

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

БУДІВНИЦТВО

Сбірник наукових праць

Випуск 10

Дніпропетровськ
2002

Редакційна колегія:

Доктори технічних наук: Пшінько О. М. (головний редактор), Казакевич М. І. (заступник головного редактора), Беляєв М. М., Петренко В. М., Солдатов К. І., Босов А. А., Данович В. Д., Рибкін В. В., Кравець В. В., Пунагін В. М., Руденко Н. М.; д-р фіз.-мат. наук Кравець В. В.; канд. техн. наук Корженевич І. П. (відповідальний секретар).

Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.

В статьях отражены научные исследования, выполненные авторами в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта и других организациях. Статьи посвящены разработке новых строительных материалов и технологий, новым подходам к исследованиям, применению современных математических методов в научных исследованиях.

Сборник представляет интерес для инженерно-технических работников и научных исследователей в области строительных материалов и организации строительства.

Будівництво: Збірник наукових праць. – Вип. 10. – Дніпропетровськ, 2002. – 139 с.

У статтях відображені наукові дослідження, які виконані авторами у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту та в інших організаціях. Статті присвячені розробці нових будівельних матеріалів і технологій, новим підходам до досліджень, застосуванню сучасних математичних методів у наукових дослідженнях.

Збірник представляє інтерес для інженерно-технічних робітників і наукових дослідників у галузі будівельних матеріалів та організації будівництва.

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРИВЫХ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ МАКСИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ

При подготовке участков железных дорог к введению скоростного движения поездов состояние железнодорожных кривых является одной из актуальных проблем современного путевого хозяйства. В связи с неточностью первоначальной укладки и погрешностями последующих выправок проектные характеристики плана линии зачастую не выдерживаются, а их фактические значения отличаются от паспортных данных. Геометрические параметры кривых, указанные на продольном профиле, часто не соответствуют фактическим данным. Несоответствие параметров кривых фактическому положению пути при машинной рихтовке приводит к тому, что кривые «зарихтовываются», нарушается стабильность пути и резко увеличиваются затраты на его содержание.

Следовательно, неоспоримым является вопрос о необходимости точной паспортизации кривых и прежде всего на скоростных участках железных дорог.

Методы, которые используются сегодня в дистанциях пути для определения фактических параметров кривых, несовершенны, так как в конечный результат привносится субъективность, недостаточна квалификация исполнителя и др. Для выполнения работы по приведению кривых в правильное положение и определению их геометрических параметров важнейшим является вопрос съемки существующего положения кривых.

Известно много способов съемки и расчетов кривых. Еще в 60-х годах на страницах журнала «Путь и путевое хозяйство» широко обсуждался вопрос о том, какой способ предпочтителен. Высказывались разные мнения, порой противоположные, о таких способах, как способ стрел и способ Гоникберга. Итоги дискуссии подвел И. Я. Туровский, который показал, что в

действительности оба способа расчета основаны на одних и тех же предпосылках и выполняются по одной и той же методике [1]. Никакого принципиального различия между ними не имеется и каждым способом можно с одинаковым успехом решать задачи, связанные с выправкой и переустройством плана пути [2].

На наш взгляд, до сих пор до конца не ясен вопрос, каким способом следует снимать кривые – при помощи теодолита или капроновой нити или каким-то другим, и какие данные должны быть положены в основу расчета кривых – углы поворота или стрелы изгиба. Чтобы ответить на поставленный вопрос, И. Я. Туровский воспользовался результатами замеров нескольких кривых, которые были произведены двумя способами: теодолитом и капроновой нитью. На основании проведенного анализа сделан вывод, что замер фактического положения пути в плане при помощи капроновой нити точнее, чем теодолитом, потому что теодолит является угломерным инструментом, а его применяют в данном случае для измерения и линейных величин [1].

К подобным выводам пришли авторы в работе [3]. Они установили, что случайные ошибки измерений стрел распределяются по нормальному закону с параметрами: математическое ожидание $\overline{\Delta F} = 0$, среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\Delta F} = 1,2$ мм, а при измерениях способом Гоникберга эмпирическая кривая распределения ошибок аппроксимирована кривой нормального распределения с параметрами $\overline{\Delta F} = 0$, $\sigma_{\Delta F} = 3,3$ мм.

Однако заметим, что оба указанных способа используют детерминированную информацию о состоянии кривых и значение кривизны кри-

вой можно получить только в точках замера стрел изгиба.

