

УДК 519.2:625.7/8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Д-р техн. наук, профессор **В.В. Столяров**,
канд. техн. наук, доцент **Н.В. Щеголева**
(Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю.А.)

Конт. информация: shegoleva123@mail.ru

В статье представлены допуски на отклонения радиусов выпуклых и вогнутых кривых, кривых в плане, ширины многополосного покрытия в одном направлении, общей ширины проезжей части при приемке в эксплуатацию.

Ключевые слова: допуск, среднеквадратическое отклонение, радиус, выпуклая кривая, вогнутая кривая, кривая в плане, параметр.

При некачественном строительстве дорог, например, на участках кривых в плане, радиус круговой кривой произвольно изменяется [1-7], возникают зоны локального уменьшения радиуса, которые при приближении автомобиля к закруглению большого радиуса не воспринимаются водителями зрительно как опасные участки, в связи с тем, что они носят локальный характер, а водитель, подъезжая к повороту дороги, видит все закругление. Не заметив скрытую опасность, водитель въезжает на закругление со скоростью, которая является (на основе опыта водителя) допустимой для устойчивого движения по кривой видимого им большого радиуса (R_{cp}).

Поэтому в процессе приемки дороги следует контролировать качество строительства на участках кривых в плане по допустимому риску (с учетом допустимых среднеквадратических отклонений геометрических параметров) заноса и опрокидывания автомобиля, движущегося с расчетной скоростью.

Рассмотрим формулы для расчета допустимых среднеквадратических отклонений геометрических параметров автомобильных дорог.

1. Допустимое среднеквадратическое отклонение радиуса кривой в плане [8,9] рассчитывается следующим образом:

$$\sigma_R^{don} = 2,45 \cdot \Delta_{don} \cdot \left(\frac{R_{pp}}{d} \right)^2, \quad (1)$$

где

Δ_{don} – допуск в пределах кривой в плане на радиальное отклонение оси покрытия относительно проектного положения оси, м;

$$\Delta_{don} = 0,050 \text{ м};$$

R_{PP} – радиус кривой в плане, м;

d – расстояние между поперечниками (м), через которое радиальное отклонение оси дороги на кривой в плане не должно превышать допустимое отклонение (Δ_{don}) относительно проектного положения:

$$d = k \cdot (S + 0,55 \cdot R_{PP}) , \quad (2)$$

где

S – длина остановочного пути автомобиля, м;

k – коэффициент, определяемый в зависимости от величины расчетной скорости (V_p) по табл. 1.

Таблица 1
Значения коэффициента k

V_p км/ч	30	40	50	60	80	100	120	150
<i>Коэф- фици- ент k</i>	0,11	0,09	0,085	0,073	0,062	0,045	0,0425	0,0405

Результаты расчета сводим в табл. 2.

Таблица 2
Результаты расчета для кривых в плане

<i>Категория дороги</i>	R_{PP}	S	k	d	$\sigma_R^{\text{доп}}$
<i>I</i>	1200	232	0,0405	36,13	135
<i>II</i>	800	150	0,0425	25,08	125
<i>III</i>	600	110	0,045	19,8	112
<i>IV</i>	300	77	0,062	15	49

2. Допустимое среднеквадратическое отклонение радиусов выпуклой или вогнутой кривой определяем по формуле [1]:

$$\sigma_R^{\text{доп}} = 2,45 \cdot \Delta_{don} \cdot \left(\frac{R_{PP}}{d} \right)^2 , \quad (3)$$

где

Δ_{don} – допуск на высотное отклонение точек оси покрытия относительно проектных отметок на выпуклой или вогнутой вертикальной кривой ($\Delta_{don} = 0,035 \dots 0,040 \text{ м}$), м;

R_{PP} – проектное значение радиуса кривой в плане, м;

d – нормированное (при приемке дорог) расстояние между попечниками (м), через которое измеренное высотное отклонение (Δ_i) не должно превышать допустимое отклонение (Δ_{don}).

На меньших расстояниях между точками, чем расстояние d , измеренное высотное отклонение точек от проектных отметок должно быть меньше 0,035 м. Параметр d определяем по формуле:

$$d = L_{PP} / 2, \quad (4)$$

где

L_{PP} – проектное расстояние видимости поверхности дороги.

Результаты расчета сводим в табл. 3 и табл. 4.

