

УДК 625.151:625.173.2

**Арбузов М. А., Патласов А. М., Токарев С. А.,** Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, Украина

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ СЪЕЗДОВ В ПЛАНЕ**

Статья посвящена оценке состояния соединительной части стрелочного съезда в плане. Проанализированы существующие методики измерения состояния кривых в плане. Проведен сравнительный анализ предложенной и существующей методики оценки положения кривой в плане по разнице в смежных стрелах изгиба. Предложен метод перехода от измеренных ординат к разнице стрел.

Ключевые слова: методика; измерение неровностей; соединительная часть стрелочного съезда; оценка состояния, нормативы.

**Arbuzov M., Patlasov A., Tokarev S.,** Dnipropetrovsk national University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian, Dnepropetrovsk, Ukraine

## **EVALUATION OF THE CROSSOVERS CONDITION IN PLAN**

The article is devoted to evaluation of the connecting part of crossovers in plan. A comparative analysis of the existing and proposed methodology for the curve position in the plan by the difference in the adjacent arrows bend was conducted. The transition method from the measured ordinates to the arrows difference has been proposed.

Key words: methodology; irregularity measurement; the connecting part of crossovers; estimation of the condition; norms.

### **Введение**

Соединения и пересечения путей, как неотъемлемая часть путевой инфраструктуры, занимают одно из лидирующих мест по расходам на их содержание и эксплуатацию. Ведь детали таких конструкций подвергаются более интенсивному воздействию горизонтальных и вертикальных сил от подвижного состава, чем элементы пути на перегоне. Это все обусловлено наличием определенных геометрических и механических особенностей таких конструкции.

Стрелочный съезд – одна из самых простых, на первый взгляд, конструкций соединения и пересечения путей. При более детальном рассмотрении данной конструкции появляется ряд особенностей, не присущих обычному пути.

К съездам, в первую очередь, необходимо относить только те комбинации укладки двух стрелочных переводов, при которых переводы соединены между

собой боковыми направлениями посредством вставки. В данном случае, геометрическая форма вставки в плане может иметь самые разнообразные формы – прямая, кривая малого радиуса (в некоторых случаях до 250–300 м и менее), S-образная кривая без прямой вставки и две разнонаправленные кривые с прямой вставкой между ними.

На сегодняшний день не существует нормативных рекомендаций, касающихся содержания стрелочных съездов в плане. К тому же, всё усугубляется отсутствием методики измерения, вызванное тем, что кривизна в пределах короткой соединительной части съезда может резко менять свое значение (в том числе и на противоположное). Можно попробовать решить поставленную задачу, прибегнув к традиционным методам.

Для установления состояния пути в соответствии с нормами содержания на практике применяют, так называемые, инструментальные методы оценки: метод стрел [3, 11], метод Гофера [6] и метод Гоникберга [8]. Первые два метода обычно используют при эксплуатации, последний – при проектировании реконструкции и ремонтов пути.

Метод стрел, имеющий наиболее высокую точность при измерении, получил широкое применение в связи с тем, что дает возможность получать усредненную кривизну пути дискретно в каждой точке с учетом двух смежных к ней [9].

Метод Гофера, который был забыт в течение последних нескольких десятилетий, был модифицирован и нашел дальнейшее применение на практике [5].

Все вышеперечисленные методы связаны между собой и с геометрической точки зрения могут быть перечислены один в другой.

На зарубежных железных дорогах вопросы оценки положения кривых в плане рассматривается аналогично с помощью метода стрел [12, 13].

Что касается современных способов оценки плана железнодорожного пути, то к ним можно отнести [7, 10]:

- съемка с помощью современных тахеометров;
- использование путеизмерительных вагонов;
- съемка с помощью реперной системы;
- съемка плана путевыми машинами;
- использование путеизмерительных тележек.

И всё-таки, при большом разнообразии методов измерений, резкое изменение кривизны пути в пределах соединительной части съезда не дает возможности оценить её состояние посредством существующих методик и нормативов.

