

## Проектирование клотоидной трассы путем аппроксимации последовательности точек с применением методов нелинейного программирования

Алексей В. Скрыпников<sup>1</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru  
Евгений В. Быстрянец<sup>1</sup>  
Виктор С. Логойда<sup>2</sup>  
Елена В. Чернышова<sup>1</sup> elenabok@mail.ru

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

<sup>2</sup> ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

**Реферат.** В работе приведена общая технология проектирования трассы лесной автомобильной дороги в пространстве и обоснование выбора наиболее эффективного для конкретных условий метода. Опыт проектирования трассы с использованием метода опорных элементов показал его высокую эффективность, одновременно с этим выявились возможности дальнейшего совершенствования процесса автоматизированного проектирования с целью полного устранения этапа графической проработки трассы и автоматического учета всех требований, предъявляемых к ней. Для реализации этих возможностей проведено исследование вопросов проектирования клотоидной трассы путем аппроксимации последовательности точек эскизной линии с применением методов нелинейного программирования (сокращенное название – метод аппроксимации последовательности точек). Идея заключается в том, чтобы путем соответствующей обработки на компьютере математической модели эскизной линии определить положение и все геометрические характеристики клотоидной трассы, отвечающей требованиям, предъявляемым к ней. При этом трасса должна наилучшим образом аппроксимировать заданную эскизную линию, т.е. геометрически неправильную приближенную трассу. Эскизная линия может получаться автоматически, например, с использованием метода проектирования оптимальной «цепочечной» трассы или может быть намечена проектировщиком по материалам аэрофотосъемки или топографическим планам, исходя из экономических и других соображений, и с помощью автоматических регистраторов координат введена в память ЭВМ.

**Ключевые слова:** проектирование дорог, моделирование, нелинейное программирование

## Designing a clotoid path by approximating a sequence of points using nonlinear programming methods

Alexey V. Skrypnikov<sup>1</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru  
Evgeni V. Bystryantsev<sup>1</sup>  
Victor S. Logoyda<sup>2</sup>  
Elena V. Chernyshova<sup>1</sup> elenabok@mail.ru

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

<sup>2</sup> Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russia

**Summary.** The paper shows the general technology for designing a forest road route in space and the rationale for choosing the most effective method for specific conditions. The experience of designing the track using the method of supporting elements showed its high efficiency, at the same time the opportunities for further improvement of the automated design process were revealed with the aim of completely eliminating the stage of graphic processing of the route and automatically recording all the requirements presented to it. To realize these possibilities, a study of the design of the clothoid route was carried out by approximating a sequence of points in the sketch line using nonlinear programming methods (abbreviated name is the method of approximation of a sequence of points). The idea is to determine the position and all the geometric characteristics of the clotoid path, corresponding to the requirements for it, by corresponding processing on the computer of the mathematical model of the sketch line. In this case, the trace should best approximate the specified sketch line, i.e. Geometrically incorrect approximate route. The sketch line can be obtained automatically, for example, using the method of designing the optimal "chain" route, or it can be scheduled by the designer using aerial photography materials or topographic plans, based on economic and other considerations, and entered into the computer's memory using automatic coordinate recorder.

**Keywords:** road design, modeling, non-linear programming

### Введение

Суть метода проектирования трассы путем аппроксимации последовательности точек заключается в том, чтобы путем соответствующей обработки на компьютере математической модели эскизной линии (рисунок 1) определить положение и все геометрические характеристики клотоидной трассы, отвечающей требованиям, предъявляемым к ней. При этом трасса должна наилучшим образом аппроксимировать заданную

эскизную линию, т. е. геометрически неправильную приближенную трассу. Эскизная линия может получаться автоматически, например, с использованием метода проектирования оптимальной «цепочечной» трассы или может быть намечена проектировщиком по материалам аэрофотосъемки или топографическим планам, исходя из экономических и других соображений, и с помощью автоматических регистраторов координат введена в память ЭВМ.

