

УДК 625.144.5/.7

Гаврилов М. А., Лужицкий О. Ф., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЪЕМКИ КРИВЫХ ПРИ МАШИНИЗАЦИИ ПУТЕВЫХ РАБОТ

Изложены вопросы, касающиеся различных методов выправки пути, выполнен сравнительный анализ результатов измерений кривых участков пути вручную и с помощью автоматизированной системы (АС «Стрела»). Представлены результаты расчетов, выполненные с помощью программы расчетов выправки пути в плане («РВПлан»).

Ключевые слова: съемка кривой, машинный способ съемки кривых, ручной способ съемки кривых, АС «Стрела», РВПлан.

Havrylov M., Luzhitsky O., Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, Ukraine

ABOUT MEASUREMENTS IN CURVES RAILWAY TRACK WHEN INTRODUCED MECHANIZATION

The problems relating to different methods measurements curves railway track, a comparative analysis of the measurements curves railway by hand and with the help of an automated system (AS «Arrow»). The results of the calculations made using the program for calculation correction of irregularities of railway track («RWPlan»).

Key words: measurements curves, automated survey curves railway, by hand survey curves railway, AS «Arrow», RWPlan.

Введение

В Украине ведутся работы по повышению скоростей движения поездов *Hyundai, Skoda, Тарпан* до 160 км/ч на направлениях, соединяющих Киев с областными центрами. Скоростные поезда курсируют по железным дорогам общего пользования. Разница между максимальной скоростью грузовых и пассажирских поездов за последние десять лет увеличилась в среднем в 1,5 раза, существенно отличаются массы поездов, а потому обострились проблемы эксплуатационного и технического характера, связанные с расстройствами верхнего строения пути. Появилась необходимость более тщательно подходить к оценке показателей плавности движения и комфортности поездки, которые часто вообще не анализируются. Сегодня, когда, с одной стороны, увеличиваются скорости движения пассажирских поездов, а с другой – в

условиях экономического кризиса необходимо снижать затратную часть на их передвижение, такой подход к содержанию железнодорожного пути становится расточительным [1].

Очевидно, что с повышением скоростей движения поездов необходимо переходить к новым технологиям содержания и рихтовки кривых участков пути. При недооценке этих вопросов возникают проблемы, приводящие к уменьшению межремонтных сроков и жизненного цикла работы пути.

Естественно, что вопросы содержания и рихтовки пути тесно связаны с получением достоверной информации о параметрах кривых участков пути.

Для измерения положения пути в плане ручными методами используют три принципиально различных способа. Первый и самый известный из них – способ стрел (и его модификации) связан с измерением кривизны в отдельных точках пути. Второй способ связан с измерением углов поворота вдоль кривой, наиболее известный способ Гоникберга (Ленгипротранс).

Третий подход основан на измерении координат отдельных точек пути.

Также достаточно распространены способы измерения положения пути в плане с помощью подвижных измерительных систем. К таким системам относятся компьютеризированные путеизмерительные вагоны [2], путерихтовочные машины с разным типом оборудования для измерения пространственного положения пути и др.

Машинная съёмка с использованием различных автоматических систем типа АС «Навигатор» (НИЦ «Путеец», Россия), «Компас» (ВНИИЖТ, Россия), «СТРЕЛА+РВПлан» (ДИИТ, Украина), «ALC» (Plasser&Theurer, Австрия) и других менее известных системы, несмотря на увеличение скорости и упрощение технологического процесса выполнения работ, практически неприменимы в координатных методах расчета.

Несколько дальше в вопросе повышения точности определения пространственного положения кривой и координат пути пошла специалисты компании Plasser&Theurer (Австрия). Так, с января 2006 года на железных дорогах Германии (DB) поэтапно внедрялась DB Reference System (Deutsche Bahn Reference System) [3], которая основана на спутниковом позиционировании.

Сегодня в Украине сложилась довольно непростая ситуация. В погоне за уменьшением затрат на текущее содержание пути ведется сплошная механизация путевых работ без четкого контроля за их качеством. Как следствие – путь не приводится в проектное координатное положение.

Целью данной работы является исследование оценки точности автоматизированной машинной и ручной съемки кривых участков пути и эффективности выполнения путерихтовочных работ; разработка рекомендаций по совершенствованию автоматизированной машинной съемки пути.

Методика исследования

Сегодня в Украине в практике текущего содержания пути используются способ съемки методом стрел и машинная съемка.