Поэтому авторы предлагают усовершенствовать существующую методику, которая дала бы возможность получить стрелы изгиба в заданной точке для любого геометрического положения участка пути в плане и оценить его состояние по разнице в полученных смежных стрелах изгиба.

## **Цель**

Из вышесказанного следует, что необходимо разработать методику оценки положения стрелочного съезда в плане для работников путевого хозяйства. При этом предложенная методика должна по возможности сократить затраты

времени на измерение и обработку полученных результатов, к тому же в более полном объеме использовать существующую нормативную базу, касающуюся вопроса определения положения пути в плане.



Рис. 1. Общая схема стрелочного съезда:  
 СП1 – первый стрелочный перевод;  
 СП2 – второй стрелочный перевод

## Методика

Первоначально необходимо проанализировать возможные методики оценки положения соединительной части стрелочного съезда в плане и определить их основные преимущества и недостатки. Во внимание принимаются следующие методы:

- положение стыков рельсовых нитей соединительной части с помощью диагоналей;
- метод линейных засечек (полярный метод);
- положение съезда по ординатам от базисной линии, разбитой на обочине;
- оценка положения съезда по ординатам от базисной линии, разбитой по прямому направлению стрелочного перевода;
- измерение горизонтальных углов в плане;
- оценка положения съезда по ординатам от базисной линии, проходящей через центры стрелочных переводов;
- положение соединительной части стрелочного съезда по ординатам от базисной линии, находящейся между рельсовыми нитями.

Это далеко не полный перечень всевозможных методов, которые можно было бы принять во внимание.

Анализ всех методов показывает, что в качестве основного наиболее широко используемого на железных дорогах, целесообразно принять метод стрел. Все остальные предложенные методы будут теоретически проверяться и сравниваться с методом стрел.

Метод оценки положения стыков с помощью диагоналей заключается в измерении расстояний  $d_1, d_2, d_3, d_4$ .

Измеренные диагонали попарно должны сравниваться ( $d_1$  и  $d_2, d_3$  и  $d_4$ ).

Если пара измеренных диагоналей не равна, то имеют место горизонтальные неровности. Разница диагоналей характеризует наличие неровностей в плане или разбежку рельсовых стыков.

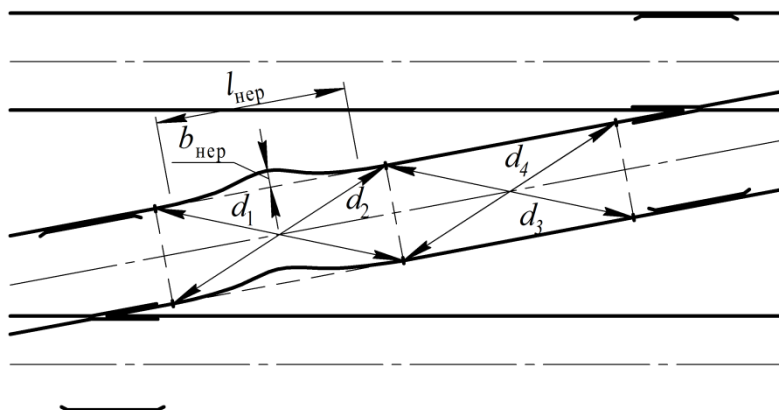


Рис. 2. Измерение положения стыков

Но оценить геометрические неровности, их длину  $l_{нep}$  и амплитуду  $b_{нep}$ , которые находятся между стыками или створами, практически невозможно. Таким образом, применение метода оценки положения стыков с помощью диагоналей не дает возможности в дальнейшем получить стрелы изгиба в промежуточных точках.

В таком случае необходимо намечать дополнительные точки на неровностях. Если стыки находятся не по наугольнику, задача по оценке горизонтальных неровностей усложняется, к тому же по измеренным значениям диагоналей математически перейти к стрелам изгиба практически невозможно.