Таблица 3
Результаты расчета для выпуклых кривых

Категория дороги	R_{PP}	L_{PP}	d	$\sigma_R^{\text{доп}}$
I	30000	268	134	4298
II	15000	190	95	2138
III	10000	155	78	1409
IV	5000	110	55	709

Таблица 4

Результаты расчета для вогнутых кривых

Категория дороги	R_{PP}	L_{PP}	d	$\sigma_R^{\text{доп}}$
I	8000	322	161	211
II	5000	214	107	187
III	3000	141	71	153
IV	1200	71	36	95

3. Допустимое среднеквадратическое отклонение проектной ширины покрытия двухполосной дороги определяем по формуле [3]:

$$\sigma_{B_{PP}}^{\text{don}} = 2,45 \cdot \Delta_{\text{don}} \cdot \left(\frac{B_{PP}}{d} \right)^2 , \quad (5)$$

где

Δ_{don} – допустимое отклонение ширины покрытия относительно проектной ширины покрытия, м, $\Delta_{\text{don}} = 0,060$ м;

B_{PP} – проектная ширина покрытия на двухполосной дороге, м;

d – нормированное (допустимое) расстояние между поперечниками (м), через которое измеренное отклонение при приемке дороги в эксплуатацию ($\Delta_i = B_i - B_{PP}$) не должно превышать допустимое отклонение (Δ_{don}) ширины покрытия.

На меньших расстояниях между поперечниками, чем нормированное расстояние, фактические отклонения ширины покрытия от проектной ширины должны быть менее 0,06 м. Параметр d определяем:

$$d = 0,104 \cdot V_p , \quad (6)$$

где

V_p – расчетная скорость, км/ч.

Результаты расчета сводим в **табл. 5**.

Таблица 5

Результаты расчета допустимых среднеквадратических отклонений проектной ширины покрытия двухполосной дороги

Категория дороги	B_{PP}	Расчетная скорость, км/ч	d	$\sigma_R^{\text{доп}}$
II	8,5	120	12,48	0,068
III	8,0	100	10,4	0,087
IV	7,0	80	8,32	0,104

4. Допустимое среднеквадратическое отклонение ширины много-полосного покрытия в одном направлении движения определяем по [3]:

$$\sigma_{B_{PP}}^{\text{don}} = 2,45 \cdot \Delta_{\text{don}} \cdot \left(\frac{B_{PP}}{d} \right)^2 , \quad (7)$$

где

Δ_{don} – допустимое отклонение ширины покрытия относительно проектной ширины покрытия ($\Delta_{don} = 0,060$ м), м;

B_{PR} – проектная ширина покрытия в одном направлении движения, включающая в себя ширину многополосной проезжей части и ширину укрепленных полос на правой по ходу движения обочине и центральной разделительной полосе.

При раздельном проектировании встречных направлений движения показатель B_{PR} включает в себя ширину краевых укрепленных полос на обеих обочинах, м:

$$d = k \cdot V_p , \quad (8)$$

где

k – коэффициент, учитывающий число полос движения на автомагистрали (табл. 6):

Таблица 6
Значения коэффициента k

<i>Количество полос на дороге (n, шт.)</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>8</i>	<i>10</i>	<i>12</i>
<i>Коэффициент k</i>	0,104	0,147	0,19	0,232	0,274

Результаты расчета сводим в табл. 7.

Таблица 7

Результаты расчета допустимого среднеквадратического отклонения ширины многополосного покрытия в одном направлении движения

<i>Категория дороги</i>	<i>V_p, км/ч</i>	<i>n, шт.</i>	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>B_{PR}</i>	$\sigma_R^{\text{доп}}$
<i>I A</i>	150	2	0,104	15,6	$1+3,75 \cdot 2 + 0,75 = 9,25$	0,0517
		3	0,147	22,05	$1+3,75 \cdot 3 + 0,75 = 13$	0,0511
		4	0,190	28,5	$1+3,75 \cdot 4 + 0,75 = 16,75$	0,0508
		5	0,232	34,8	$1+3,75 \cdot 5 + 0,75 = 20,5$	0,051
		6	0,274	41,1	$1+3,75 \cdot 6 + 0,75 = 24,25$	0,0512
<i>I Б, I В</i>	120	2	0,104	12,48	$1+3,75 \cdot 2 + 0,75 = 9,25$	0,0809
		3	0,147	17,64	$1+3,75 \cdot 3 + 0,75 = 13$	0,0798
		4	0,190	22,8	$1+3,75 \cdot 4 + 0,75 = 16,75$	0,0793
		5	0,232	27,84	$1+3,75 \cdot 5 + 0,75 = 20,5$	0,0797
		6	0,274	32,88	$1+3,75 \cdot 6 + 0,75 = 24,25$	0,078
<i>II</i>	120	2	0,104	12,48	$1+3,5 \cdot 2 + 0,5 = 8,5$	0,068

5. Допустимое среднеквадратическое отклонение общей ширины (правой полосы движения, краевой полосы и укрепленной части обочины) [3]:

$$\sigma_{B_0}^{don} = 2,45 \cdot \Delta_{don} \cdot \left(\frac{B_0}{d} \right)^2 , \quad (9)$$