Для цитирования

Скрыпников А.В., Быстрянец Е.В., Логойда В.С., Чернышова Е.В. Проектирование клотоидной трассы путем аппроксимации последовательности точек с применением методов нелинейного программирования // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2. С. 88–93. doi:10.20914/2310-1202-2017-2-88-93

For citation

Lastname F. S., Lastname F.S., Lastname A S., Lastname F. S. Designing a clotoid path by approximating a sequence of points using nonlinear programming methods. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 2. pp. 88–93. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-2-88-93

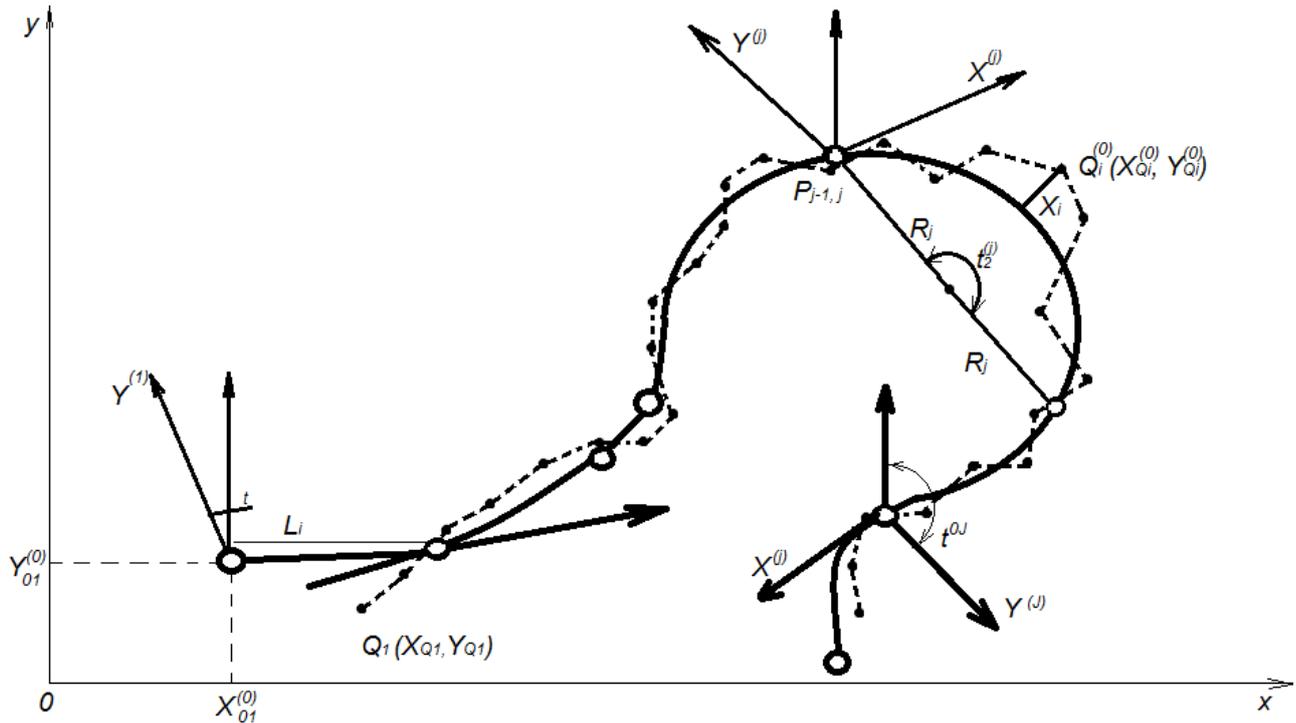


Рисунок 1. Расчетная схема метода аппроксимации последовательности точек: пунктирная линия – эскизная линия, сплошная линия – клотоидная трасса

Figure 1. Calculation scheme of the method of approximation of a sequence of points: a dashed line – a sketch line, a solid line – a clothoid trace

