



## Особенности построения графа автомобильных дорог для большегрузного транспорта

© Владимир Иванович Мартьянов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,  
martvliv@mail.ru

**Аннотация.** Цель – перестройка графа (трассы) автомобильной дороги для улучшения эксплуатационных качеств участков автомобильной дороги, приведения к нормативным требованиям для большегрузного транспорта, перестройки аварийноопасных участков без проведения дорогостоящих геодезических обследований, но на основании результатов современных систем сбора данных по объектам дорожного хозяйства. В статье разработаны методы построения цифровой предварительной траектории автотрассы с использованием баз данных, основанных на отношениях, и алгоритмы, реализующие такие подходы по данным видеопаспортизации. Результатом является построение проекта эскизного графа автомобильной дороги, удовлетворяющего действующим нормативным документам, включая учет уровня удерживающей способности ограждений для большегрузного транспорта. В качестве основного вывода можно отметить, что если цифровая экономика РФ будет иметь отраслевые и региональные базы данных автомобильного дорожного хозяйства, пополняемые результатами современных систем сбора данных по объектам, то будет возможным решение задач предварительного построения графа автомобильных дорог для большегрузного транспорта без проведения дорогостоящих геодезических обследований.

**Ключевые слова:** построение цифровой модели трассы автомобильной дороги, база данных, схематический план, вычислительная геометрия, логическое программирование, распознавание ситуаций, аппроксимация ломанными

**Для цитирования:** Мартьянов В. И. Особенности построения графа автомобильных дорог для большегрузного транспорта // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2. С. 182–189. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-182-189>.

### Original article

## Constructing alignment charts of heavy transport highways

Vladimir I. Martyanov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, martvliv@mail.ru

**Abstract.** The study is aimed at improving highway alignment charts in order to improve the operating characteristics of highway sections, adapt them to regulatory requirements for heavy transport and reconstruct accident-prone sections based on information produced by state-of-the-art data collection systems for road objects without costly geodetic surveys. The article presents methods for constructing a digital preliminary trajectory of a highway using relationship databases and algorithms that implement these approaches according to data from video certification. As a result, a preliminary highway alignment chart that meets current regulatory documents is developed, including the impact severity of fences for heavy transport. It is noted that the problems of constructing preliminary alignment charts of highways for heavy transport in Russia could be solved without conducting costly geodetic surveys, but relying on digital trade and regional databases of road facilities, which are permanently updated by state-of-the-art data collection systems for road objects.

**Keywords:** construction of a digital model of a highway route, database, schematic plan, computational geometry, logical programming, situation recognition, polyline approximation

**For citation:** Martyanov V. I. Constructing alignment charts of heavy transport highways. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(2):182-189. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-182-189>.

## Введение

Схематический план автодороги [1] является 3D-линией, составленной из следующих элементов: отрезков прямой, переходных кривых (клотоид), отрезков окружностей, удовлетворяющих ограничениям нормативных документов на геометрические параметры СП 34.13330.2021.

В данном исследовании изучаются вопросы генерации трассы автодороги на цифровой топооснове как NP-трудной задачи [2–7], при этом предполагается, что имеются минимальный шаг (длина элемента) и минимальный угол поворота следующего элемента в горизонтальной и вертикальной плоскостях (организация перебора при построении схематического плана автодороги из точки  $X$  в точку  $Y$ ).

Считаем, что поверхность задана значениями высот на нерегулярной сетке. Следует отметить, что такое задание поверхности делает невозможным применение методов традиционной математики (отсутствует плоскость и трасса на ней) и не работают основные градиентные методы.

Настоящая статья использует подходы, предложенные в работах [8–11], но ограничения на генерируемый схематический план значительно сложнее из-за учета для частей автомобильной дороги условий рельефа местности, где будут установлены удерживающие ограждения, которые должны удовлетворять нормативным требованиям.

## Методы

### Общая схема построения модели эскизной трассы

Необходимо построить множество элементов  $T = \{(T_j, T_{j+1}) | j = 0, k + 1\}$ , где  $T_j$  – элемент цифровой модели;  $k$  – мощность множества  $T$ , с возможным отклонением не более  $e_{approx}$  и генерацией хранилища элементов  $T$ .