В способе стрел, как правило, снимаемый участок разбивают на отрезки длиной 10 м по рабочей грани наружного рельса. Затем натягивают капроновую нить и измеряют стрелы изгиба по середине 20-метровой хорды на уровне 13 мм ниже поверхности катания (рис. 1). Так последовательно проходят весь измеряемый участок. После получения данных съемки выполняется расчет сдвигов для определения оптимального положения кривой вручную или с помощью какой-либо компьютерной программы, например РВПлан [4].

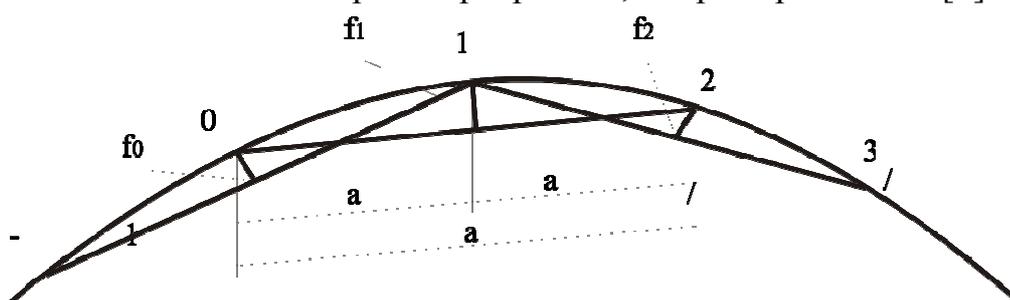


Рис. 1. Схема измерения стрел изгиба методом стрел

Измерение положения пути в плане машинным способом (рис. 2) выполняют с помощью электронных потенциометров, установленных на измерительной и контрольно-измерительной тележках. Созданный электронный файл с результатами измерений стрел изгиба обрабатывается компьютерной программой.

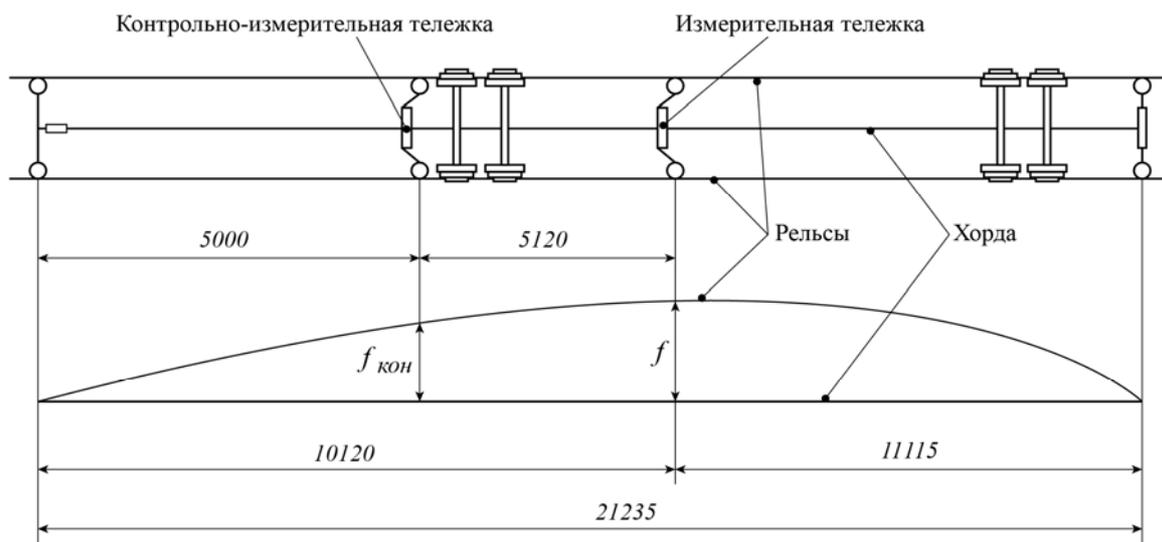


Рис. 2. Схема измерения стрел изгиба машинным способом

Для определения точности измерений, или, другими словами, в какой степени близости к истинному значению измеренных стрел они получены,

использована теория погрешностей предложенная Бесселем. Она характеризует точность одного измерения средней квадратической погрешностью m , которая определяется по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}, \quad (1)$$

где $[v^2]$ – сумма квадратов вероятных ошибок;
 n – число измерений.