Проектируемая трасса состоит из отдельных элементов: клотоид, отрезков клотоид, круговых и прямых, соответствующим образом соединенных между собой. В целях удобства сопоставления метода аппроксимации последовательности точек с методом сглаживания эскизной линии трассы, предложенным в работе [1], принятые условные обозначения, по возможности, унифицированы:  $j$  – индекс, указывающий номер элемента трассы ( $j = 1, 2, \dots, J$ );  $i$  – индекс, указывающий номер точки ( $i = 1, 2, \dots, I$ );  $X^{(0)}, Y^{(0)}$  – координаты в общей системе  $XOY$ ;  $X^{(i)}, Y^{(i)}$  – координаты, в  $i$ -той частной системе;  $P_1^{(0)}(X_{1i}^{(0)}, Y_{1i}^{(0)}), P_2^{(0)}(X_{2i}^{(0)}, Y_{2i}^{(0)})$  – соответственно начальная и конечная точки  $i$ -го элемента в общей системе координат;  $\tau_{1i}^{(0)}, \tau_{2i}^{(0)}$  – угол, наклона касательной в начальной и конечной точке  $i$ -го элемента относительно общей системы координат;  $Q_i^{(0)}(X_{Qi}^{(0)}, Y_{Qi}^{(0)})$  – точка  $i$ -го элемента в общей системе координат;  $\tau_{Qi}^{(0)}$  – угол наклона касательной в точке  $Q_i^{(0)}$  относительно общей системы координат;  $P_{i,i+1}^{(0)}(X_{i,i+1}^{(0)}, Y_{i,i+1}^{(0)})$  –

точка стыка  $j$ -го и  $(j + 1)$ -го элементов в общей системе координат;  $\tau^{oi}$  – угол поворота  $j$ -ой системы относительно общей системы координат;  $A_j, R_{1j}, R_{2j}, L_j$  – параметр клотоиды, радиус в начале и конце элемента, длина  $j$ -го элемента;  $z_i$  – отклонение трассы от  $i$ -той точки;  $V_{xi}, V_{yi}$  – соответствующие проекции  $Z_i$  на оси  $X^{(0)}$  и  $Y^{(0)}$ ;  $V$  – вектор проекций отклонений  $V = [V_{x1}, V_{y1}, \dots, V_{xi}, V_{yi}]$ .

Индекс  $N$  используется для приближенных значений величин.

Для геометрических характеристик распространяется правило знаков. В методе аппроксимации последовательности точек принято отличное от метода опорных элементов правило назначения частных систем координат для каждого элемента трассы, что обусловлено специфическими особенностями метода. Начало каждой  $i$ -ой частной системы координат совпадает с начальной точкой  $j$ -го элемента, а ось  $X^{(i)}$  совпадает с касательной в начальной точке  $j$ -го элемента и направлена по ходу расчета (рисунок 2)

