

**В.В. Столяров, С.А. Плетминцев, О.Ю. Москалёв,
Д.М. Подтяжкин, Е.В. Малышев**

Саратовский государственный технический университет

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РИСКА

Выполнен анализ качества строительства продольного профиля участка дороги Саратов – Усть-Курдюм с использованием методов математической статистики и теории риска. На примере элементов продольного профиля показано, что в процессе приемки дорог в эксплуатацию необходимо контролировать соответствие как средних значений, так и среднеквадратических отклонений перенесенных в натуру параметров дорог проектным требованиям.

Ключевые слова: *оценка качества, теория риска, автодорога, профиль дороги, статистика.*

В работах [1, 2] показано теоретико-вероятностное представление о влиянии низкого качества строительства геометрических элементов автомобильных дорог на безопасность дорожного движения. В данной работе дается экспериментальное подтверждение выводов, основанных на теории риска, о необходимости учитывать при строительстве автомобильных дорог, как величины проектных параметров, так и величины допусков на средние квадратические отклонения переносимых в натуру параметров геометрических элементов.

На примере продольного профиля участка дороги Саратов – Усть-Курдюм (рис. 1) нами проведены экспериментальные исследования, в которых наряду с оценкой радиусов вертикальных кривых выполнена оценка фактических среднеквадратических отклонений радиусов от среднего и проектного значения. В проекте данного участка дороги красные (проектные) отметки продольного профиля отнесены к кромке покрытия (табл. 1). Фактические отметки (см. табл. 1) получены нами в результате нивелирования бровки покрытия, начиная с восстановленного (условно нулевого) пикета данного участка дороги,

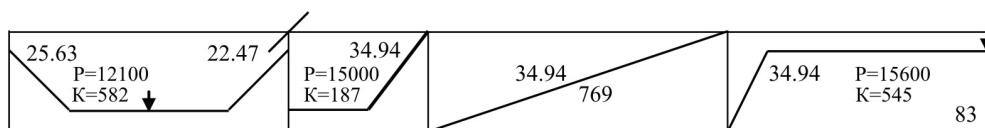


Рис. 1. Фрагмент условного изображения продольного профиля участка дороги от пикета 0+0,00 до пикета 20+83,00 (пикетаж условный)

с шагом нивелирования 20 м. Нивелирование выполнялось с замыканием обратного хода на нулевом пикете. Невязка нивелирования была в допуске, поправки в точках нивелирования не превышали 2 мм, что указывало на хорошую точность определения высот точек. Ежедневно в начале и в конце работы выполняли поверку параллельности визирного луча нивелира оси цилиндрического уровня, и другие поверки, включая поверку круглого уровня. Высотное отклонение точек (см. табл. 1) определяли по формулировке вычисления невязки «то, что есть, минус, то, что должно быть», т.е. из фактической отметки вычитали проектную отметку точки (пикета).

Таблица 1

Сравнение фактических и проектных отметок пикетов кромки покрытия (от пикета 0+00 до пикета 20+83,00 м)

Пикет	Проектная отметка	Фактическая отметка	Высотное отклонение	Пикет	Проектная отметка	Фактическая отметка	Высотное отклонение
0	44,280	44,280	0,000	11	60,400	60,638	+0,238
1	42,080	41,976	-0,104	12	63,890	64,232	+0,342
2	40,780	40,849	+0,069	13	67,390	67,521	+0,131
3	40,310	40,486	+0,176	14	70,880	71,090	+0,210
4	40,660	40,847	+0,187	15	74,380	74,608	+0,228
5	41,840	42,009	+0,169	16	77,740	77,935	+0,195
6	43,860	44,173	+0,313	17	80,490	80,663	+0,173
7	46,580	46,966	+0,386	18	82,610	82,746	+0,136
8	49,920	50,303	+0,383	19	84,080	84,266	+0,186
9	53,410	53,647	+0,237	20	84,920	85,131	+0,211
10	56,910	57,161	+0,251	+83	85,120	85,347	+0,227

Разность фактических и проектных отметок в табл. 1 показывает, что необходимо определить фактические радиусы трех вертикальных кривых продольного профиля (двух вогнутых и одной выпуклой кривой) и установить средние квадратические отклонения радиусов этих кривых для сравнения их с допустимыми отклонениями, основанными на требуемой точности разбивочных и строительно-монтажных работ.

В табл. 1 отметки точек, расположенных через 20 м, опущены в связи с большим объемом такой таблицы (даны только отметки пикетов и конца выпуклой кривой пк 20+83,00 м).

