

УДК 625.72:528.4

Ю. А. Катькало, Н. В. Тулуевский, Д. Н. Дроздов, И. М. Дормаковский

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

UDC 625.72:528.4

Y. A. Katkalo, N. V. Tuluyevskiy, D. N. Drozdov, I. M. Dormakovskiy

APPLICATION OF ELECTRONIC TACHEOMETERS TO CONTROL QUALITY OF WORK IN ROAD CONSTRUCTION

Аннотация

Рассматривается применение электронных тахеометров для определения действительных геометрических параметров автомобильных дорог при оценке качества работ. Представлены способы нахождения радиусов вертикальных кривых, крутизны откосов земляного полотна, видимости дороги на вертикальных кривых.

Ключевые слова:

автомобильная дорога, действительные геометрические параметры, контроль качества работ, электронный тахеометр.

Abstract

The paper investigates the application of electronic tacheometers to determine real geometrical parameters of motor roads in assessing the quality of work. The techniques for finding radii of vertical curves, the steepness of subgrade slopes, driving visibility on vertical curves are presented.

Key words:

motor road, real geometrical parameters, quality control, electronic tacheometer.

Введение

При строительстве автомобильной дороги выполняют операционный контроль качества работ и приемочный контроль по окончании всего строительства или отдельного участка. При контроле проверяется соответствие действительных геометрических параметров их проектным значениям. Согласно ТКП 059-2007 «Автомобильные дороги. Правила устройства» [1] контролируется качество сооружения земляного полотна, устройства дорожной одежды, установки элементов обустройства дороги и ее общие параметры.

При сооружении земляного полотна проверяют размещение осевой линии

и высотные отметки, снимаемые и отсыпаемые слои, поперечный профиль земляного полотна, водоотводные и дренажные устройства. При устройстве дорожной одежды контролируются ее слои. При общем контроле определяют видимость дороги. На рис. 1 приведены все геометрические параметры, контроль которых установлен ТКП 059-2007.

Из перечисленных параметров (рис. 2) представлены те, нахождение которых возможно с помощью электронного тахеометра.

Для определения длины прямых участков трассы, уклонов и отметок в продольном профиле, высотных отметок по оси слоев дорожной одежды, по-

перечных уклонов земляного полотна используется программное обеспечение электронного тахеометра.

Определение углов поворота трассы рассмотрено в [2].



Рис. 1. Контролируемые геометрические параметры автомобильной дороги: 1 – длина прямых участков, углы поворота трассы; 2 – радиусы кривых в плане; 3 – радиусы вертикальных кривых; 4 – уклоны и отметки продольного профиля; 5 – толщина слоев; 6 – расстояние между осью и бровкой; 7 – поперечный уклон; 8 – крутизна откосов; 9 – поперечные размеры канав по дну; 10 – поперечные размеры дренажей; 11 – продольные уклоны дренажей; 12 – ширина насыпных берм; 13 – высотные отметки по оси дороги; 14 – ширина слоев; 15 – толщина слоев; 16 – поперечные уклоны; 17 – видимость на пересечениях в одном уровне; 18 – видимость на горизонтальных кривых; 19 – видимость на вертикальных кривых