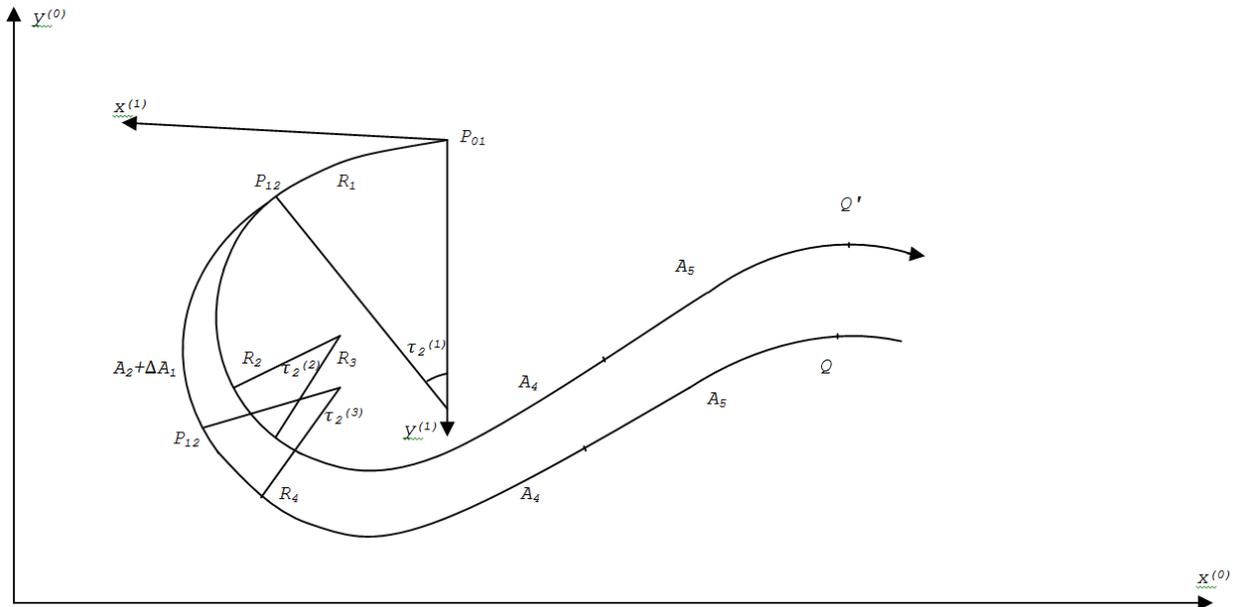


Рисунок 2. К выводу линейризованных уравнений отклонений оси  
 Figure 2. The derivation of the linearized equations of the deviations of the axis

В отличие от метода опорных элементов метод аппроксимации последовательности точек предусматривает задание избыточного количества точек. В общем случае, через все заданные точки не может быть проведена удовлетворительная трасса, поэтому задаваемые точки эскизной линии рассматриваются лишь как «приближение» точки, около которых должна пройти ось проектируемой дороги, а задача относится к классу условно-экстремальных.

На основе проведенного анализа выявлена целесообразность решения поставленной задачи с использованием методов математического программирования. Для этого необходимо:

- систематизировать требования к геометрии трассы и представить их в виде соответствующих ограничивающих условий;
- исследовать целевую функцию и выбрать класс возможных методов для решения данной задачи;
- разработать методику проектирования трассы.

**Основная часть**

В качестве основных переменных при проектировании трассы по методу аппроксимации последовательности точек с учетом анализа работы [2] приняты:  $\Delta X_{01}^{(0)}$ ,  $\Delta Y_{01}^{(0)}$  – приращение координат начала трассы;  $\Delta \tau^{01}$  – приращение угла поворота частной системы первого элемента относительно общей системы;  $\Delta \tau$  – изменение центрального угла круговых кривых (1 элемент);  $\Delta L$  – изменение длины прямых ( $m$  элемент);  $\Delta R$  – изменение радиуса круговых кривых ( $n$  элемент);  $\Delta A$  – изменение параметра клотоид ( $p$  элемент).

Одно из основных требований, предъявляемых к проектируемой трассе лесной автомобильной дороге, необходимость обеспечения ее непрерывности и плавности. Они соблюдаются в пределах элементов трассы: клотоид, круговых кривых и прямых. Дополнительно необходимо, чтобы в точках стыка элементов координаты  $X_{1j}^{(0)}$  и  $Y_{1j}^{(0)}$  и направление касательной  $\tau_{1j}^{(0)}$  в начале последующего ( $i$ -го) элемента точно соответствовали координатам  $X_{2(j-1)}^{(0)}$  и  $Y_{2(j-1)}^{(0)}$  и направлению касательной  $\tau_{2(j-1)}^{(0)}$  в конце предыдущего ( $i-1$ ) элемента:

$$\begin{aligned} X_{1i}^{(0)} &= X_{2(i-1)}^{(0)} \\ Y_{1i}^{(0)} &= Y_{2(i-1)}^{(0)} \\ \tau_{1i}^{(0)} &= \tau_{2(i-1)}^{(0)} \end{aligned} \tag{1}$$

