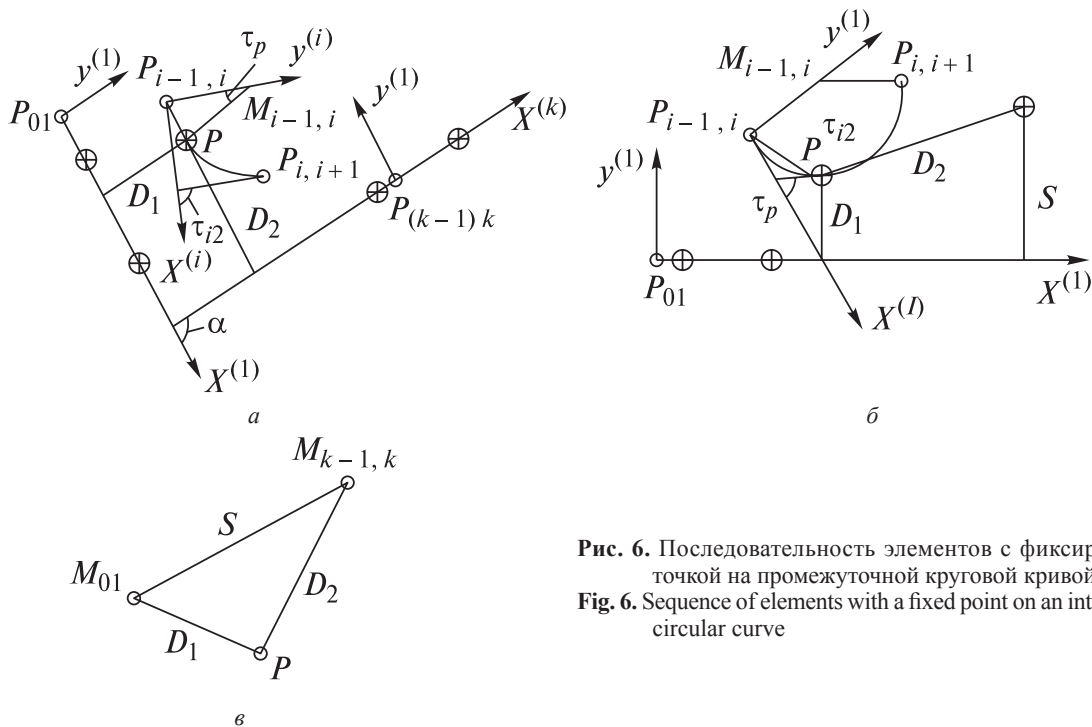


Рис. 6. Последовательность элементов с фиксированной точкой на промежуточной круговой кривой
 Fig. 6. Sequence of elements with a fixed point on an intermediate circular curve

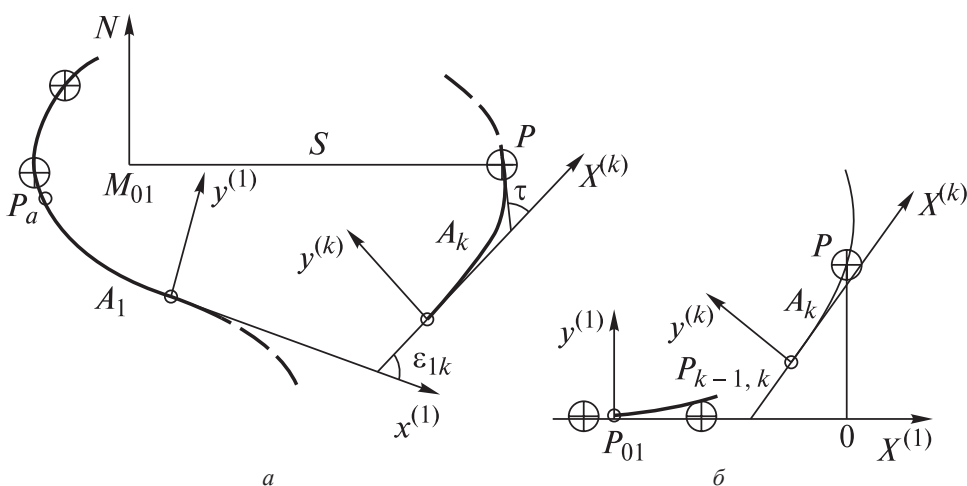


Рис. 7. Последовательность элементов с полуфиксированным последним элементом
 Fig. 7. Sequence of elements with a semi-fixed last element

Вместе с тем в нем есть следующие недостатки:

- в частности поблочный подход к расчету трассы вызывает избыточное применение методов итерации, что снижает эффективность решения задачи в целом;
- отсутствует контроль выполнения нормативных требований к геометрическим характеристикам элементов трассы лесовозной автомобильной дороги, получаемых в результате расчета, что может приводить к неудовлетворительным решениям;
- не учитываются особенности отечественной практики проектирования;
- использование математического аппарата комплексных переменных ограничивает возмож-

ность применения некоторых алгоритмических языков, что создает трудности при программной реализации.