Элементы множества  $T$  в дальнейшем будем называть объектами, которые способны записать фрагменты трехмерной линии  $W$  с координатами  $M = \{(x_j, y_j)\}$  трассы, где  $j = 0, k + 1$ .

### Проект базы данных: организация и технические решения

База данных организуется для мониторинга и выработки рекомендаций для автодорожной отрасли региона [3, 8–11]. Для этого необходимо, чтобы программное обеспечение имело точные данные о характеристиках объектов из тех или иных хранилищ данных. Так как разные хранилища информации предоставляют различные данные по дорогам, то имеет место вопрос организации информации в БД в наиболее полной, просто обобщаемой форме. Обычно данные об автодорогах организованы таблицами, которые представлены нижеприведенным способом (табл. 1): строки содержат данные по объекту, а ячейки – атрибутивные характеристики объекта.

Как видно из табл. 2, любым значениям иерархического классификатора данных (ИКД) соответствует единственная строка. Непротиворечивость данных поддерживается программными модулями комплекса.

Ревизии данных объектов приведены в табл. 3, 4. Такая организация данных позволяет формировать изменение данных по частям автодорог, что представлено в табл. 5.

**Таблица 1.** Представление атрибутики данных

**Table 1.** Data Attribute Representation

Идентификатор	Атрибут 1	Атрибут 2	Атрибут 3
01011	122	31.01.2022	Объяснение строки 1
01022	155	01.11.2022	Объяснение строки 2

**Таблица 2.** Представление атрибутики по значениям

**Table 2.** Representation of attributes by values

ИИО	ИКД	ЗНАЧ	
01011	01010011	122	
01011	01010022		01.11.2022
01011	01010032		Комментарий к строке 1
01021	01010012	155	

### Примечания:

Идентификатор иерархического объекта (ИИО) – ОИИ – Object Hierarchy Identification.

Классификатор иерархический данных (ИКД) – ДИИ – Data Hierarchy Classification.

Значение (ЗНАЧ) – ВАЛ – Value.

**Результаты и их обсуждение**

Использование соответствующих изменений значений полезно, так как позволяет применять готовые, типичные способы организации объектов, порожденных стандартными представлениями.

Перечислим главные части хранилища, определяющие компьютерную траекторию автодороги:

1. Классификаторы объектов.
2. Идентификаторы частей, составляющих траекторию.
3. Характеристики фрагментов в древовидной форме.

4. Последовательность сегментов.

Данная структура дает возможность организовывать компьютерную траекторию автодороги с произвольным множеством частей.

Покажем это для части траектории.

Табл. 6 используется при внесении изменений в нормативы по календарным датам, в табл. 7 используется: размер участка, угол входа; угол выхода из кривой, диаметр на входе. Условия на удерживающие ограждения, которые должны удовлетворять нормативным требованиям, будем задавать в табл. 8.

**Таблица 3. Ревизии объектов**

**Table 3. Object revisions**

Идентификатор	Ревизия	Дата 1	Дата 2
01011	1	01.01.2012	Null
01021	1	01.12.2013	01.11.2016
01022	2	01.30.2018	Null

**Таблица 4. Ревизии свойств объектов**

**Table 4. Object property revisions**

Идентификатор	Свойство	Ревизия 1	Ревизия 2	ЗНАЧ
0101	0101001	1	0	10
0102	0101001	1	2	11
0102	0101001	2	0	12

**Таблица 5. Ревизии участков дорог**

**Table 5. Revisions of road sections**

№ участка	№ дороги	№ данных	Начало	Конец	Ссылка	Значение	Ревизия	№ оператора	Дата ревизии
9	510	7	0	90	457	102	1	3	21.03.2021

**Таблица 6. Атрибутика**

**Table 6. Paraphernalia**

HOI	HDC	Дата	Значение
00	1101	01.01.0000	230.768
11	1102	01.02.0000	286.009
22	1103	01.03.0000	19.000
33	1104	01.06.0000	315.000

**Таблица 7. Классификация**

**Table 7. Classification**

HDC	ТИТУЛ
1101	Length1
1102	Ang3
1103	Ang4
1104	Radius2

Степени укрепляющей возможности ограждений устанавливаются по уровню строения рельефа придорожной местности для частей автотрассы в соответствии с п. 2.1, для искусственных сооружений (ИССО) авто-

трассы – по 2.1.6, для дорожной сети и ИССО в городе – по 2.4 (СП 34.13330.2021.). Минимум степени укрепляющей возможности ограждений, используемых на автотрассе, устанавливаются по табл. 9.