При радиусах закруглений меньше определенной величины (обычно 2000 м) трасса должна также удовлетворять требованиям второго порядка плавности, то есть в главных точках смежные элементы должны иметь одинаковые радиусы закругления, направленные в одну сторону:

$$R_{1i} = R_{2(i-1)} \tag{2}$$

Требования (1) и (2) учтены при формализации функции цели. В случае использования существующих мостов или других сооружений, на примыканиях к уже построенным или ранее запроектированным участкам дороги, а также при корректировке промежуточных участков проектируемой трассы может возникнуть необходимость обеспечить прохождение расчетной трассы через заранее определенные фиксированные точки,

в заданном направлении и с заранее установленным радиусом кривизны в данной точке.

В работе [3] для этой цели предлагается ввести ограничения величин  $V_i$  и  $\tau_Q^{(0)}$ :

$$t_{1i} \leq V_i \leq t_{2i} \quad (3)$$

где  $t_{1i}$ ,  $t_{2i}$  – соответственно нижняя и верхняя границы проекции отклонения  $i$ -ой точки;

$$\tau_1 \leq \tau_Q^{(0)} \leq \tau_2 \quad (4)$$

где  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – соответственно нижняя и верхняя границы  $\tau_Q^{(0)}$ . Точке примыкания задается как одна из точек эскизной линии трассы.

Для случая, когда точка  $Q$  находится на  $k$ -том элементе, имеем:

$$\tau_Q^{(0)} = \tau^{0i} + \sum_{j=2}^k (\tau_2^{(j-1)} - \tau_1^{(j)}) + \tau_Q^{(k)} \quad (5)$$

Если в качестве неизвестных приняты  $\Delta\tau^{0i}$ ,  $\Delta\tau_2^{(j)}$ ,  $\Delta\tau_1^{(i)}$ ,  $\Delta\tau_Q^{(i)}$ , то (5) можно представить в виде:

$$\tau_Q^{(0)} = \tau^{0i} + \tau_{QN}^{(0)} + \sum_{j=2}^k (\Delta\tau_2^{(j-1)} \Delta\tau_1^{(i)}) + \Delta\tau_Q^{(k)}$$

Для определения  $\Delta\tau_2^{(j)}$ ,  $\Delta\tau_1^{(i)}$ ,  $\Delta\tau_Q^{(k)}$  в [4] приведены формулы в зависимости от сочетания смежных элементов и от типа  $k$ -го элемента.

Вследствие значительных сложностей, связанных с учетом ограничений вида (3) и (4), в одном из вариантов программ, реализующих метод аппроксимации последовательности точек, принято решение обеспечивать условия примыкания в конце проектируемого участка трассы путем введения на участке примыкания 3-х точек с большими весами  $P_i$ . Это обеспечивает близкое, но не строгое, решение в узле примыкания. Окончательная увязка может быть выполнена по методу опорных элементов.

Часто бывает необходимо ограничить зону варьирования трассы, что может быть вызвано целесообразностью обхода различных препятствий или зон, где проложение дороги связано с существенным удорожанием строительства (оползней, осыпей, затопляемых участков и т. п.). Эти требования могут быть удовлетворены путем введения ограничений, устанавливающих допуски отклонения расчетной трассы от точек эскизной линии в поперечном направлении к трассе. Данные ограничения могут быть представлены в виде неравенства:

$$Z_{\min i} \leq Z_i \leq Z_{\max i} \quad (7)$$

Такая форма представления ограничений удобна тем, что позволяет задавать как симметричные, так и несимметричные зоны варьирования.