При определении максимальных допустимых скоростей движения поездов «Методика», разработанная ВНИИЖТом [4], не ограничивает работников служб пути в получении исходных данных для производства расчетов: «... необходимые данные о существующих параметрах кривых следует брать с графиков кривых, а в необходимых случаях и с лент прохода путеизмерителя или по данным ручных промеров».

Попытки получить данные о состоянии кривых и их параметрах по ленте вагона-путеизмерителя делались неоднократно. Имеющиеся разработки ВНИИЖТа, ДИИТа, ХИИТа, НИИЖТа и других вузов и научных организаций не дают однозначных рекомендаций к применению ленты вагона-путеизмерителя для этой цели. Так, в работах [5–7] рассматривается возможность использования данных путеизмерительной ленты для установления скоростей движения, расчета

рихтовки кривых и т. д., мотивируя это тем, что на практике для оценки состояния кривых зачастую используются паспортные данные, которые не всегда отражают действительные параметры кривых. В этих работах приводятся формулы для определения угла поворота и радиуса кривой:

– угол поворота

$$\alpha^{\circ} = 0,642 \cdot S ;$$

– радиус кривой

$$R = \frac{17680}{h_{л}},$$

где S – площадь графика кривизны на ленте вагона-путеизмерителя, $см^2$; $h_{л}$ – стрела изгиба на ленте вагона-путеизмерителя, $мм$.

Рассмотрим, как ошибки измерений влияют на установление проектных параметров кривой и допускаемой скорости движения поездов по ней.

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СТРЕЛ ПОСЕРЕДИНЕ 20-МЕТРОВОЙ ХОРДЫ

Для сравнения натурального положения кривой с проектным на каждую кривую составляется технический паспорт. По данным такого паспорта для одной из кривых (участок Львов–Мос-

тиска, пк 85+55 – пк 9+85, нечетный путь) построены графики натуральных стрел изгиба на 1996, 1998 и 2000 годы (рис. 1).

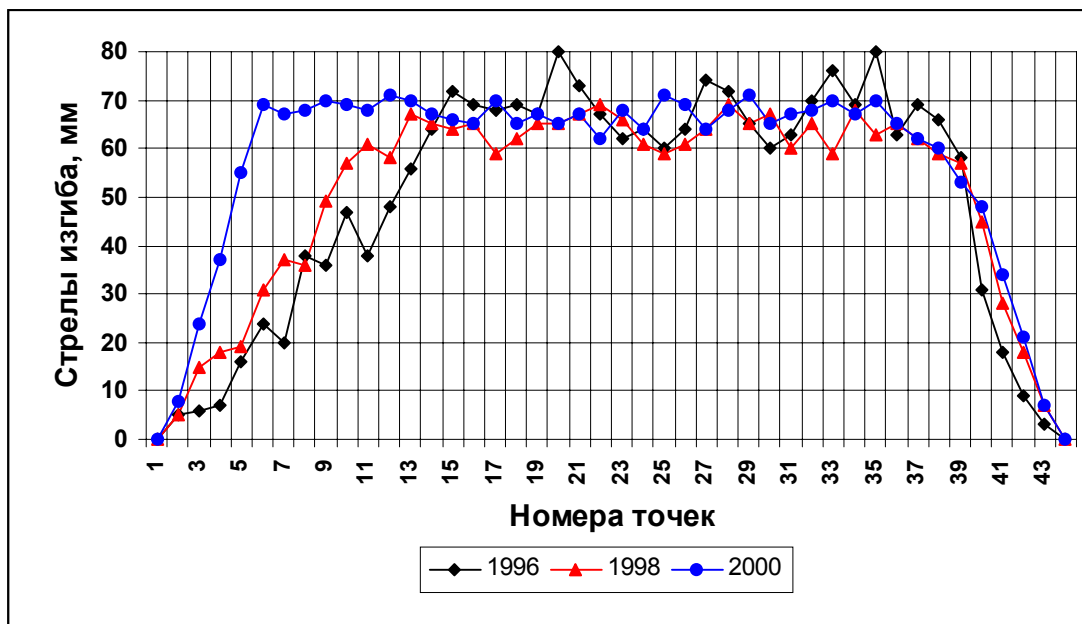


Рис. 1. Графики натуральных стрел изгиба одной и той же кривой

По данным того же паспорта в табл. 1 выписаны параметры кривой и сумма стрел изгиба.