где

Δ_{don} – допустимое (предельное) отклонение общей ширины (правой полосы движения, краевой полосы и укрепленной части обочины) от проектной ширины этих элементов поперечного профиля на нормированном расстоянии d между поперечниками ($\Delta_{don} = 0,14 v$), м;

B_0 – ширина крайней полосы движения, краевой полосы и остановочной полосы обочины, м;

d – нормированное (допустимое) расстояние между поперечниками (м), через которое фактическое отклонение при приемке дороги в эксплуатацию ($\Delta_i = B_i - B_0$) не должно превышать предельное отклонение (Δ_{don}) общей ширины (правой полосы движения, краевой полосы и укрепленной части обочины).

На меньших расстояниях между поперечниками, чем нормированное расстояние d , фактические отклонения общей ширины от проектной суммарной ширины этих элементов должны быть менее 0,14 м. Параметр d определяем по выражению (8).

Среднее значение общей ширины (правой полосы движения, краевой полосы и укрепленной части обочины) определяется по выражению:

$$B_{0(CP)} = v_{\pi} + l_{kp} + l_{uko} , \quad (10)$$

где

v_{π} – средняя ширина правой полосы движения на дороге, м;

l_{kp} – средняя ширина краевой полосы обочины, м;

l_{uko} – средняя ширина укрепленной части обочины для остановки, м.

Результаты расчета сводим в **табл. 8**.

Таблица 8

Результаты расчета общей ширины (правой полосы движения, краевой полосы и укрепленной части обочины)

<i>Категория дороги</i>	<i>V_p, км/ч</i>	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>в_п</i>	<i>l_{КП}</i>	<i>l_{УКО}</i>	<i>B_{0(CP)}</i>	<i>σ_R^{доп}</i>	
<i>I A</i>	150	0,104	15,6	3,75	0,75	2,5	7	0,069	
<i>I Б, I В</i>	120		12,48	3,75	0,75	2,5	7	0,108	
<i>II</i>	120		12,48	3,75	0,5	2	6,25	0,086	
				3,5	0,5	2	6	0,079	
<i>III</i>	100		10,4	3,5	0,5	1,5	5,5	0,096	

ВЫВОДЫ

Определение допустимых среднеквадратических отклонений геометрических параметров необходимо:

- при проектировании путем отражения их в качестве допусков в проектах автомобильных дорог;
- при строительстве для обеспечения соблюдения указанных проектировщиками допусков на геометрические параметры дорог;
- при эксплуатации – для исправления геометрических параметров существующих дорог, т.е. улучшения их качества и безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Столяров В.В. Оценка надежности нежестких дорожных одежд на основе законов распределения общих модулей упругости / В.В. Столяров, Е.Е. Зверкова, А.С. Фомина, Ю.М. Аникин // Дороги и мосты. – 2013. – Вып. 29/1. – С. 153-176.
2. Столяров В.В. Технико-экономическое обоснование модернизации сети автомобильных дорог / В.В. Столяров, Д.М. Немчинов // Дороги и мосты. – 2015. – Вып. 34/2. – С. 13-50.
3. Столяров В.В. Математическая модель транспортного потока, основанная на микроскопической теории «следования за лидером» / В.В. Столяров, Д.М. Немчинов, В.А. Гусев, Н.В. Щеголева // Дороги и мосты. – 2015. – Вып. 34/2. – С. 291-318.
4. Щеголева Н.В. Применение теории риска в проектировании реконструкции автомобильных дорог / Н. В. Щеголева, О. Н. Артемова // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25: сб.

- tr. XXV междунар. науч. конф., г. Волгоград, 29 мая - 31 мая 2012 г.: в 10 т. – Саратов, 2012. – Т. 10. – С. 77-79.*
5. Щеголева Н.В. Автоматизация расчета риска при реконструкции опасного участка автомобильной дороги / Н. В. Щеголева, В.А. Гусев // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25: сб. тр. XXV междунар. науч. конф., г. Волгоград, 29 мая - 31 мая 2012 г.: в 10 т. – Саратов, 2012. – Т. 10. – С. 79-81.
 6. Ворожейкин М.А. Применение теории риска для реконструкции геометрических параметров кривой в плане / М. А. Ворожейкин, Н.В. Щеголева // Инновации и исследования в транспортном комплексе: материалы III междунар. науч.-практ. конф. в год 70-летия победы в Великой Отечественной войне, г. Курган, 5-6 июня 2015 г.: в 2 ч. – Курган, 2015. – Ч. 2 . – С. 178-181.
 7. Салий Р.А. Методика оценки опасности дорожных условий при заносе или опрокидывании автомобиля на кривой в плане с высоким уровнем риска потери информации водителями / Р.А. Салий, Н.В. Щеголева // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2011. – № 1. – С. 132-133.
 8. Столяров В.В. Совершенствование методов применения принципов технического регулирования в дорожной деятельности: монография / В.В. Столяров, А.П. Бажанов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 212 с.
 9. Столяров В.В. Теория риска в судебно-технической экспертизе дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов (+ABS): монография / В.В. Столяров. – Саратов: СГТУ, 2010. – 344 с.