**Таблица 8.** Степени возможности удержания  
**Table 8.** Degrees of retention capability

Степени возможности удержания	УУ1	УУ2	УУ3	УУ4	УУ5	УУ6	УУ7	УУ8	УУ9	УУ10
Возможность удержания, кДж, не менее	100	170	200	250	300	350	400	450	500	550

**Таблица 9.** Степени возможности удержания для оград на автотрассе  
**Table 9.** Degrees of retention capability for highway fences

Отрезок автотрассы	Наклон автотрассы, вдоль+	Группа дорожных условий	Класс автотрассы и количество потоков					
			1		2	3	4	5
			6	4	2-3	2		1
1. Края линейных частей автотрассы и с кусками окружности радиуса не менее 550 м	До 35	АА	УУ5	УУ4	УУ3		УУ2	
		ВВ	УУ4	УУ3	УУ2		УУ1	
2. Края с внутренней части автотрассы и с кусками окружности радиуса не более 550 м вниз и после спуска размером 150 м	45 и более	АА	УУ6	УУ5	УУ4	УУ3	УУ2	
		ВВ	УУ5	УУ4	УУ3	УУ2	УУ1	
3. Края с внешней части автотрассы и с кусками окружности радиуса не более 550 м вниз и после спуска размером 150 м	До 45	АА	УУ6	УУ5	УУ4	УУ3	УУ2	
		ВВ	УУ5	УУ4	УУ3	УУ2	УУ1	
4. Края с внешней части автотрассы и с кусками окружности радиуса не более 550 м вниз и после спуска размером 150 м	50 и более	АА	УУ7	УУ6	УУ5	УУ4	УУ3	
		ВВ	УУ6	УУ5	УУ4	УУ3	УУ2	
5. Края на не выпуклой окружности в линейном участке, соединяющем части с числом математической разности связанных уклонов 60+ и более	–	АА	УУ6	УУ5	УУ4	УУ3	УУ2	
		ВВ	УУ5	УУ4	УУ3	УУ2	УУ1	
6. Полоса раздела	–	АА	УУ6	УУ5	–			
		ВВ	УУ5	УУ4	–			

Далее в формулах алгоритма обработки данных будут использоваться следующие параметры:

- (АА1): обочина высотой не менее 4 м;
- (АА2): оказавшиеся на наклонной местности круче 2:8;
- (АА3): расположенные около болот, ж/д путей, речек или озер глубиной не менее 1,1 м, расщелин, оказавшихся на дистанции не более 20 м от обочины автотрассы;
- (АА4): с полосой раздела размером 5 м и меньше с одномерным поперек наклоном более 1,5:10;
- (АА5): большие преграды находятся на полосе раздела или с края от обочины автотрассы на дистанции не более 4,5 м от ее края;

– (ВВ1): с полосой раздела размером менее 7 м без больших преград;

– (ВВ2): расположенные около болот, ж/д путей, речек или озер глубиной не менее 1,1 м, расщелин, оказавшиеся на дистанции не более 15–25 м от обочины автотрассы;

– (ВВ3): подходы к ИССО при размере обочины, равном или превышающем указанные в табл. 6, на автотрассах класса 4 и 5, 2 и 3, 1 длиной 11, 17 и 25 м соответственно, без учета концевых и начальных отрезков;

– (ВВ4): на обочины с наклоном не менее 1,5:4 по указаниям табл. 10.

Алгоритм обработки данных задается в табл. 11.