В табл. 2 приведены результаты расчета радиусов первой вогнутой кривой по приведенным к базовому горизонту инструмента отчетам по рейкам, взятым через 20 м, на длине кривой, равной 582 м (см. рис. 1). Всего на первой вогнутой кривой нивелировали 30 точек, расположенных друг от друга через 20 м. Нулевой пикет совмещен с 1-й точкой, первый пикет находился на 6-й точке, второй пикет – на 11-й точке, а последний пятый пикет первой вогнутой кривой принадлежит 26-й точке (пикеты с первого по пятый показаны в табл. 1 и 2). На пикете 5+82 находится последняя 30-я точка первой вогнутой кривой (точка пк 5+82 в табл. 1 не показана).

В пределах первой вогнутой кривой (с нулевого по пятый пикеты) использовано при нивелировании четыре горизонта инструмента (четыре станции или стоянки нивелира). Базовый горизонт инструмента соответствует первой станции (первой установке нивелира из четырех установок), так как отметки точек на этой станции максимальные по сравнению с отметками точек на других станциях первой вогнутой кривой (см. отметку нулевого пикета в сравнении с отметками точек с первого по пятый пикеты в табл. 1).

Приведение отчетов по рейке к базовому горизонту инструмента выполняли по формуле

$$y_0 = y_{\phi} + (\text{ГИ}_0 - \text{ГИ}_i), \quad (1)$$

где y_0 – приведенный к базовому горизонту инструмента отчет по рейке, м; y_{ϕ} – фактический отчет по рейке, взятый при i -м горизонте инструмента, м; ГИ_0 и ГИ_i – базовый и i -й горизонты инструмента (рис. 2), м.

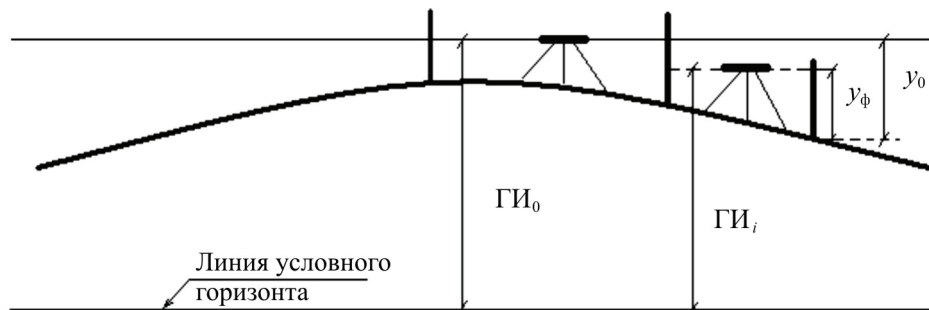


Рис. 2. Приведение фактического отсчета по рейке к базовому горизонту инструмента [графическое пояснение к формуле (1)]

За базовый выбирают горизонт инструмента, при котором отметки точек на полосе наката максимальные.

Радиусы вертикальной кривой устанавливали по формуле

$$R = \frac{d^2}{(y_3 - y_2) - (y_2 - y_1)}, \quad (2)$$

где R – радиус вертикальной кривой, установленный по трем отсчетам (y_1, y_2 и y_3), м; d – отрезки постоянной длины между нивелируемыми точками на полосе наката, м; y_1, y_2, y_3 – приведенные к базовому горизонту инструмента предыдущий, средний и последующий отсчеты по рейкам, установленным друг от друга на расстояниях d , м.

Определенные по формуле (2) фактические радиусы вертикальной кривой представляют собой перпендикуляры к касательным в трех точках и поэтому имеют плавающую вершину.

Если фактические радиусы кривой определять через отрезки $d = d_1 = 20$ м; $d = d_2 = 40$ м; $d = d_3 = 60$ м и т.д. (см. табл. 2), то число вычисляемых радиусов (m) по трем отсчетам определяется уравнением

$$m = \left(\frac{n}{2} \right)^2, \quad (3)$$

где n – число интервалов между точками, шт.

В табл. 2 три значения радиусов (~~57143~~, ~~200000~~, ~~69565~~ м) были выбракованы с использованием методов математической статистики [2] как аномальные к данной совокупности радиусов.

В табл. 3 с помощью данных табл. 2 выполнен расчет среднего значения радиуса и среднего квадратического отклонения радиусов первой вертикальной кривой. Как видно по данным табл. 3, выбракованные радиусы действительно находятся на значительном отдалении от самых больших радиусов, принадлежащих к данной совокупности (ближайший из них 57143 м находится спустя три разряда после последнего разряда в табл. 3).