Если одна величина измерена n раз и получены следующие результаты: $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$, то по формуле (2) можно определить арифметическую середину:

$$x = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}. \quad (2)$$

Величина x называется арифметической серединой или вероятным значением измеренной величины. Разница между каждым измерением и арифметической серединой называют вероятными погрешностями измерений:

$$\left. \begin{aligned} l_1 - x &= v_1, \\ l_2 - x &= v_2, \\ l_3 - x &= v_3, \\ &\dots\dots\dots \\ l_n - x &= v_n. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В общем виде получим следующую запись:

$$[l] - nx = [v]. \quad (4)$$

Предельная погрешность не должна превышать утроенной средней квадратической погрешности [5]:

$$\varepsilon = 3m. \quad (5)$$

Среднее квадратическое отклонение в техническом анализе используют для определения величины отклонения измерений инструмента. Это позволяет сравнить различные инструменты в плане точности измерений. В работе данный метод используется для сравнения точности ручного и машинного способов проведения измерений.

Результаты

Для выявления случайной ошибки измерений было выполнено три измерения кривых ручным и машинным способами. Поскольку каждое измерение дает несколько отличный от других измерений результат, то в данном случае для применения теории Бесселя необходимо найти среднее арифметическое значение измерений, которое принимается за истинное значение измеряемой величины.

Для каждого из измерений были выполнены расчеты сдвигов кривых с помощью программы РВПлан, алгоритм работы которой основан на

использовании рекуррентной модели плана, разработанной И.П. Корженевичем. Программа прошла многолетнюю проверку в дистанциях и службах пути, в проектных организациях Украины и России. Программа позволяет рассчитывать многорадиусные кривые практически любой сложности с ограничениями на величину рихтовок, начало и конец проектирования.

В качестве примера рассмотрим одну из кривых Львовской железной дороги, на которой было выполнено три независимых измерения вручную модифицированным методом стрел [6], и кривую на участке Приднепровской железной дороги (ст. Батуриная), которая снималась автоматизированной системой «Стрела-М», установленной на машине ВПР-02-№225 (рис. 3) [7]. Измеренные стрелы сравнивались с их средней арифметической, допуская, что средние значения измеренных стрел близки к истинным (рис. 4 и 5).



Рис. 3. Машина ВПР-02 №225 с системой «Стрела»

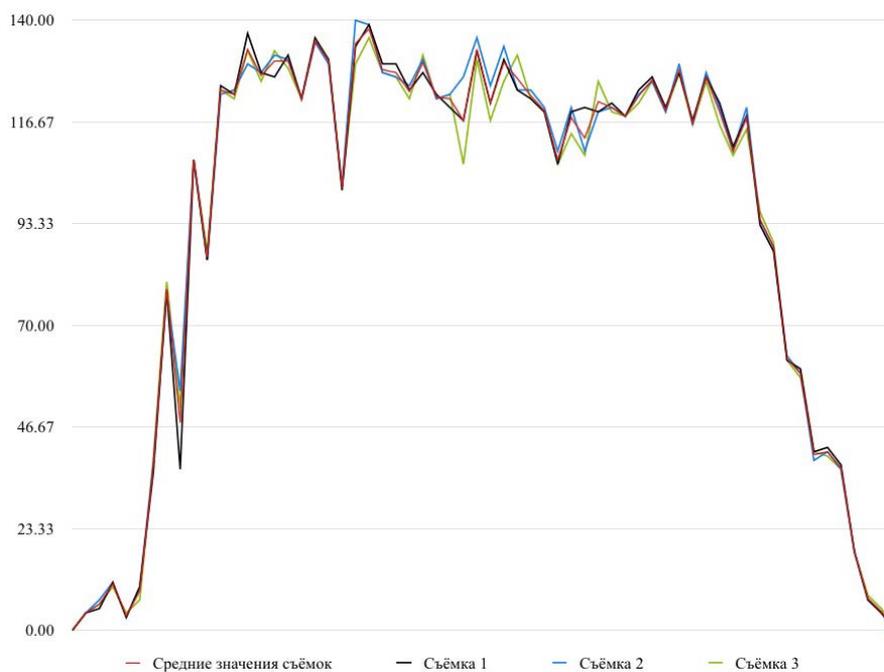


Рис. 4. График измеренных стрел по результатам ручной съёмки и график средних арифметических значений, мм