Таблица 1

Параметры кривой

Наименование показателей	Параметры кривых на соответствующие годы		
	1986	1988	2000
Радиус кривой, <i>м</i>	750	790	746
Длина круговой кривой, <i>м</i>	260	260	310
Длина 1-й переходной кривой, <i>м</i>	110	110	50
Длина 2-й переходной кривой, <i>м</i>	60	60	70
Возвышение, <i>мм</i>	90	90	95
Сумма стрел, $S_{изм}$, <i>мм</i>	2166	2202	2502

Общий угол поворота кривой $\alpha_{рад}$ остается постоянным независимо от того, правильно стоит кривая или часть ее сдвинулась наружу, а часть внутрь, и равен

$$\alpha_{рад} = \frac{2}{a} \sum_{i=1}^N F_i \text{ или } \alpha_{рад} = \frac{2}{a} S_{изм}.$$

Поскольку кривая разбита на деления одинаковой длины a , то сумма стрел должна быть одной и той же. Фактически оказалось, что сумма измеренных стрел непостоянна (см. табл. 1).

Согласно [2] наиболее вероятное отклонение суммы измеренных стрел от истинной суммы равно

$$|\Delta S_{изм}| = \tau \sqrt{N},$$

где τ – точность измерения каждой стрелы; $\tau \approx 1,5$ мм; N – число точек кривой.

При $N = 43$ в данной кривой $|\Delta S_{изм}| = 10$ мм. Фактическая разность между суммами стрел двух различных замеров (см. табл. 1) значительно больше допустимой, что позволяет усомниться в достоверности исходных данных.

СПОСОБ ГОНИКБЕРГА

Считается, что достаточная для практических целей точность достигается при съемке кривой не реже чем через 20 метров. Съемка кривой производится участками длиной по 100 м путем измерения теодолитом углов поворота между лучами визирования и стрел прогиба по горизонтально положенной на рельс рейке.

Случайные ошибки измерений появляются в результате совместного воздействия большого числа факторов: точность инструментов, квалификация исполнителя, влияние окружающей среды (температура воздуха, освещенность, сила ветра) и др.

В результате съемки кривой способом Гоникберга могут иметь место следующие ошибки измерений:

- от центрирования теодолита – X_1 ;
- от редукции (неточность установки луча визирования) – X_2 ;
- от редукции, связанной с положением рейки (например пята рейки не по оси рельса), – X_3 ;

- не радиальность установки рейки в кривой – X_4 ;
- от ошибки считывания угла – X_5 ;
- от ошибки считывания значения стрелы по рейке – X_6 .

С учетом изложенного погрешность измерений способом Гоникберга является функцией вида

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_6)$$

При измерении длины хорды L возникают погрешности ΔL , при измерении величины стрелы F могут быть погрешности ΔF , при измерении угла α – погрешности $\Delta \alpha$. Погрешность функции Y можно записать в виде $Y = f(L, F, \alpha)$, а с учетом возможных погрешностей в измерениях функция Y получит общую погрешность ΔY

$$Y + \Delta Y = f(L + \Delta L, F + \Delta F, \alpha + \Delta \alpha),$$

$$\Delta Y = \frac{\partial f}{\partial L} \cdot \Delta L + \frac{\partial f}{\partial F} \cdot \Delta F + \frac{\partial f}{\partial \alpha} \cdot \Delta \alpha.$$

Для вычисления среднеквадратической ошибки пользуемся формулой вида

$$m_y^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial L} \cdot m_L \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial F} \cdot m_F \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \alpha} \cdot m_\alpha \right)^2.$$

Как показал проведенный анализ, точность съемки кривой этим методом снижается из-за несоблюдения методики измерений. Так, например, на участке Красне-Львов измерения кривой на ПК 14310+40 выполнялись следующим образом:

- углы двумя полуприемами с точностью 1' ;
- стрелы измерялись с точностью 1 см;
- длины хорд принимались такими: 1-я – 140 м; 2-я – 120 м; 3-я – 180 м.

Авторами статьи были выполнены многократные измерения кривых как методом стрел, так и методом Гоникберга. Анализ данных показал, что точность теодолитной съемки приближается к точности замера при помощи капроновой нити, когда рейка располагается от теодолита на расстоянии до 40 м (точность отсчета 1 мм). При удалении рейки от инструмента точность отсчета составляет 3...4 мм при 100-метровой хорде.