Выводы

На основании анализа существующих отечественных и зарубежных методов проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог можно сделать ниже следующие выводы:

1. Трассирование — наиболее важный этап 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 трасс лесовозных автомобильных дорог с применением современных информационных технологий по материалам, полученным с беспилотных летательных аппаратов, или крупномасштабным топографическим планам в координатах.

2. Методы трассирования должны быть увязаны с принятой технологией проектирования. В свою очередь, и выбор метода, и технология должны зависеть от конкретных особенностей проектируемого объекта: природных условий, стадии проектирования, обеспеченности топографическими материалами и т. д. Этим обусловлено создание некоторых методов автоматизированного проектирования трасс:

а) основанных на расчете однозначно определенной трассы;

б) базирующихся на оптимизации трассы по технико-экономическим критериям.

3. В большинстве стран в практике проектирования лесовозных автомобильных дорог применяются только методы однозначного расчета осей. Они достаточно эффективно используются при вариантном проектировании трасс. Иногда (например, в стесненных условиях) эти методы незаменимы, что обуславливает разработку применительно к отечественным условиям метода опорных элементов.

4. Развитие средств информационных технологий в части автоматической регистрации координат с топографических материалов и беспилотных летательных аппаратов обусловило разработку методов, основанных на идеях сглаживания намеченной проектировщиком эскизной линии. Перспективным направлением следует считать сглаживание клотоидами, отрезками клотоид, круговыми кривыми и прямыми в соответствии с требованиями клотоидного трассирования, выполняемое с применением методов нелинейного математического программирования.

Список литературы

- [1] Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
- [2] Гулевский В.А., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Экспериментальная оценка сцепных качеств и ровности покрытий при различных состояниях автомобильных дорог и погодных условиях // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2018. Т. 11. № 1 (56). С. 112–118.
- [3] Иванов В.Н., Ерохов В.Н. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива // Автомобильные дороги, 2014. № 8. С. 10–13.
- [4] Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
- [5] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Зеликова Ю.А. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды // Лесотехнический журнал, 2018. Т. 8. № 2 (30). С. 156–168. DOI: 10.12737/article_5b240611858af4.37544962
- [6] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск: САФУ, 2017. 406 с.
- [7] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии, 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
- [8] Сильянов В.В., Ситников Ю.М. Расчет скоростей движения при проектировании автомобильных дорог // Тр. МАДИ, 1974. Вып. 72. С. 47–66.
- [9] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Чирков Е.В. Формирование модели проектирования системы «дорожные условия – транспортные потоки» и пути ее реализации // Лесоинженерное дело, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 100–111. DOI:10.12737/article_5ab0dfbebece23.91630316
- [10] Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
- [11] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // J. Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [12] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [13] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // J. Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [14] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [15] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 6. С. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [16] Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
- [17] Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ, 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.
- [18] Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии, 2017. № 3(35). С. 143–148.
- [19] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 6 (366). С. 117–127.
- [20] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-build-

ing machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the Int. Symp. «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019. С. 823–827.

[21] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science // Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings, 2000, pp. 325–332.

Сведения об авторах

Чирков Евгений Викторович — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Скрыпников Алексей Васильевич — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Козлов Вячеслав Геннадиевич — д-р техн. наук, заместитель декана по научной работе агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

Саблин Сергей Юрьевич — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Боровлев Антон Олегович — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Поступила в редакцию 25.07.2020.

Принята к публикации 20.08.2020.

METHODS FOR DESIGNING TRUCK HAULROADS BASED ON CALCULATION OF UNIQUELY DEFINED ROUTE

E.V. Chirkov¹, A.V. Skrypnikov¹, V.G. Kozlov², S.Yu. Sablin¹, A.O. Borovlev¹

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution avenue, 394036, Voronezh, Russia

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

skrypnikovvsafe@mail.ru

Currently, in Russia and abroad, many works are devoted to the study of design methods in the plan. Proposed several methods for alignment design of forest roads using information technologies, different objectives, ways of their solution, the nature of the geometric representation of the route and other features. The article discusses the main methods of designing logging roads based on the calculation of a uniquely defined route, which allows us to conclude that tracing is the most important stage of design and survey work, since it is the position of the route that determines the main technical and economic indicators of the projected road. This makes it necessary and expedient to conduct research and improve the technology and methods of computer-aided design of the route of logging roads using modern information technologies based on materials obtained from unmanned aerial vehicles or large-scale topographic plans in coordinates. Also, tracing methods should be linked to the accepted design technology. In turn, the choice of method and technology may depend on the specific features of the projected object: natural conditions, design stage, availability of topographic materials, etc.