Применяя к данным табл. 3 мультипликативный метод, получаем:

♦ среднее значение радиусов

$$R_{\text{ср}} = X_a + \frac{d}{n} \cdot B = 22500 + \frac{5000}{207} \cdot (-413) = 12524 \text{ м};$$

◆ среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{d^2}{n-1} \cdot \left(A - \frac{B^2}{n} \right)} = \sqrt{\frac{5000^2}{206} \cdot \left(1079 - \frac{(-413)^2}{207} \right)} = 5562,9 \text{ м.}$$

По методу суммирования, получаем:

◆ среднее значение радиусов

$$R_{cp} = u_k - d \cdot \left(\frac{M}{n} - 1 \right) = 42500 - 5000 \cdot \left(\frac{1448}{207} - 1 \right) = 12524 \text{ м;}$$

◆ среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{d^2}{n-1} \cdot \left(2 \cdot \sum T - M - \frac{M^2}{n} \right)} = \sqrt{\frac{5000^2}{206} \cdot \left(2 \cdot 5916 - 1448 - \frac{1448^2}{207} \right)} = 5562,9 \text{ м.}$$

Таблица 3

Пример статистической обработки радиусов вогнутой вертикальной кривой

Разряды радиусов, м	Середина интервала, м	Абсолютная частота, h_m	Частичная сумма S_m	Накопленная частота T	Середина условного интервала l_m	Произведения		
						$l_m \cdot h_m$	l_m^2	$l_m^2 \cdot h_m$
0–5000	2500	8	8	8	–4	–32	16	128
5000–10000	7500	41	49	57	–3	–123	9	369
10000–15000	12500	133	182	239	–2	–266	4	532
15000–20000	17500	9	191	430	–1	–9	1	9
20000–25000	22500 = x_a	7	198	628	0	0	0	0
25000–30000	27500	4	202	830	+1	+4	1	4
30000–35000	32500	3	205	1035	+2	+6	4	12
35000–40000	37500	1	206	1241	+3	+3	9	9
40000–45000	42500 = u_k	1	207	1448	+4	+4	16	16
$d = 5000$		$n = 207$	$M = 1448$	$\sum T = 5916$		$B = -413$		$A = 1079$

Таким образом, среднее значение радиуса вогнутой кривой несколько отличается от величины проектного радиуса ($12524 > 12100$ м), а среднее квадратическое отклонение радиусов ($5562,9$ м) является недопустимо большим (практически приближается к половине радиуса). При таком отклонении радиуса среднее квадратическое отклонение видимости при свете фар по формуле, соответствующей формуле теории риска [2], составит

$$\sigma_L = \sigma_R \cdot \left[\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{R_{cp} \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + h_{\Phi}}{\sqrt{R^2 \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 2 \cdot h_{\Phi} \cdot R_{cp}}} \right] =$$

$$= 5562,9 \cdot \left[\sin 1^{\circ} + \frac{12524 \cdot \sin^2 1^{\circ} + 0,75}{\sqrt{12524^2 \cdot \sin^2 1^{\circ} + 2 \cdot 0,75 \cdot 12524}} \right] = 195,5 \text{ м.}$$

Получается, что видимость поверхности дороги в темное время суток при свете фар на вертикальной кривой изменяется в пределах $\pm 195,5$ м. Такой эффект связан с низким качеством строительства вогнутой вертикальной кривой, по длине которой радиус изменяется в пределах

$$R = R_{cp} \pm \sigma_R = 12524 \pm 5562,9 \text{ м.}$$

Опуская подробное описание вычисления радиусов и среднеквадратических отклонений второй вогнутой кривой и выпуклой кривой (последней на рис. 1), покажем их значения:

- ◆ на второй вогнутой кривой среднее значение радиуса 14622 м ($R_{cp} = 14622$ м). Проектное значение радиуса 15000 м. Среднее квадратическое отклонение радиусов вогнутой кривой 6387,4 м ($\sigma_R = 6387,4$ м);

- ◆ на выпуклой кривой среднее значение радиуса 15680 м ($R_{cp} = 15680$ м). Проектное значение радиуса 15600 м. Среднее квадратическое отклонение радиусов выпуклой кривой 5298,3 м ($\sigma_R = 5298,3$ м).

Выводы. Строители почти выдержали в пределах данного участка дороги проектные радиусы выпуклой и двух вогнутых кривых, но допустили такие отклонения радиусов вертикальных кривых от средних значений, при которых видимость поверхности дороги на локальных участках вертикальных кривых значительно изменяется в меньшую сторону относительно требуемой видимости. На это указывают малые радиусы, определенные при $d = 20$ м и $d = 40$ м (см. табл. 2). Исключить указанные ошибки при строительстве дорог можно только при нормировании и соблюдении представленных в проекте двух параметров геометрических элементов: в данном случае это соблюдение

проектного радиуса и допуска на среднее квадратическое отклонение радиусов вертикальной кривой. Только тогда строители и заказчики будут контролировать оба параметра, что, несомненно, повысит безопасность движения автомобилей.

Список литературы

1. Столяров В.В. Технический регламент «Проектирование автомобильных дорог» (Альтернативный проект) // Дороги. Инновации в строительстве. – СПб., 2010. – С. 12–19.

2. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 1994. – Ч. 1, 2.

Получено 18.03.2011