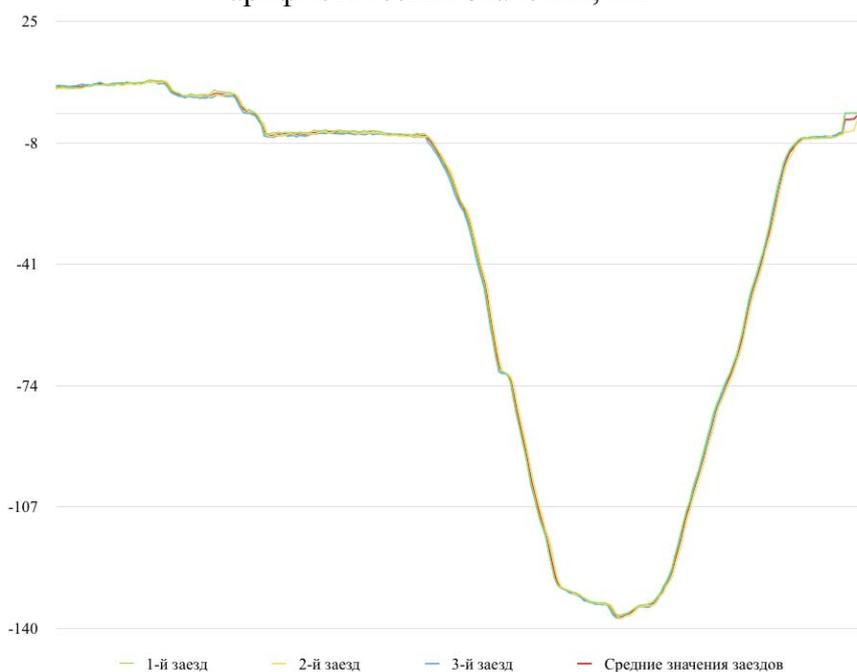


Рис. 5. График измеренных стрел по результатам съёмки машиной ВПР-02 и график средних арифметических значений, мм

Средняя квадратичная погрешность съёмки ручным и машинным способами была рассчитана для всего массива данных. Полученные результаты среднеквадратичной погрешности для съёмок удобно представить в виде графиков (рис. 6 и 7).



Рис. 6. График среднеквадратичной погрешности съемки стрел для всего массива данных, ручная съемка, мм

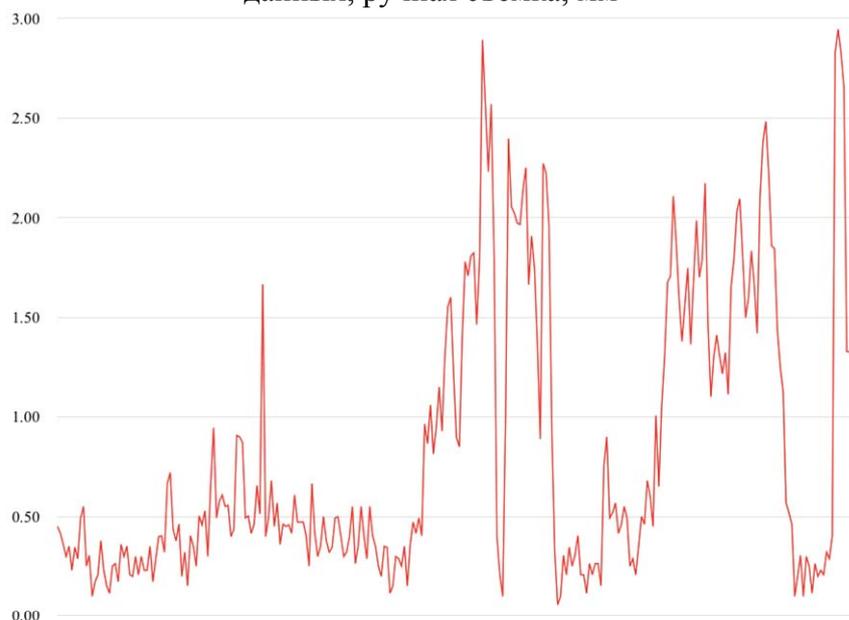


Рис. 7. График среднеквадратичной погрешности съемки стрел для всего массива данных, машинная съемка, мм

По формуле (2) находим среднее арифметическое значение измерений для всего массива данных:

$$x_{p.c} = 1,76 \text{ мм}$$

$$x_{m.c} = 0,81 \text{ мм}$$

Для каждого из измерений были выполнены расчеты выправки пути в программе РВПлан. Для этих расчетов по формуле (1) была определена

средняя квадратичная погрешность сдвигов для ручного и машинного способов измерений всего массива данных (рис. 8 и 9).