**Таблица 10.** Части автотрассы группы ВВ на склонах  
**Table 10.** Parts of the motorway of group ВВ on the slopes

Части автотрассы группы ВВ	Наклон автотрассы, ++	Вертикаль обочины, не более, м, при плановом* количестве авт./сут более	
		110**	1500
Линейные участки и с поворотами радиусом не менее 650 м. С части внутреннего поворота участка в плане радиусом менее 550 м на уклоне и далее на отрезке размером 150 м	До 45	5,0 (СС1)	4,0
Линейные участки и с поворотами радиусом не менее 650 м. С части внутреннего поворота участка в плане радиусом менее 550 м на уклоне и далее на отрезке размером 110 м	45 и более	4,5 (СС2)	3,5
С выпуклой стороны поворота в плане радиусом менее 650 м на уклоне и далее на отрезке размером 150 м	До 45		
С части внутреннего поворота участка в линейном участке, связующего компоненты с величиной математической разности связанных частей, более 55++	–		
С внешнего поворота отрезка с радиусом не более 650 м на уклоне и далее на отрезке размером 110 м	45 и более	4,0 (СС3)	3,0

\* На пятилетний период.

\*\* В случае постоянного пассажирского потока ограждения делают соответственно правилам при потоке 1500 авт./сут и более.

**Таблица 11.** Условия определения ограждений  
**Table 11.** Conditions for defining barriers

Продольный уклон	$i_{np} < 40\%$	$i_{np} > 40\%$	$i_{np} < 40\%$	$i_{np} > 40\%$	$i_{np} > 50\%$	–
Радиус круга	$R_{кр} > 600м$	$R_{кр in} < 600м$	$R_{кр} < 600м$	$R_{кр out} > 600м$	–	
Номер строки табл. 9	1	2	3	4	5	6
Типы обочин, полос разделения, геометрических параметров участка автодороги	АА1 +*	АА1	АА1	АА1	АА1	АА1
	АА2 +	АА2	АА2	АА2	АА2	АА2
	АА3 +	АА3 +	АА3	АА3	АА3	АА3
	АА4	АА4 +	АА4 +	АА4	АА4	АА4
	АА5	АА5 +	АА5 +	АА5 +	АА5	АА5
	ВВ1	ВВ1 +	ВВ1 +	ВВ1 +	ВВ1	ВВ1
	ВВ2	ВВ2	ВВ2 +	ВВ2 +	ВВ2 +	ВВ2
	ВВ3 +	ВВ3	ВВ3 +	ВВ3 +	ВВ3 +	ВВ3 +
ВВ4 +	ВВ4	ВВ4	ВВ4	ВВ4	ВВ4 +	ВВ4 +
СС1	СС2	СС2	СС2	СС2	СС2	СС3

\* + – ограждение определено.

**Формулы**

Определим основные формулы, используемые для решения задач.

1. Прямая на плоскости в параллельных координатах представима в виде  $Ax + By + c = 0$ . Если  $A = 0, (B = 0)$ , то линия идет вдоль оси  $x$  (оси  $y$ ).

Когда  $C = 0$ , то линия пересекает начало координатной сетки. Когда  $B \neq 0$ , то равенство  $Ax + By + C = 0$  можно записать в виде  $y = kx + b$ . Прямая пересекает ось  $y$  в точке  $P = (0, b)$ . В декартовой системе координат  $k$  – угловой коэффициент прямой:  $k = tg\alpha$  ( $\alpha$  – угол

между осью  $\alpha$  и прямой). Далее зададим формулу отрезка, проходящего через пару заданных точек:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \tag{1}$$

2. Круговая кривая на плоскости с центром в начале координат и радиусом  $R$  представима в виде:  $x^2 + y^2 = R^2$ . Уравнение круговой кривой с центром в точке  $C = (x_0; y_0)$  и радиусом  $R$ :

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2.$$

В параметрической форме:

$$x = x_0 + R \cos t, \quad y = y_0 + R \sin t, \tag{2}$$

где  $t$  – угол, образованный подвижным радиусом с положительным направлением оси  $Ox$ .

3. Чаще всего в качестве переходной кривой используют клотоиду, радиус кривизны которой обратно пропорционален длине пройденной дуги  $S$ , т.е.:

$$\rho = RL/S,$$

где  $L$  – величина отрезка;  $R$  – диаметр круга в конечной кривой.