Keywords: design method, route, road, clotoid, curved section

Suggested citation: Chirkov E.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Sablin S.Yu., Borovlev A.O. *Metody proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog, osnovannye na raschete odnoznachno opredelennoy trassy* [Methods for designing truck haulroads based on calculation of uniquely defined route]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 128–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-128-137

References

- [1] Babkov V.F. *Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya* [Road conditions and traffic safety]. Moscow: Transport, 1993, 271 p.
- [2] Gulevskiy V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Ehksperimental'naya otsenka stsepynykh kachestv i rovnosti pokrytiy pri razlichnykh sostoyaniyakh avtomobil'nykh dorog i pogodnykh usloviyakh* [Experimental evaluation of coupling properties and smoothness of coatings under various conditions of highways and weather conditions]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], 2018, v. 11, no. 1 (56), pp. 112–118.
- [3] Ivanov V.N., Erokhov V.N. *Vliyaniye parametrov avtomobil'nykh dorog na rashod topliva* [Influence of road parameters on fuel consumption]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile roads], 2014, no. 8, pp. 10–13.
- [4] Birulya A.K. *Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog* [Operation of highways]. Moscow: Transport, 1966, 326 p.

- [5] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Zelikova Yu.A. *Kompleksnyye eksperimental'nye issledovaniya izmeneniya parametrov i kharakteristik dorozhnykh usloviy, transportnykh potokov i rezhimov dvizheniya pod vliyaniem klimata i pogody* [Complex experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and modes of movement under the influence of climate and weather]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, v. 8, no. 2 (30), pp. 156–168. DOI: 10.12737 / article_5b240611858af4.37544962
- [6] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchedom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, Models and Algorithms for Designing Timber Highways Taking into Account the Effect of Climate and Weather on Traffic Conditions]. Dis. ... Dr. Sci. (Tech.). Arkhangel'sk: NArFU, 2017, 406 p.
- [7] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Improvement of the organization of road traffic in transport systems of the forestry complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management systems and information technologies], 2008, no. 3.2 (33), pp. 272–275.
- [8] Sil'yanov V.V., Sitnikov Yu.M. *Raschet skorostey dvizheniya pri proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Calculation of movement speeds in the design of highways]. *Trudy MADI* [Proceedings of MADI], 1974, iss. 72, pp. 47–66.
- [9] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Chirkov E.V. *Formirovanie modeli proektirovaniya sistemy «dorozhnye usloviya – transportnye potoki» i puti ee realizatsii* [Formation of a design model for the «road conditions – traffic flows» system and the ways of its implementation]. *Lesoinzhenernoye delo* [Forest engineering], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 100–111. DOI: 10.12737 / article_5ab0dfbe6e23.91630316
- [10] Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [The theory of traffic flows and their management]. Moscow: Transport, 2012, 424 p.
- [11] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *J. Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [12] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [13] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *J. Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [14] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Application of queuing theory in the design of highways]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [15] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Otsenka vliyaniya na skorost' dvizheniya postoyannykh parametrov plana i profilya pri razlichnykh sostoyaniyakh poverkhnosti dorogi* [Assessment of the impact on the speed of the constant parameters of the plan and profile in the various states of the road surface] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [16] Khomyak Ya.V. *Proektirovanie setey avtomobil'nykh dorog* [Road network design]. Moscow: Transport, 1983, 207 p.
- [17] Chernyshova E.V. *Algoritim resheniya zadachi optimal'nogo rassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti* [Algorithm for solving the problem of optimal tracing of a timber road on a heterogeneous terrain]. *Vestnik VSUIT*, 2017, t. 79, no. 2 (72), pp. 113–120.
- [18] Chernyshova E.V. *Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri rassirovanii lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Methods of forming a digital terrain model for tracing timber highways]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3 (35), pp. 143–148.
- [19] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A., Mogutnov R.V. *Teoreticheskie osnovy i metody matematicheskogo modelirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Theoretical foundations and methods of mathematical modeling of logging highways]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 6 (366), pp. 117–127.
- [20] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*, 2019. C. 823–827.
- [21] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science. *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325–332.

Authors' information

Chirkov Evgeniy Viktorovich — Candidate of the Department of information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Skrypnikov Aleksey Vasil'evich — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the Faculty of «Management and Informatics in technological systems» of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Kozlov Vyacheslav Gennadievich — Dr. Sci. (Tech.), Deputy Dean on scientific work of Agricultural engineering faculty of the Voronezh state agricultural University named after Emperor Peter I, vya-kozlov@yandex.ru

Sablin Sergey Yur'evich — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Borovlev Anton Olegovich — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Received 25.07.2020.

Accepted for publication 20.08.2020.