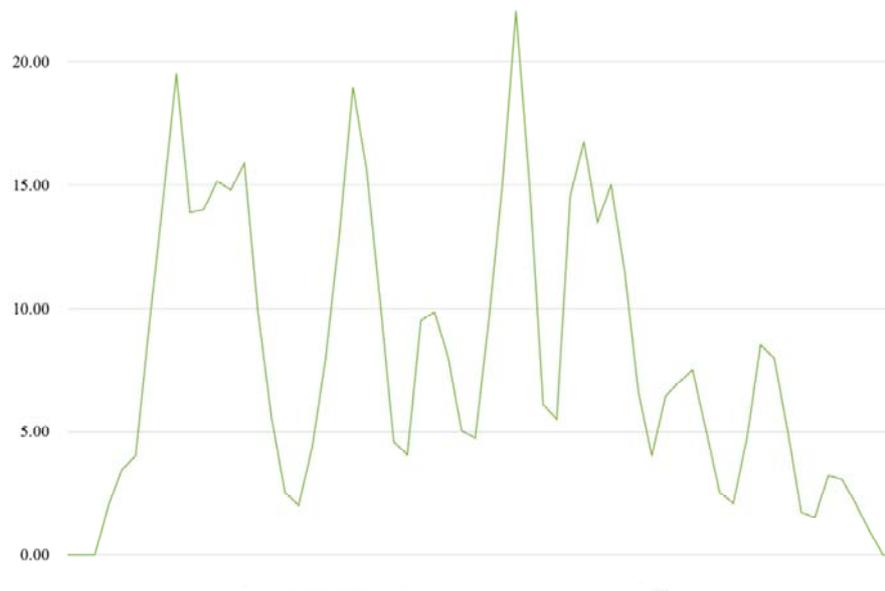


Рис. 8. График средней квадратичной погрешности сдвигов для всего массива данных, ручная съемка, мм

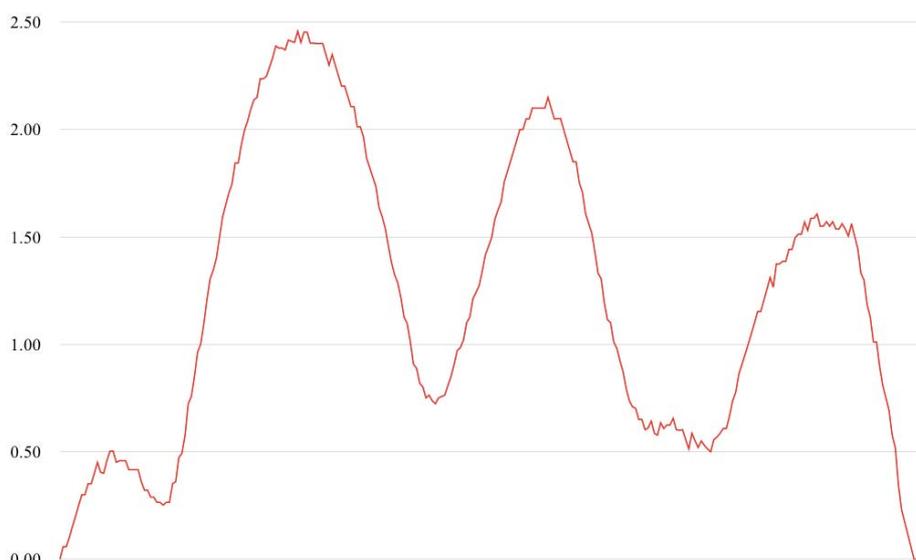


Рис. 9. График средней квадратичной погрешности сдвигов для всего массива данных, машинная съемка, мм