Наиболее точно угол поворота кривой может быть определен измерением его теодолитом. Учитывая, что в способе Гоникберга тео-

долит используется как для измерения углов поворота хорд, так и для измерения стрел в пределах каждой хорды, то подбору соответствующего инструмента и длины хорды должно быть уделено особое внимание.

Длину хорды или расстояние, в пределах которого неизбежная случайная ошибка Δ в отсчетах по рейке не превосходит некоторой допустимой величины (для реек шашечного типа ± 2 мм), можно определить по формуле

$$L = \Delta \frac{\rho''}{U''}, \quad (1)$$

где ρ'' – число секунд в радиане (206265'');

$$U'' = \sqrt{\left(0,15\tau''\right)^2 + \left(\frac{w''}{V^x}\right)^2}. \quad (2)$$

В выражении (2) под корнем первое слагаемое – ошибка за счет неточной установки цилиндрического уровня, равная $\pm 0,15\tau''$. Второе слагаемое – погрешность наведения (визирования). Она равна величине критического угла зрения глаза $w'' = 60''$, деленной на увеличение трубы V^x .

Подсчитанные по формуле (1) расстояния от теодолита до рейки, при которых ошибка отсчета не будет больше ± 2 мм, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики теодолитов

Показатели	Теодолиты			
	T2	T5к	T15	T30
Среднеквадратическая погрешность измерения углов из одного приема	2''	5''	15''	30''
Увеличение зрительной трубы (V^x)	27 ^x	27 ^x	25 ^x	20 ^x
Цена деления уровня при алидаде горизонтального круга (τ'')	15''	30''	45''	45''
Расстояние до рейки, м	130	82	58	56

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИВЫХ ПО ЛЕНТЕ ПУТЕИЗМЕРИТЕЛЯ

Определить фактический радиус кривой, возвышение наружного рельса, длину переходной кривой по записям на ленте путеизмерителя не просто.

Если рассматривать правильную кривую, то задача сводится к тому, чтобы найти переход от

стрелы изгиба f_a , замеренной путеизмерителем на расстоянии от заднего конца хорды $a = 4,109$ м при ее длине $A = 21,495$ м к стреле $f_{l/2}$, замеренной в середине хорды $l = 20$ м, принятой при ручных измерениях (рис. 2).

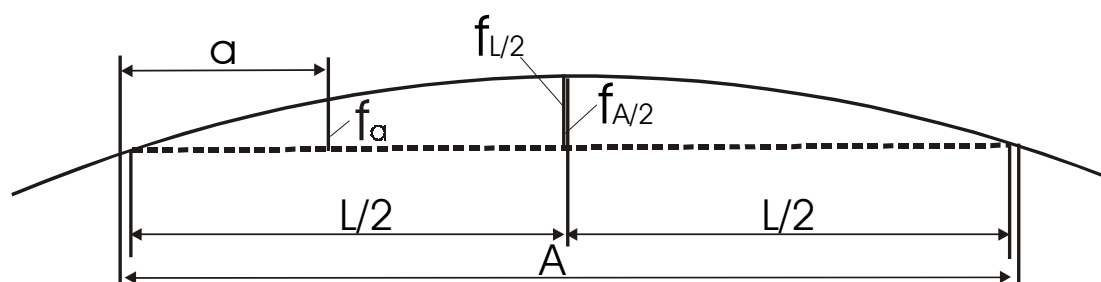


Рис. 2. Положение хорды путеизмерителя при его движении в кривой

При решении данной задачи вначале находится значение стрелы $f_{A/2}$ в середине хорды путеизмерителя, а затем через коэффициенты k_1 и k_2 осуществляется переход к стреле в середине 20-метровой хорды

$$f_{\frac{l}{2}} = f_{\frac{A}{2}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot m, \quad (3)$$

где k_1 – коэффициент перехода от стрелы f_a , измеренной на расстоянии от конца хорды $a = 4,109$ м, к стреле $f_{A/2}$ в середине хорды путеизмерителя. Если хорда путеизмерителя A в данный момент измерений находится в пределах круговой кривой, то коэффициент

$$k_1 = \frac{A^2}{4a(A-a)}.$$

При подстановке соответствующих значений получаем $k_1 = 1,617$; k_2 – коэффициент перехода от стрелы $f_{A/2}$, измеренной в середине хорды путеизмерителя, к стреле $f_{l/2}$ в середине 20-метровой хорды,

$$k_2 = \frac{f_{\frac{A}{2}}}{f_{\frac{l}{2}}} = \frac{l^2}{A^2}; \quad k_2 = 0,866.$$

В формуле (3) учитывается масштаб записи рихтовки на путеизмерительной ленте, $m = 2$.