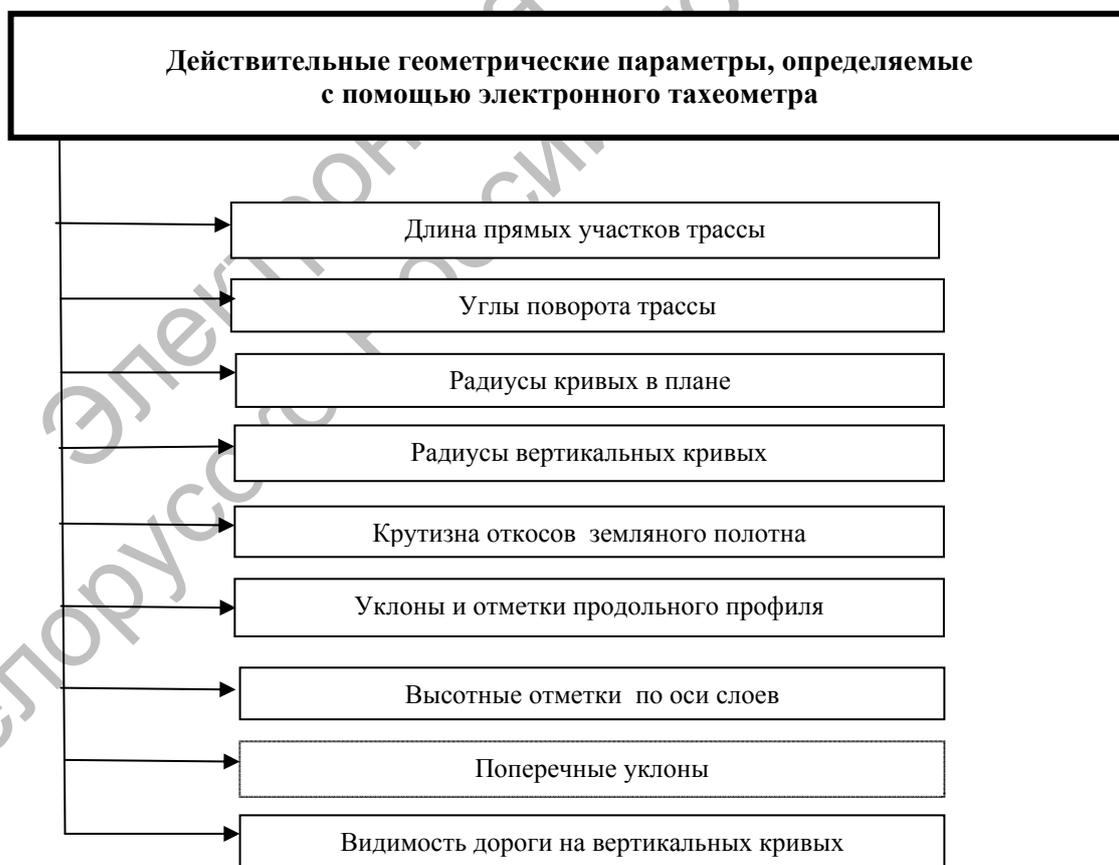


Рис. 2. Действительные геометрические параметры автомобильной дороги, определяемые с помощью электронного тахеометра

Для радиусов кривых в плане разработано несколько способов получения их с помощью электронного тахеометра: по прямоугольным координатам, по касательной и углу, по двум касательным и углу [3, 4].

Остается рассмотреть применение электронных тахеометров при определении радиусов вертикальных кривых, крутизны откосов земляного полотна, видимости дороги на вертикальных кривых.

Определение действительных радиусов вертикальных кривых

Электронный тахеометр располагают на вершине вертикальной кривой, на кромке проезжей части (рис. 3). Измеряют высоту прибора c . На некотором расстоянии d от тахеометра, на кромке проезжей части вертикально устанавливают вежу с призматическим отражателем. Телескопическую вежу раздвигают так, чтобы отражатель находился на высоте прибора c .

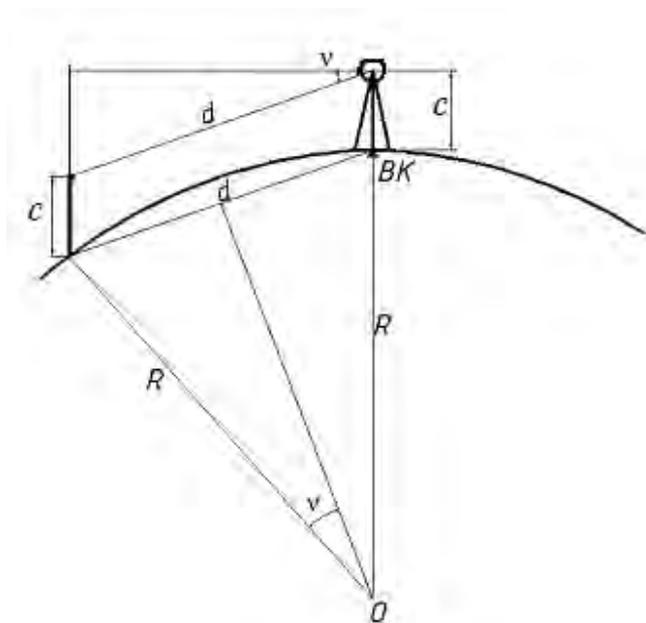


Рис. 3. Схема определения действительного радиуса вертикальной кривой

Визируют на отражатель. Измеряют расстояние от тахеометра до отражателя d и угол наклона линии визирования v .