Для лучшего сравнения точности съемки кривых с помощью ручных инструментов и с помощью машин тяжелого типа необходимо найти среднеквадратичную погрешность результатов расчета сдвигов. Для этого найдена средняя арифметическая погрешность:

$$x_{p.c} = 7,85 \text{ мм}$$

$$x_{m.c} = 1,2 \text{ мм}$$

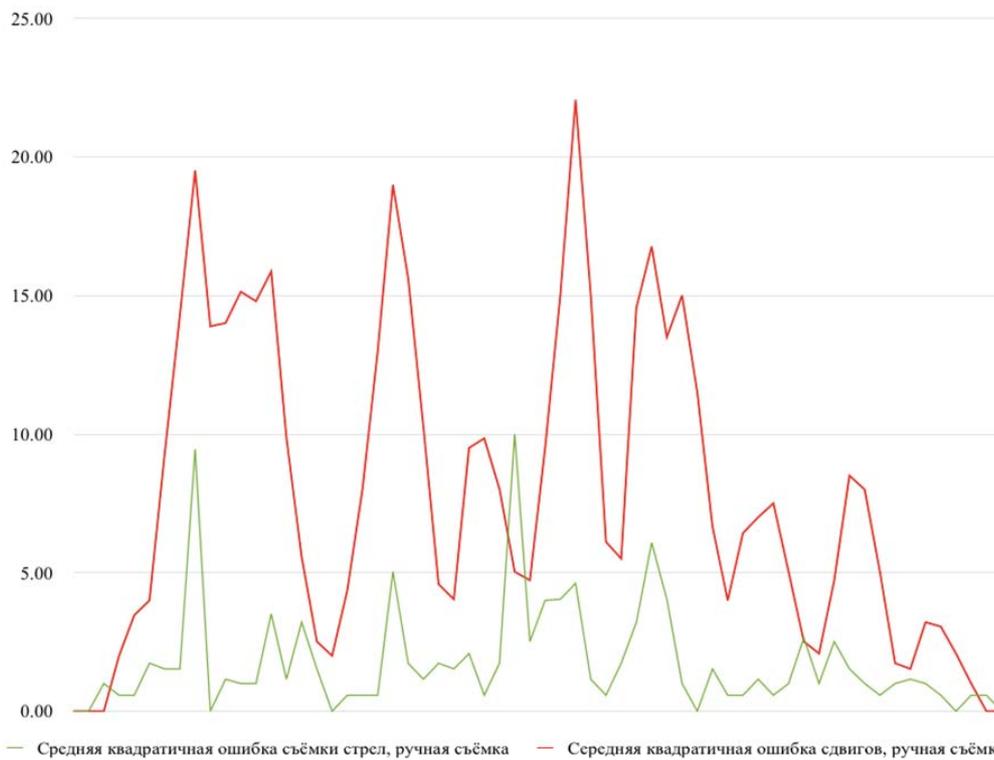


Рис. 10. График средней квадратичной погрешности съёмки стрел и рассчитанных сдвигов по результатам ручной съёмки, мм