Для связи с редакцией: post@vestnik-vsuet.ru

Из условия обеспечения безопасности и удобства движения на закруглениях абсолютные величины радиусов кривых в плане  $|R_i|$  не должна быть менее минимально допустимых  $R_{\min}$ , установленных в зависимости от расчетной скорости по СНиП 5-72 или соответствующими расчетами:

$$R_{\min} \leq |R_i|, (R_{\min} > 0) \quad (8)$$

Так как поиск осуществляется в пределах обусловленной начальным приближением последовательности элементов трассы, то знак радиуса при оптимизации не меняется, следовательно, разобщенности допустимой области не будет и ограничения в соответствии с работой [5] можно представить в виде:

$$-sign(R_i) \times \Delta R_j \leq -R_{\min} + |R_i| \quad (9)$$

Аналогичный характер имеют ограничения величины параметров клотоид:

$$A_{\min} \leq |A_i|, (A_{\min} > 0) \\ -sign(A_i) \times \Delta A_j \leq -A_{\min} + |A_i| \quad (10)$$

где  $A_{\min}$  – минимально допустимый параметр клотоиды.

В ряде случаев возникает необходимость ограничивать длину элемента, что обеспечивается двусторонним неравенством вида:

$$L_{\min i} \leq L_i \leq L_{\max i} \quad (11)$$

где  $L_{\min i}$ ;  $L_{\max i}$  – нижняя и верхняя границы  $L_i$ .

Ограничения для прямолинейных элементов трассы с переменной длиной приобретают вид:

$$L_{\min} - L_i \leq \Delta L_i \leq L_{\max} - L_i \quad (12)$$

Для круговой кривой с переменным центральным углом используются ограничения вида:

$$\tau_{2\min}^{(i)} - \tau_2^{(i)} \leq \Delta\tau_2^{(i)} \leq \tau_{2\max}^{(i)} - \tau_2^{(i)} \quad (13)$$

где  $\tau_{2\min}^{(i)}$ ,  $\tau_{2\max}^{(i)}$  – нижняя и верхняя границы  $\tau_2^{(i)}$ .

В [5] на основании исследований и опыта эксплуатации дорог, запроектированных по принципам клотоидного трассирования, предложен ряд рекомендаций для назначения геометрических характеристик элементов трассы. Так, например, в целях улучшения зрительной плавности дороги рекомендуется, чтобы величины параметров  $A$  переходных кривых находились в пределах от  $0,4 R$  до  $1,4 R$ . В общем виде для случая, когда  $i$ -ый элемент – круговая кривая, а  $(i + 1)$  – клотоида:

$$d_{1i} \leq \frac{A_{i+1}}{R_i} \leq d_{2i} \quad (14)$$

где  $d_{1i}$ ;  $d_{2i}$  – нижняя и верхняя границы  $\frac{A_{i+1}}{R_i}$ .

Соотношение параметров смежных клотоид на обратных закруглениях должно быть в пределах:

$$\frac{1}{1,5} \leq \frac{A_i}{A_{i+1}} \leq 1,5$$

Или в общем виде:

$$d_{3i} \leq \frac{A_i}{A_{i+1}} \leq d_{4i} \quad (15)$$

где  $d_{3i}$ ;  $d_{4i}$  – нижняя и верхняя границы  $\frac{A_i}{A_{i+1}}$ .

Используя первые два члена разложения в ряд Тейлора для функций двух переменных как это предложено в работе [5] и, принимая во внимание, что для смежных круговой кривой и клотоиды  $\text{sign } R_i = \text{sign } A_{i+1}$ , имеем:

$$\frac{1}{A_{i+1}} \times \Delta R_j - \frac{R_i}{A_{i+1}^2} \times \Delta A_{i+1} \leq d_{2i} - \frac{R_i}{A_{i+1}} \quad (16)$$

$$-\frac{1}{A_{i+1}} \times \Delta R_j - \frac{R_i}{A_{i+1}^2} \times \Delta A_{i+1} \leq -d_{1i} - \frac{R_i}{A_{i+1}} \quad (17)$$