Полученных данных достаточно, чтобы вычислить действительный радиус вертикальной кривой R .

$$R = \frac{d}{2 \sin v}. \quad (1)$$

Перед тем, как применить этот способ на практике, нужно выяснить, обеспечивается ли необходимая точность определения радиуса. Точность

эту будем оценивать средней квадратической ошибкой m_R .

Допустимую среднюю квадратическую ошибку определения радиуса вертикальной кривой $m_{дон}$ достаточно считать не превосходящей величину $R/15$. Тогда радиус вертикальной кривой может быть получен с ошибкой m_R , не превышающей допустимой $m_{дон}$.

На основании теории ошибок для выражения (1) можно записать следующее:

$$m_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial d}\right)^2 m_d^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \nu}\right)^2 \frac{m_\nu^2}{\rho^2} =$$

$$= \frac{m_d^2}{4 \sin^2 \nu} + \frac{d^2 m_\nu^2 \cos^2 \nu}{4 \rho^2 \sin^4 \nu},$$

откуда

$$m_R = \frac{1}{2 \sin \nu} \sqrt{m_d^2 + d^2 \frac{m_\nu^2}{\rho^2} \operatorname{ctg}^2 \nu}, \quad (2)$$

где m_d – средняя квадратическая ошибка измерения длины линии электронным тахеометром, $m_d = 10$ мм; m_ν – средняя квадратическая ошибка измерения вертикального угла электронным тахеометром, $m_\nu = 5''$; p – число секунд в радиане.

Выполнен анализ полученного выражения (2). Результаты его представлены в табл. 1 и на рис. 4 в виде зависимостей средних квадратических ошибок m_R от величины радиуса вертикальной кривой R при разных значениях d . На рис. 4 дана также линия допустимой

средней квадратической ошибки определения радиуса $m_{\text{доп}}$.

Анализ показывает, что с увеличением расстояния d средняя квадратическая ошибка определения радиуса m_R уменьшается, а точность увеличивается. При этом имеются минимальные расстояния, обозначим их d_{min} , менее которых ошибка определения радиуса превосходит допустимую ошибку $m_{\text{доп}}$. Такие расстояния и меньшие не должны назначаться. Для разных радиусов величины d_{min} приведены в табл. 2.

Аппроксимация полученных значений d_{min} дает уравнение

$$d_{\text{min}} = 0,00073R. \quad (3)$$

Результаты анализа позволяют выделить область применения представленного способа определения радиусов вертикальных кривых (рис. 5). В пределах этой области ошибка m_R не превосходит допустимой $m_{\text{доп}}$.

Табл. 1. Средняя квадратическая ошибка в зависимости от величины радиуса R и расстояния d

$R, \text{ м}$	$m_R, \text{ м}$					$m_{\text{доп}}$
	$d, \text{ м}$					
	10	20	30	40	50	
5000	121,31	60,65	40,44	30,33	24,26	333
10000	484,92	242,46	161,64	121,23	96,98	667
15000	1090,85	545,43	363,62	272,71	218,17	1000
20000	1939,36	969,68	646,45	484,84	387,87	1333
30000	4193,99	2226,01	1454,48	1080,03	879,71	2000
40000	7756,55	3878,28	2585,52	1939,14	1551,31	2667
50000	12120,45	6060,22	4040,15	3030,11	2424,09	3333
60000	17452,11	8726,05	5817,37	4363,03	3490,42	4000
70000	23755,97	11877,99	7918,66	5938,99	4750,84	4667

Примечание – Утолщенной линией отделены недопустимые значения средней квадратической ошибки