При расположении путеизмерителя в пределах переходной кривой или частично на переходной, а частично на круговой кривой величина коэффициента k_1 становится переменной.

Такой подход необходим при расчете на ПЭВМ значений стрел и параметров кривых непосредственно по записям данных на ленте путеизмерительного вагона.

Для предварительных расчетов записи возвышения наружного рельса и стрел изгиба на ленте путеизмерителя усредняются. В этом случае точность определения геометрических параметров кривых зависит от того, насколько правильно будут построены средние линии по записям на ленте путеизмерительного вагона.

Возможность получения характеристик состояния кривых по путеизмерительным лентам и оценка достоверности этих данных проверялась сравнением параметров кривых, полученных в результате натурных обмеров, и расшифровки путеизмерительной ленты. Иллюстрация такого сопоставления представлена на рис. 3 и в табл. 3.

Существенное отличие результатов, полученных по путеизмерительной ленте, по сравнению с другими методами съемки в основном объясняется тем, что стрела измеряется от хорды с неравными плечами. Поэтому на расшиф-

ровке путеизмерительной ленты необходимо использовать методику, учитывающую эту особенность (см. статью «К вопросу определения параметров кривой по ленте путеизмерительного вагона» настоящего сборника).

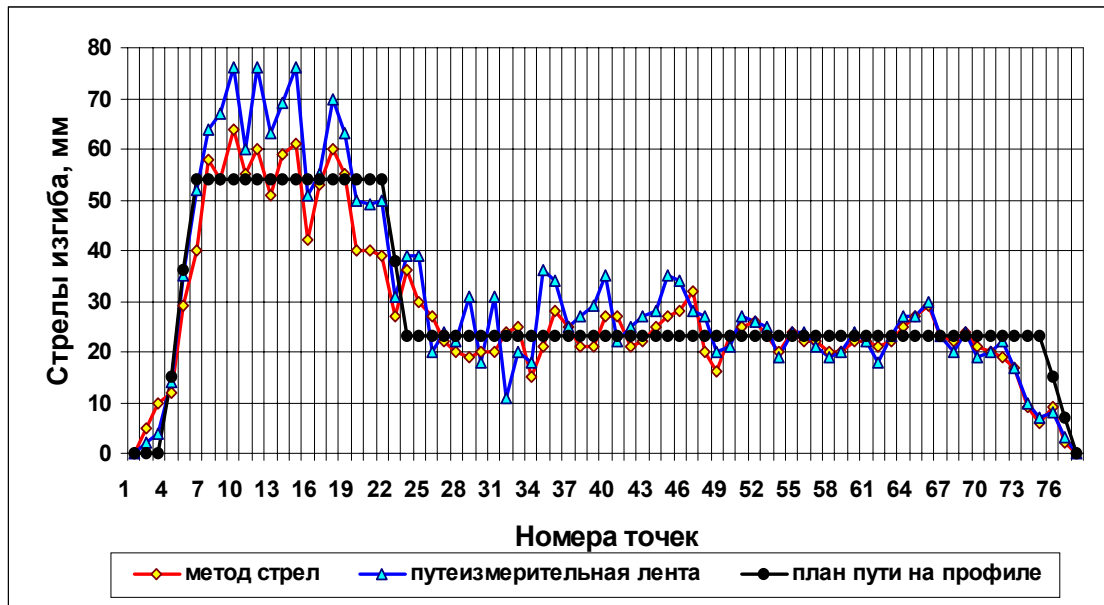


Рис. 3. Графики стрел изгиба двухрадиусной кривой, полученные по различным источникам (км 630, перегон Выревка–Конотоп)