Аналогичны для (15), принимая во внимание, что  $\text{sign } A_i \neq \text{sign } A_{i+1}$  имеем:

$$-\frac{1}{A_{i+1}} \times \Delta A_j + \frac{A_i}{A_{i+1}^2} \times \Delta A_{i+1} \leq d_{4i} - \frac{A_i}{A_{i+1}} \quad (18)$$

$$\frac{1}{A_{i+1}} \times \Delta A_j - \frac{A_i}{A_{i+1}^2} \times \Delta A_{i+1} \leq -d_{3i} - \frac{A_i}{A_{i+1}} \quad (19)$$

Рекомендуется [4], чтобы радиусы круговых кривых, сопрягаемых S-образными клотоидами, отличались друг от друга по абсолютной величине не более чем в 3 раза, или в общем виде:

$$d_{5i} \leq \frac{-R_i}{R_{i+1}} \leq d_{6i} \quad (20)$$

Используя разложение в ряд Тейлора, получаем:

$$-\frac{1}{R_{i-3}} \times \Delta R_j + \frac{R_i}{R_{i-3}^2} \times \Delta R_{i-3} \leq d_{6i} + \frac{R_i}{R_{i-3}} \quad (21)$$

$$\frac{1}{R_{i-3}} \times \Delta R_j - \frac{R_i}{R_{i-3}^2} \times \Delta R_{i-3} \leq -d_{3i} - \frac{R_i}{R_{i-3}} \quad (22)$$

С учетом вышеотмеченного, требования к геометрическим характеристикам и положению трассы могут быть учтены с помощью системы линейных неравенств вида:

$$\begin{aligned} b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1m}x_m &\leq d_1 \\ b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2m}x_m &\leq d_2 \\ &\dots \\ b_{n1}x_1 + b_{n2}x_2 + \dots + b_{nm}x_m &\leq d_n \end{aligned} \quad (23)$$

где  $m$  – число переменных;  $n$  – число ограничений.

В матричной форме эта система принимает вид:

$$BX \leq D \quad (24)$$

Предусмотрено несколько способов получения информации об эскизной линии трассы, объем которой довольно велик (до 2000 шестизначных чисел). Хотя обычно для получения ее используются автоматические регистраторы данных, возможность ошибок не исключена [6, 7]. Поэтому в системе реализован программный контроль информации, позволяющий обнаружить грубые ошибки путем анализа углов  $\varphi_i$  между смежными отрезками эскизной линии.

В автоматическом режиме ошибочные точки исключаются из массива в оперативной памяти и из файлов. При работе в диалоговом режиме с кодом 2 предусмотрена возможность просмотра и корректировки данных об эскизной линии трассы и всей информации, связанной с ней.

Параметром диалоговой функции является номер точки эскизной линии, с которой начинается очередная «страница» (формат экрана). Одновременно на экране размещается информация о десяти точках. В стандартном режиме просмотр осуществляется последовательно от начала до конца сегмента, при этом параметр формируется программно и проектировщик только меняет «страницы» нажатием клавиш «ВВ». При выборочном просмотре или необходимости возврата назад следует на экране указать номер точки, с которой должна начинаться очередная «страница» (формат экрана).

Предусмотрены различные корректировочные средства:

- а) замена содержимого массивов;
- б) добавление точек;
- в) удаление точек и др.

Возможны различные способы формирования исходного приближения для проектирования трассы по методу аппроксимации последовательности точек.

Используя диалоговую функцию с кодом 3, можно осуществлять просмотр и корректировку исходного приближения.

На экране можно выполнить корректировки вида:

- а) замена геометрических характеристик элементов трассы;
- б) удаление и добавление элементов.