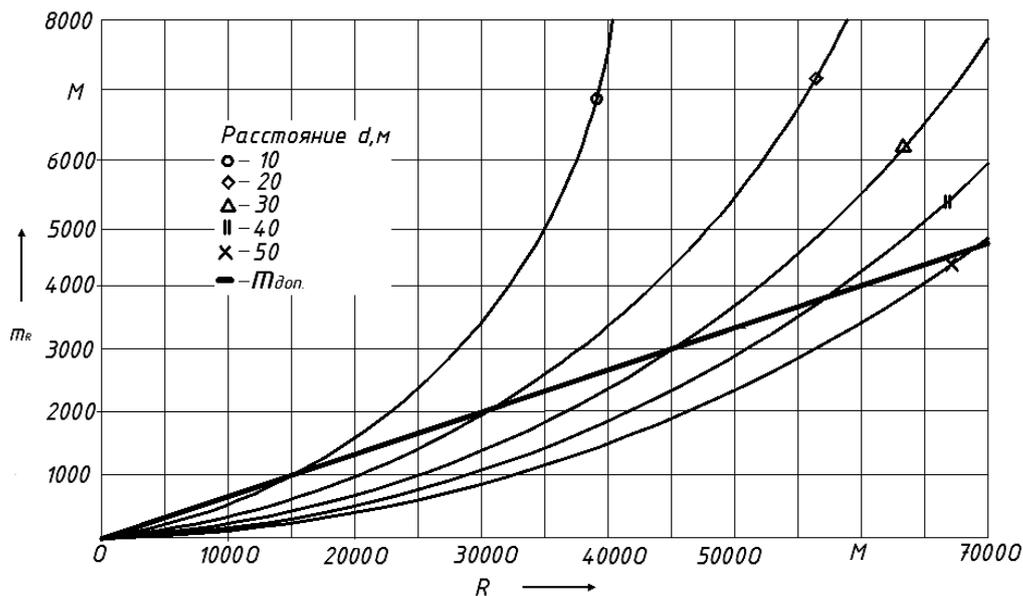


Рис. 4. Зависимость средней квадратической ошибки от величины радиуса

Табл. 2. Значения минимальных расстояний d_{min}

$R, м$	10000	15000	20000	30000	40000	50000	60000	70000
$d_{min}, м$	8	11	14,5	22,5	29	36,5	43,5	51

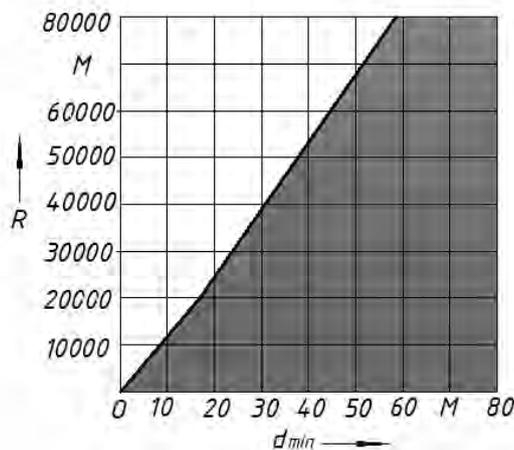


Рис. 5. Область применения способа определения радиуса вертикальной кривой

В практическом применении вначале ориентировочно принимают величину радиуса и по ней назначают по выражению (3) или по рис. 5 величину d_{min} . Затем выполняют измерения для определения радиуса вертикальной кривой.

Величину радиуса получают несколько раз, последовательно перемещая вежу с отражателем вперед. За окончательный результат принимают среднее значение из нескольких измерений радиуса.

Определение крутизны откоса земляного полотна

В соответствии с ТКП 059-2007 допустимое отклонение крутизны откоса земляного полотна составляет $\pm 10\%$. Каждой крутизне откоса $1:m$ соответствует угол наклона откоса ν и уклон откоса i .

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{1}{m}.$$

В табл. 3 приведены допустимые отклонения угла наклона откоса δ_ν и уклона откоса δ_i .

При определении крутизны откоса земляного полотна электронный тахеометр устанавливают на бровке земляного полотна (рис. 6). Измеряют высоту прибора c и на этой высоте располагают отражатель, прикрепленный к вехе. Ставят веху на откосе и визируют на отражатель.

Табл. 3. Допустимые отклонения крутизны откосов земляного полотна

Крутизна откосов $1:m$	Угол наклона откоса ν	Допустимое отклонение угла наклона $\pm \delta_\nu$	Уклон откоса i , %	Допустимое отклонение уклона откоса $\pm \delta_i$, %
1:1,5	33°41,5'	3°22'08"	67	$\pm 6,7$
1:1,75	29°45'	2°58'28"	57	$\pm 5,7$
1:2	26°34'	2°39'23"	50	$\pm 5,0$
1:3	18°26'	1°50'36"	33	$\pm 3,3$
1:4	14°02'	1°24'13"	25	$\pm 2,5$