Таблица 3

Значения параметров кривой и соответствующая им допустимая скорость движения

Параметры кривой и допустимая скорость	Значения параметров кривой, полученной разными методами измерений		
	метод стрел	путеизмерительная лента	из профиля
Угол поворота	24°2,5'	26°57'	25°15'
Радиусы R_1 и R_2 , м	894, 2150	740, 1988	926, 2174
Переходная l_1 , м	50	60	30
Круговая K_1 , м	96,34	71,72	169,70
Переходная l_2 , м	70	100	10
Круговая K_2 , м	446,11	339,32	559,66
Переходная l_3 , м	90	120	10
Скорость $V_{доп}$, км/ч	110	100	70
Причина ограничения	Д.1 $C_{прив} = 44201 \text{ м}^2$, $i_{прив} = 1,7 \text{ ‰}$	Ф.1 $R_1 = 740 \text{ м}$, $h = 60 \text{ мм}$	Д.1 $C_{прив} = 6494 \text{ м}^2$, $i_{прив} = 0,7 \text{ ‰}$

Приведенные в табл. 3 допускаемые скорости определены для выправленных кривых по методике, изложенной в Правилах [9].

Как видно из таблицы, эти скорости разные. Причинами ограничения являются в первом и третьем случаях (метод стрел и данные из профиля) приведенный параметр сопряжения переходных кривых $C_{прив}$ и суммарный уклон сопряжения $i_{прив}$, во втором случае – величина радиуса первой кривой.

В табл. 3: $C_{прив} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$, $i_{прив} = i_1 + i_2$, где

$C = R \cdot l$; i – уклон отвода возвышения наружного рельса.

Значительные расхождения между планом пути, приведенным на продольном профиле, и натурными измерениями объясняются тем, что подробный продольный профиль составлен инженерно-геологической базой управления Юго-Западной железной дороги в 1993 г., но при этом отметки земли и план линии были взяты из профиля 1963 г, то есть данные почти 40-летней давности. В то же время в ведомостях кривых Конотопской дистанции пути и в задании проектного институту на перепроектирование отдельных кривых под скорость 140 км/ч приводятся данные о радиусе и длине кривой из продольного профиля.

Из этого и других примеров следует, что при решении вопросов усиления пути и путевых сооружений с целью обеспечения на внутриукраинских транспортных коридорах скорости 140...160 км/ч необходимо провести на современном уровне работы по паспортизации кривых и установлению реальной допускаемой скорости движения по ним.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туровский И. Я. Каким способом замерять кривые? // Путь и путевое хозяйство. 1965. № 8. – С. 26–28.
2. Дюнин А. К., Проценко А. И. Аналитический метод проектирования переустройства железнодорожного пути в плане. – Новосибирск, 1967. – 226 с.
3. Проценко А. И., Фишер В. А. Ошибки измерения кривизны на железнодорожных кривых по способу Гоникберга и влияние этих ошибок на точность определения параметров кривых // Труды НИИЖТа. Вып. 184. – С. 40–50.
4. Методика определения максимальных допускаемых скоростей движения в кривых при существующих параметрах их устройства на линиях, подготавливаемых к обращению поездов со скоростями до 200 км/ч с использованием лент путеизмерительных вагонов. – М.: ВНИИЖТ, 1985. – 35 с.
5. Управление техническим состоянием пути / Под ред. Н. И. Карпушенко. – Новосибирск, 1995. – 205 с.
6. Щербина Ю. В., Двоскин А. М., Саяпин А. С. Определение основных элементов железнодорожных кривых по ленте вагона-путеизмерителя: сб. науч. тр. ХГАЖТ. – Харьков, 1994. – С. 45–50.
7. Щербина Ю. В., Саяпин А. С., Ватуля Л. П. Использование ленты вагона-путеизмерителя для определения основных параметров железнодорожной кривой и оценки воздействия подвижного состава на путь в кривой // Залізничний транспорт України. 1997. № 1. – С. 22–23.
8. Нормы допускаемых скоростей движения локомотивов и вагонов по железнодорожным путям колеи 1524 мм. МПС СССР: Приказ от 11.03.79 г. № 8ЦЗ.
9. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей руху поїздів в кривих ділянках колії. ЦП-0056. Дніпропетровськ. 1999. 44 с.
10. Нормы допускаемых скоростей движения локомотивов и вагонов по железнодорожным путям колеи 1520 мм. МПС Российской Федерации. Приказ от 14.07.94 г. № 2ЦЗ. 166 с.
11. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України / Даніленко Е. І., Орловський А. М., Татуревич А. П. та ін. – К.: Транспорт України, 1999. – 248 с. (ЦП 0050).