В процессе работы блока оптимизации выполняется аппроксимация эскизной линии элементами трассы в пределах первоначально заданной последовательности, то есть меняются только величины геометрических характеристик элементов, но не их количество и тип. Вместе с тем независимо от способа формирования исходного приближения, довольно часто появляется необходимость просматривать варианты проектируемой трассы, отличающиеся последовательностью элементов.

### ЛИТЕРАТУРА

1 Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Ермоленко В.В. Концепция построения компьютерных баз по физическим эффектам // Автоматизация. Современные технологии – ежемесячный межотраслевой научно-технический журнал, 2016. № 11. с. 16–20.

2 Demers A.J. Epidemic Algorithms for Replicated Database Maintenance // ACM Symp. Principles of Distributed Computing, ACM Press, 1987. pp. 5–12.

3 Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Ширинкин Н.В., Стукалов Р.В. Исследование задач проектирования комплексного технического обеспечения и обобщенная модель их решения // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 4(66). С. 93–98.

4 Гусев Ю.В., Капустин В.П., Логойда В.С., Чернышова Е.В. Моделирование процессов формирования множества условных таксонов и оптимизация объединения запросов пользователей // Материалы II международной научно-практической конференции «Стандартизация, управление качеством и обеспечение информационной безопасности в перерабатывающих отраслях АПК и машиностроении». Воронеж, ВГУИТ, с. 456–465

5 Six J. Application Security for the Android Platform. Processes, Permissions, and Other Safeguards. CA, O'Reilly Media, 2011. 2p.

6 Funke J., Gerdes J. C. Simple clothoid paths for autonomous vehicle lane changes at the limits of handling // Proc. ASME Dyn. Syst. Control Conf. 2013. C. V003T47A003.

7 Brezak M., Petrovic I. Real-time approximation of clothoids with bounded error for path planning

applications // IEEE Transactions on Robotics. 2014. T. 30. №. 2. С. 507-515.

### REFERENCES

1 Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Ermolenko V.V. The concept of building computer databases on physical effects. [Automation. Modern technologies – a monthly interdisciplinary scientific and technical journal], 2016. no. 11. pp. 16–20.

2 Demers A.J. Epidemic Algorithms for Replicated Database Maintenance. *ACM Symp. Principles of Distributed Computing*, ACM Press, 1987. pp. 5–12.

3 Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Shirinkin N.V., Stukalov R.V. Investigation of problems of designing of complex technical support and generalized model of their solution. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 4 (66). pp. 93–98.

4 Gusev Yu.V., Kapustin V.P., Logoyda V.S., Chernyshova E.V. Modeling the processes of formation of a set of conditional taxa and optimization of combining user requests. Materials of the II International Scientific and Practical Conference "Standardization, Quality Management and Information Security in the Processing Industries of the Agroindustrial Complex and Mechanical Engineering". Voronezh, VSUET, pp. 456–465

5 Six J. Application Security for the Android Platform. Processes, Permissions, and Other Safeguards. CA, O'Reilly Media, 2011. 2p.

6 Funke J., Gerdes J. C. Simple clothoid paths for autonomous vehicle lane changes at the limits of handling. *Proc. ASME Dyn. Syst. Control Conf.* 2013. pp. V003T47A003.

7 Brezak M., Petrovic I. Real-time approximation of clothoids with bounded error for path planning applications. *IEEE Transactions on Robotics.* 2014. vol. 30. no. 2. pp. 507-515.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алексей В. Скрыпников** д.т.н., профессор, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Евгений В. Быстрынец** соискатель, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

**Виктор С. Логойда** должность, кафедра, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия,

**Елена В. Чернышова** аспирант, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elenabok@mail.ru

### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 06.04.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.05.2017

### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Alexey V. Skrypnikov** doctor of technical sciences, professor, information security department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Evgeni V. Bystryantsev** applicant, information security department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,

**Victor S. Logoyda** должность, кафедра, Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russia,

**Elena V. Chernyshova** graduate student, information security department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elenabok@mail.ru

### CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.6.2017

ACCEPTED 5.19.2017