Соответственно, формула отрезка в декартовой системе координат будет следующей:

$$\begin{aligned} xx &= ll - \frac{ll^5}{30C^2} + \frac{ll^9}{2456C^4}; \\ yy &= \frac{ll^3}{7C} - \frac{ll^7}{236C^3} + \frac{ll^{11}}{32240C^5}, \end{aligned} \quad (3)$$

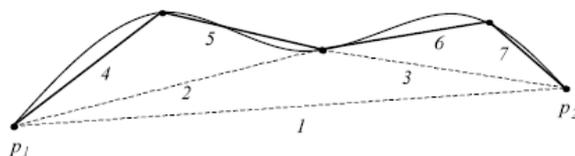
где  $CC = RRL$ ;  $l$  – величина части линии, представленной точками  $xx$  и  $yy$ .

Отметим:

1. Рассмотренные выше отрезки имеют ряд свойств, а именно: угол  $\varphi$  (в рад), создаваемый диаметр отрезком в точке ее соприкосновения с отрезком окружности имеет длину  $LL$  и диаметр  $RR$ :

$$v = LL/2RR = LL^2/2C.$$

2. Применение рассмотренных выше отрезков определяет сдвиг начального отрезка в сторону с увеличением его протяженности. Необходимо принимать в расчет при формировании диаметров составных частей линии, что для обеспечения необходимой величины диаметра  $RR$  траекторию необходимо разделить с диаметром  $RR_1 = RR + pp$ , где  $pp$  – сдвиг части круга.



Построение ломаной (7, 6, 5, 4 – итоговые отрезки)  
 Building a polyline (7, 6, 5, 4 – final segments)

Таким образом, строится ломаная линия  $\{P_1, \dots, P_{k+1}\}$ , используемая далее для построения отрезков траектории.

В дальнейшем траектория  $LL$  представляется в форме:

$$LL = (PP_1, QQ_1, PP_2, QQ_2, \dots, QQ_{k+1}, PP_{k+1}),$$

где  $QQ_j$  – значение отклонения, а  $PP_j$  – часть ломаной. Элемент  $QQ_j$  следует определить по нижеприведенной форме:

$$QQ_j = (PPe_{1,j}, CC_{2,j}, PPe_{3,j}),$$

где  $PPe_{1,j}$  и  $PPe_{3,j}$  – переходные части траектории,  $CC_{2,j}$  – круговые части траектории.

**Шаг 2. Построение узлов подобия. Нахождение секторов окружностей. Рекурсия построения**

Диаметр  $RR_1 = RR \cos \beta + yy_0$ , где  $yy_0$  – значение части линии в точке соприкосновения с другой частью траектории;  $\beta = LL/2R$ , радиан. Таким образом, сдвиг  $pp = RR_1 - RR = y_0 - RR(1 - \cos \beta)$ .

Формирование решения данной проблемы состоит в организации пошагового построения траектории. Коротко сформулируем основные шаги построения.

**Шаг 1. Настройка обводов и построение отрезков**

Построение конструкции начинается настройкой обводов и построением отрезков  $UU$  с точностью  $e\alpha_{approx}$  [11–14]. Затем на примыкающих отрезках надо выполнить соединение отрезков под углом не менее  $\alpha\alpha_\tau$  (СП 44.14430.2021).

Построение начинаем с присоединения к основной линии отрезков, производя повторное дробление, пока отклонение на любых отрезках не будет менее  $e\alpha_{approx}$ :

- Начать приближение с отрезка 1 (рисунок):  $[p_1, p_2]$ .
- При выполнении  $err_{approx}^{edge} > \varepsilon_{approx}$  разделить отрезок на две части и продолжить такое построение с полученными отрезками.
- Продолжать далее до получения необходимого построения.
- При наклоне между связанными отрезками менее  $\alpha_\tau$  соединять в один отрезок.
- По рекурсии повторять предыдущий шаг до ликвидации связанных отрезков с наклоном менее  $\alpha_\tau$ .

Будем применять последовательные приближения для нахождения всех частей отклонений с разностью не более  $e_{r,элемент}$ , последовательно проверив допустимые связи элементов.