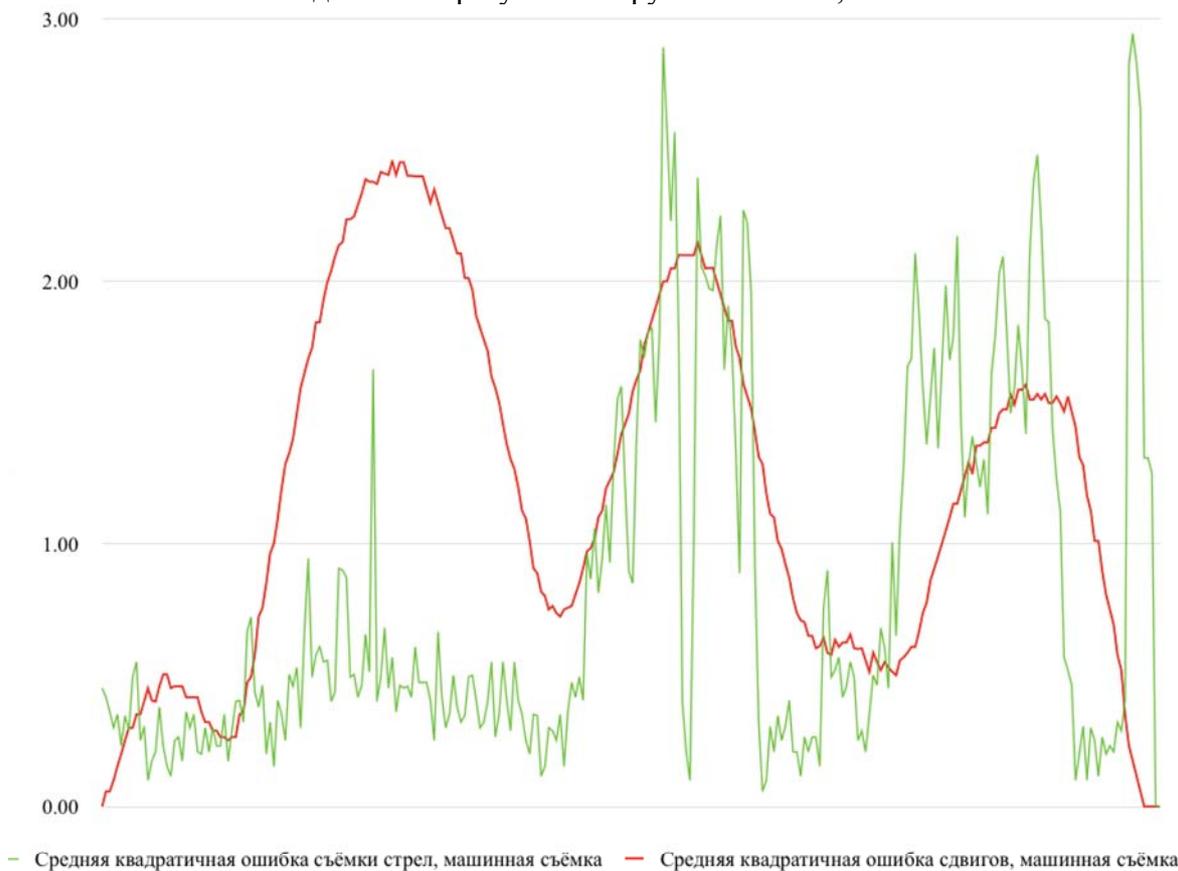


Рис. 11. График средней квадратичной погрешности съёмки стрел и рассчитанных сдвигов по результатам машинной съёмки, мм

Из графиков (рис. 10 и 11) четко видно, что средняя квадратичная погрешность результатов расчета сдвигов пути выше средней квадратичной погрешности съемки при обоих методах. То есть возникает нарастание погрешности от съемки до результатов расчетов сдвигов, а если учесть погрешность при проведении рихтовки, полученный результат состояния пути может оказаться хуже, чем до выправки. Такое нарастание погрешности значительно меньше при машинной съемке. Соответственно, средняя квадратичная погрешность расчета постановки пути в плане по результатам расчета значительно ниже.

Заключение

Было проанализировано съемку кривых методом стрел двумя способами – с помощью ручного инструмента и машин тяжелого типа. Согласно полученным результатам, точность съемки, а следовательно и результаты расчета сдвигов, оказались выше при машинной съемке.

Стоит также отметить, что работы по повышению точности съемки и выправки с помощью машин тяжелого типа проводятся постоянно и дают надежду на существенное повышение точности постановки пути в проектное положение уже в ближайшее время, а высокая скорость съемки и выправки с помощью таких машин открывает большие возможности по сравнению с ручными методами выполнения этих работ.

Список литературы

1. Корженевич И. П. План железнодорожного пути как один из основных факторов для снижения расходов и повышения скоростей / И. П. Корженевич, Б. И. Торопов // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог: труды всероссийской научно-практ. конф. с международным участием, Иркутск, 20–24 апреля 2009 г. – Иркутск : ИрГУПС, 2009. – Т. 2. – С. 105–110.
2. Корженевич И. П. Специальная реперная система для контроля положения пути в плане / И. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 25. – Дніпропетровськ : Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 69–71.
3. Marx L. DB Netz uses satellites to locate track in three dimensions /L. Marx – Railway Gazette International. – 2008. – Nov. – С. 872–875.
4. Корженевич И. П. Выправка кривых и решение задач плана в программе РВПлан / И. П. Корженевич // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока: сб. науч. тр. / Дальневосточный государственный университет путей сообщения; под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. – С. 71–79.
5. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений / А. Н. Зайдель – Изд./ 3-е, испр. и доп. – Л.: Изд-во «Наука» Ленингр. отд., 1968. – 96 с.
6. Корженевич И. П. Обеспечение точности съемки кривых при возрастании скоростей движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2003. – Вип. 2. – С. 174–175.

7. Экспертное заключение по оценке точности рихтовки железнодорожного пути в плане и выправки пути в профиле машиной ВПР-02 №225:/приказ № 15-Л с изменениями от 26 мая 2006 г., приказ № 22-Л, п. 2.02.07.01. – К., 2006.