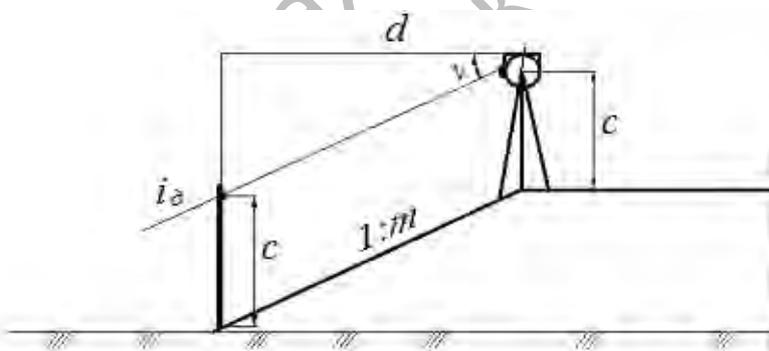


Рис. 6. Схема определения крутизны откоса электронным тахеометром

В результате одного наведения на экране тахеометра получают действительный угол откоса ν (ВК) и действительную величину уклона откоса i_δ (V%) в процентах. В скобках приведены обозначения, появляющиеся на экране тахеометра. На рис. 7 на экранах тахеометра показан угол наклона откоса $-29^\circ 44'$ и действительный уклон откоса $-57,2\%$. Для этого откоса действительное отклонение составляет $0,2\%$ при допуске для этой крутизны $5,7\%$

(см. табл. 3).

Одновременно с измерением крутизны откоса измеряют и горизонтальное проложение d до точки постановки вехи (см. рис. 6).

Применение электронного тахеометра позволяет не только оценить, соответствует или нет крутизна откоса своему проектному значению, что является при использовании шаблонов, но и определить действительную величину крутизны откоса и действительное

его отклонение. Это дает возможность получить величину досыпки или срезки грунта на откосе

$$\Delta h = (i_0 - i)d, \quad (4)$$

где i_0 – действительный уклон откоса

(измеряемый электронным тахеометром); i – проектный уклон откоса (см. табл. 3); d – горизонтальное проложение.

При необходимости крутизна откоса проверяется в нескольких местах.

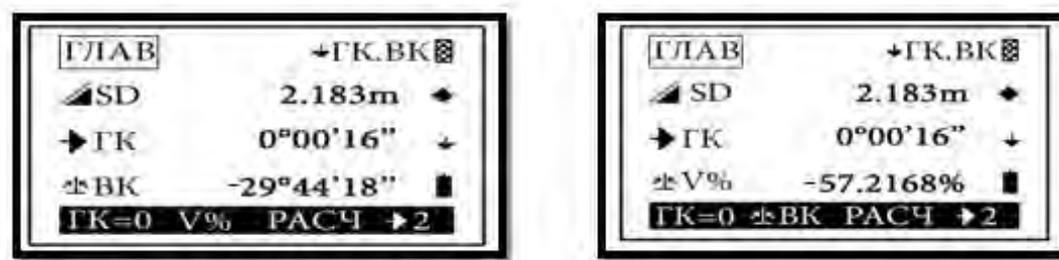


Рис. 7. Отображение на экране электронного тахеометра крутизны откоса

При определении крутизны откоса можно получить и высоту насыпи. Для этого электронный тахеометр располагается на бровке откоса насыпи, а веха с отражателем – у подошвы насыпи или, наоборот, тахеометр – у подошвы насыпи, а веха – на бровке. Высота насыпи

$$H = dtg v. \quad (5)$$

Подобным образом определяется и глубина выемки.

Определение видимости дороги на вертикальных кривых

Видимость в продольном профиле ограничивается выпуклыми переломами уклонов и выпуклыми вертикальными кривыми. Для таких случаев ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» [5] задает наименьшие расстояния видимости для остановки автомобиля. В зависимости от категории автомобильной дороги эти расстояния назначают величиной от 60 до 350 м.

Для определения видимости дороги устанавливают электронный тахеометр в начале вертикальной кривой (рис. 8). Высота прибора должна соответствовать расчетному уровню глаз

водителя над поверхностью дороги h_y . На такой же высоте располагают призмочный отражатель, прикрепленный к вехе. Для водителя легкового автомобиля высоту h_y принимают равной 1,2 м, а грузового – 1,5 м [6].

Для работы удобно использовать веху с минипризмой. Длина такой вехи с отражателем составляет 1,30 м. При определении расстояния видимости поверхности дороги для остановки автомобиля S_1 веху удерживают отражателем книзу. Для этого к отражателю прикрепляют наконечник, которым он опирается на поверхность покрытия проезжей части. Последовательно перемещают веху по вертикальной кривой. Наблюдая в зрительную трубу электронного тахеометра за отражателем, наблюдатель фиксирует момент, когда он при дальнейшем перемещении перестает быть видимым. Таким образом, получается точка касания визирным лучом поверхности дороги – точка 1. Визируя на отражатель, измеряют действительное расстояние S_1 .