**Построение узлов подобия:**

- Построить узел подобия для элементов  $\{PP_1, PP_2\}$ .
- Построить узел подобия  $SS_1$  для отклонения  $QQ_1$  (точка отклонения элемента  $PP_1$ , а остановка отклонения конца  $PP_2$  на траектории  $UU$ ). Узел подобия отклонения  $QQ_1$  – точка, созданная общей точкой пары касательных элемента  $QQ_1$ .
- Потом ищем пункт  $rk1$  на элементе  $QQ_1$ , имеющий минимальный разрыв  $hh_j$  от узла подобия  $SS_1$  до отклонения  $QQ_1$ .

*Нахождение секторов окружностей:*

• Построим сектор окружности  $CC_{2,1}$ . Выберем на элементе  $QQ_1$  два пункта  $rr2$  и  $rr3$ , отстоящие на дистанцию  $dd$  от пункта  $rr1$  и определим для данных пунктов диаметр окружности  $QQ_1$  (применяем соотношения 1 и 2).

• Определим усредненный диаметр  $RR1$  и центральный пункт  $qq1$  полученного круга. Для того, чтобы найти начало и конец круговой кривой  $C_{2,1}$ , построим круг диаметром  $RR1$  и с пунктом центра  $qq1$ , и потом определим равные элементы  $Q_1$  с параметрами получившегося круга. Крайние точки элемента траектории будут получены. Отметим также, что при ненахождении отрезка прямой для соединения двух однонаправленных элементов траектории надо сделать  $mm$  вычислений диаметров на элементах  $Q_j$  и в случае повторения уменьшения диаметра разделить элемент  $QQ_j$  надвое на участке повторений.

*Построение элементов  $PPe_{3,j}$ :* на основе  $RR1$ , пунктов краев элементов  $C_{2,1}$  и пунктов краев элемента  $Q_1$  найдем переходные элементы траектории  $PPe_{e_{1,1}}$  и  $PPe_{e_{3,1}}$  (применяем тождество 3).

*Рекурсия построения:*

• Определяем первые два элемента  $\{PP_1, PP_3\}$  и проходим второй шаг снова, если существует центральный пункт для двух элементов

$\{PP_1, PP_3\}$ , что можно представить множеством  $QQ_1 = (PPe_{e_{1,1}}, CC_{2,1}, PPe_{e_{3,1}})$ , то проводим данное действие до получения двух элементов  $\{PP_1, PP_t\}$ , которые не будут соответствовать множеству  $QQ_j$ . Тогда построена двойка элементов  $\{PP_1, PP_{t-1}\}$ , которая удовлетворяет условиям множества  $QQ_1 = (PPe_{e_{1,1}}, CC_{2,1}, PPe_{e_{3,1}})$ . Причем  $PP_0$  и  $PP_t$  являются отрезками прямых, соединенными найденным элементом  $QQ_1$ .

• Дальнейшее построение делать для элементов  $\{PP_{t+1}, PP_{t+2}\}$  и дальше до полного построения всех частей траектории.

**Заключение**

Основные результаты работы состоят в усилении возможностей построения цифровой модели трассы автомобильной дороги методами, предложенными в статьях [8–11], по следующим позициям:

1. Расширение ограничений по геометрическим параметрам трассы для учета нормативных требований к прочности ограждений. Причем оценки сложности проверки выполнимости ограничений для геометрических параметров трассы остаются практически без изменений.

2. Расширение способов представления элементов трассы в реляционных СУБД для построения цифровой модели трассы автомобильной дороги по данным современных систем сбора информации.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Kincaid P. The Rule of the Road: An International Guide to History and Practice. Greenwood Press, 1986. 239 p.  
 2. Разборов А. А. Алгебраическая сложность. М.: МЦНМО, 2016. 32 с.  
 3. Мартьянов В. И. NP-трудные задачи: автоматическое доказательство теорем и машины Тьюринга // Baikal Research Journal. 2021. Т. 12. № 4. С. 11. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12\(4\).11](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12(4).11).  
 4. Схрейвер А. Теория линейного и целочисленного программирования. Т. 1. М.: Мир, 1991. 360 с.  
 5. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. М.: Мир, 1974. 520 с.  
 6. Габасов Р. С., Кириллова Ф. М. Основы динамического программирования. Минск: Изд-во БГУ, 1975. 262 с.  
 7. Макконнелл С. Совершенный код: практическое руководство по разработке программного обеспечения. 2-е изд. СПб.: Питер, 2010. 889 с.  
 8. Мартьянов В. И., Симонов А. С. Анализ и проектирование трассы автомобильной дороги // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. № 4 (20). С. 16–23.