LITERATURA

1. Stoljarov V.V. Ocenka nadezhnosti nezhestkih dorozhnyh odezhd na osnove zakonov raspredelenija obshhih modulej uprugosti / V.V. Stoljarov, E.E. Zverkova, A.S. Fomina, Ju.M. Anikin // Dorogi i mosty. – 2013. – Vyp. 29/1. – S. 153-176.
2. Stoljarov V.V. Tekhniko-jekonomiceskoe obosnovanie modernizacii seti avtomobil'nyh dorog V.V. Stoljarov, D.M. Nemchinov // Dorogi i mosty. – 2015. – Vyp. 34/2. – S. 13-50.
3. Stoljarov V.V. Matematicheskaja model' transportnogo potoka, osnovannaja na mikroskopicheskoj teorii «sledovanija za liderom» / V.V. Stoljarov, D.M. Nemchinov, V.A. Gusev, N.V. Shhegoleva // Dorogi i mosty. – 2015. – Vyp. 34/2. – S. 291-318.
4. Shegoleva N.V. Primenenie teorii riska v proektirovaniii rekonstrukcii avtomobil'nyh dorog / N. V. Shhegoleva, O. N. Artemova // Matematicheskie metody v tekhnike i tehnologijah - MMTT-25: sb. tr. XXV mezhdunar. nauch. konf., g. Volgograd, 29 maja - 31 maja 2012 g.: v 10 t. – Saratov, 2012. – T. 10. – S. 77-79.

5. Shegoleva N.V. *Avtomatizacija rascheta riska pri rekonstrukcii opasnogo uchastka avtomobil'noj dorogi* / N. V. Shegoleva, V.A. Gusev // *Matematicheskie metody v tehnike i technologijah - MMTT-25: sb. tr. XXV mezhdunar. nauch. konf.*, g. Volgograd, 29 maja - 31 maja 2012 g.: v 10 t. – Saratov, 2012. – T. 10. – S. 79-81.
6. Vorozhejkin M.A. *Primenenie teorii riska dlja rekonstrukcii geometricheskikh parametrov krivoj v plane* / M. A. Vorozhejkin, N.V. Shegoleva // *Innovacii i issledovanija v transportnom komplekse: materialy III mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v god 70-letija pobedy v Velikoj Otechestvennoj vojne*, g. Kurgan, 5-6 iyunja 2015 g.: v 2 ch. – Kurgan, 2015. – Ch. 2 . – S. 178-181.
7. Salij R.A. *Metodika ocenki opasnosti dorozhnyh uslovij pri zanose ili oprokidyvanii avtomobilja na krivoj v plane s vysokim urovnem riska poteri informacii voditeljami.* / R.A. Salij, N.V. Shhegoleva // *Resursojenergoeffektivnye tehnologii v stroitel'nom komplekse regionala*. –2011. – № 1. – S. 132-133.
8. Stoljarov V.V. *Sovershenstvovanie metodov primenenija principov tehnicheskogo regulirovaniya v dorozhnoj dejatel'nosti: monografija* / V.V. Stoljarov, A.P. Bazhanov. – Penza: PGUAS, 2014. – 212 s.
9. Stoljarov V.V. *Teoriya riska v sudebno-tehnicheskoy jekspertize dorozhno-transportnyh proisshestvij s uchastiem peshehodov (+ABS): monografija* / V.V. Stoljarov. – Saratov: SGTU, 2010. – 344 s.

DETERMINATION OF ALLOWABLE ROOT-MEAN-SQUARE DEVIATIONS OF GEOMETRIC PARAMETERS OF ROADS

*Doctor of Engineering, Professor V.V. Stolyarov,
Ph. D. (Tech.), Associate Professor N.V. Shchegoleva
(Yuri Gagarin State
Technical University of Saratov)
Contact information: shegoleva123@mail.ru*

The article presents tolerances on deviations of radii of convex, concave, horizontal curves, width of multilane pavement in one direction, and overall width of the carriageway during operational acceptance.

Key words: tolerance, root-mean-square deviation, radius, convex curve, concave curve, horizontal curve, parameter.

Рецензент: канд. техн. наук Н.А. Лушников (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 18.09.2017 г.