Перемещают электронный тахеометр вперед на 10...20 м и вновь определяют расстояние видимости S_1 . Повторяя такие действия, доходят до вершины кривой. Определяют участок вер-

тикальной кривой с наименьшим расстоянием видимости для остановки автомобиля. Полученное расстояние ви-

димости сравнивают с нормативным, приведенным в [5], и дают ему оценку.

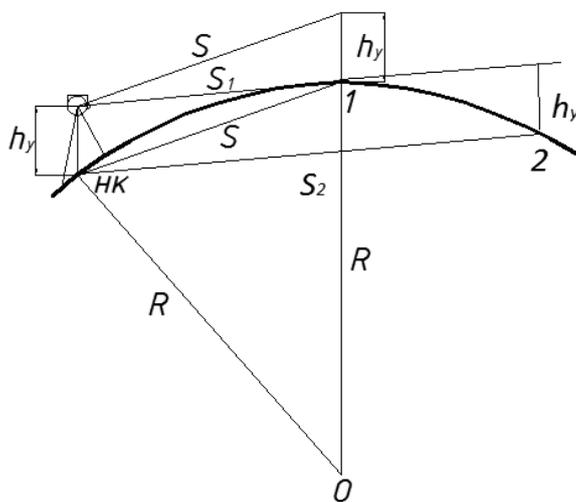


Рис. 8. Определение действительного расстояния видимости на вертикальной кривой с помощью электронного тахеометра

Подобную работу выполняют и для другой ветви выпуклой кривой.

При определении расстояния видимости встречного автомобиля S_2 вежу удерживают отражателем кверху, который находится на высоте h_y . Наблюдая в зрительную трубу электронного тахеометра за перемещением вехи, наблюдатель замечает момент, когда отражатель перестает быть видимым – точка 2. Такое положение вехи указывает на расстояние видимости встречного автомобиля S_2 . Измеряют это расстояние и дают ему оценку.

Выводы

1. Рассмотрено применение электронных тахеометров для определения действительных геометрических пара-

метров при контроле качества строительства автомобильных дорог.

2. Представлен разработанный способ определения действительных радиусов вертикальных кривых автомобильных дорог по результатам измерений расстояний и вертикальных углов. Выведена зависимость для оценки точности получения радиусов вертикальных кривых. Установлены условия, при соблюдении которых обеспечивается необходимая точность нахождения радиуса.

3. Разработаны методики применения электронных тахеометров при определении крутизны откосов земляного полотна и расстояний видимости дороги и встречного автомобиля на вертикальных кривых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТКП 059-2007. Автомобильные дороги. Правила устройства. – Минск, 2007. – 94 с.
2. Катъкало, Ю. А. Инженерная геодезия. Разбивка трассы и земляного полотна автомобильных дорог / Ю. А. Катъкало, А. А. Катъкало. – Могилев, 2003. – 152 с.
3. Определение радиусов закруглений автомобильных дорог способом прямоугольных координат / Ю. А. Катъкало, А. А. Катъкало, П. Н. Гобралев, К. Н. Головков // Вестн. МГТУ. – 2005. – № 1. – С. 98–102.

4. Определение действительных радиусов на закруглениях автомобильных дорог электронным тахеометром / Ю. А. Катькало, Е. Н. Подстрелова, А. С. Терещенко, Н. В. Тулуевский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 3. – С. 89–95.

5. ТКП 45-3.03-19-2006. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. – Минск, 2006. – 42 с.

6. Автомобильные дороги : проектирование и строительство / Под ред. В. Ф. Бабкова. – М., 1983. – 280 с.

Статья сдана в редакцию 25 марта 2015 года

Юрий Анатольевич Катькало, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-298-47-41-64.

Николай Владимирович Тулуевский, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-293-15-02-34.

Дмитрий Николаевич Дроздов, студент, Белорусско-Российский университет.

Иван Михайлович Дормаковский, студент, Белорусско-Российский университет.

Yury Anatolyevich Katkalo, Associate Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-298-47-41-64.

Nikolai Vladimirovich Tuluyevskiy, senior lecturer, Belarusian-Russian University. Phone: +375-293-15-02-34.

Dmitry Nikolayevich Drozdov, student, Belarusian-Russian University.

Ivan Mikhailovich Dormakovskiy, student, Belarusian-Russian University.