9. Кулик Н. С., Мартьянов В. И., Пахомов Д. В. Построение графа автомобильных дорог для системы взимания платы с большегрузного транспорта // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 4. С. 96–101. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-4-96-101>.  
 10. Кулик Н. С., Мартьянов В. И., Пахомов Д. В. Проект системы управления региональной сетью автомобильных дорог (СУРАД) Иркутской области // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 4. С. 118–123.  
 11. Garland M., Heckbert P. S. Fast polygonal approximation of terrains and height fields. Pittsburgh, 1995. 37 p.  
 12. De Cougny H. L., Shephard M. S. Surface meshing using vertex insertion // In Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Meshing Roundtable. 1996. p. 243-256.  
 13. Dey T. K., Goswami S. Provable surface reconstruction from noisy samples // Computational Geometry. 2006. Vol. 35. Iss. 1-2. p. 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.comgeo.2005.10.006>.  
 14. Klein R., Straber W. Mesh generation from boundary models with parametric face representation // Third Symposium on Solid Modeling and Applications. 1995. p. 431-440.

## REFERENCES

1. Kincaid P. The Rule of the Road: An International Guide to History and Practice. Greenwood Press, 1986. 239 p.
2. Razborov AA. Algebraic complexity. Moscow: MTsNMO; 2016. 32 p. (In Russ.).
3. Mart'yanov V. I. NP-difficult tasks: automatic proof of theorems and Turing's machine. *Baikal Research Journal*. 2021;12(4):11. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12\(4\).11](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12(4).11).
4. Schrijver A. Theory of Linear and Integer Programming. Vo. 1. Moscow: Mir; 1991. 360 p. (In Russ.).
5. Hu T. Integer Programming and Network Flows. Moscow: Mir; 1974. 520 p. (In Russ.).
6. Gabasov RS, Kirillova FM. Fundamentals of Dynamic Programming. Minsk: BSU; 1975. 262 p. (In Russ.).
7. McConnell S. Code Complete: A Practical Handbook of Software Construction. 2<sup>nd</sup> ed. Saint Petersburg: Piter; 2010. 889 p. (In Russ.).
8. Mart'yanov VI, Simonov AS. Analysis and design of the highway route. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie*. 2008;4(20):16-23. (In Russ.).
9. Kulik NS, Mart'yanov VI, Pakhomov DV. Building a motorway graph for the heavy trucks tolling system. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2016;4:96-101. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-4-96-101>.
10. Kulik NS, Mart'yanov VI, Pakhomov DV. Project of the system to control irkutsk regional automobile road network. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014;4:118-123. (In Russ.).
11. Garland M, Heckbert PS. Fast polygonal approximation of terrains and height fields. Pittsburgh, 1995. 37 p.
12. De Cougny HL, Shephard MS. Surface meshing using vertex insertion. *In Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Meshing Roundtable*. 1996. p. 243-256.
13. Dey TK, Goswami S. Provable surface reconstruction from noisy samples. *Computational Geometry*. 2006;35(1-2):124-141. <https://doi.org/10.1016/j.comgeo.2005.10.006>.
14. Klein R, Straber W. Mesh generation from boundary models with parametric face representation. *Third Symposium on Solid Modeling and Applications*. 1995. p. 431-440.

### Информация об авторе

**В. И. Мартьянов,**  
доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры автомобильных дорог,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Россия,  
e-mail: martvliv@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2659-0355>

### Вклад автора

Мартьянов В. И. провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 15.03.2022.  
Одобрена после рецензирования 12.04.2022.  
Принята к публикации 14.04.2022.

### Information about the author

**Vladimir I. Martyanov,**  
Dr. Sci. (Phys. - Math.),  
Professor of the Department of Highways,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,  
e-mail: martvliv@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2659-0355>

### Contribution of the author

Martyanov V. I. has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

### Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by the author.

The article was submitted 15.03.2022.  
Approved after reviewing 12.04.2022.  
Accepted for publication 14.04.2022.