При использовании метода линейных засечек (так называемый полярный метод) необходимо разбить вблизи пути на обочине базу длиной  $S$ . Соединительная часть разбивается контрольными точками на отрезки любой длины. С первой станции базы измеряются расстояния  $a_i$  к контрольным точкам. Со второй станции базы измеряются расстояния  $b_i$  к тем же точкам.

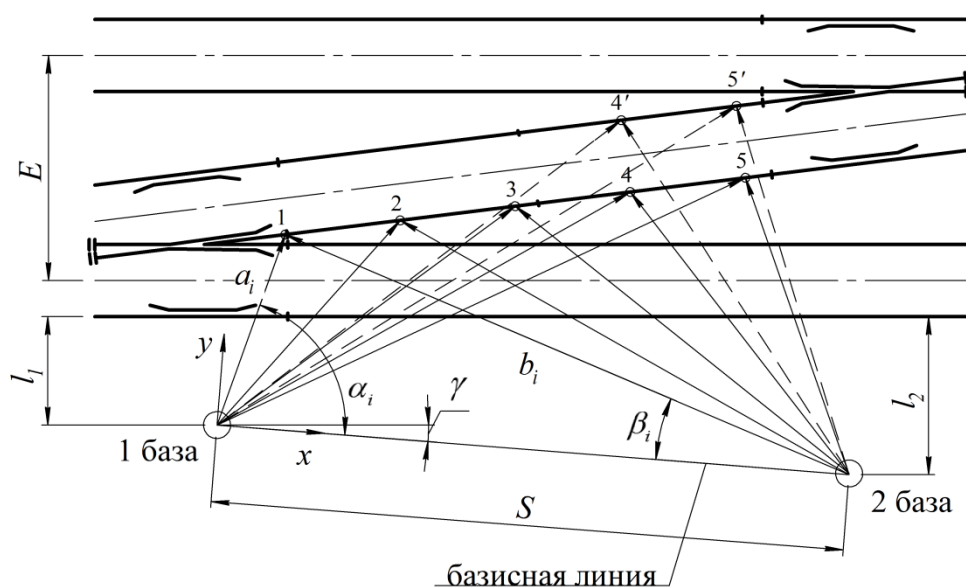


Рис. 3. Метод линейных засечек

Углы  $\alpha_i, \beta_i$  можно определить по формуле:

$$\begin{cases} \alpha_i = \arccos\left(\frac{S^2 + a_i^2 - b_i^2}{2a_i S}\right), \\ \beta_i = \arccos\left(\frac{S^2 - a_i^2 + b_i^2}{2b_i S}\right). \end{cases} \quad (1)$$

Координаты  $X_i$  та  $Y_i$  для каждой точки измерения можно установить из выражения:

$$\begin{cases} X_i = S \frac{\operatorname{tg} \beta_i}{\operatorname{tg} \alpha_i + \operatorname{tg} \beta_i}, \\ Y_i = S \frac{\operatorname{tg} \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \beta_i}{\operatorname{tg} \alpha_i + \operatorname{tg} \beta_i}. \end{cases} \quad (2)$$

Проверку измеренных координат для каждой из точек можно выполнить с другой стороны съезда, разбив при этом новую базисную линию и выполняя аналогичный порядок действий.

Погрешность измерений возрастает с увеличением расстояний  $a_i$  и  $b_i$ , поэтому базис  $S$  следует размещать как можно ближе к пути. Основным недостатком можно считать тот факт, что при определении кривизны пути в смежных точках ее значение может очень резко меняться за счет погрешностей измерений.

Для сравнения также представлен метод измерения ординат от базисной линии, разбитой на обочине. Для этого необходимо зафиксировать базовую линию, по возможности, в пределах земляного полотна. Для дальнейшего измерения ординат необходимо базисную линию разделить на контрольные точки для измерения, расстояния между которыми  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  не обязательно одинаковые<sup>4</sup>.

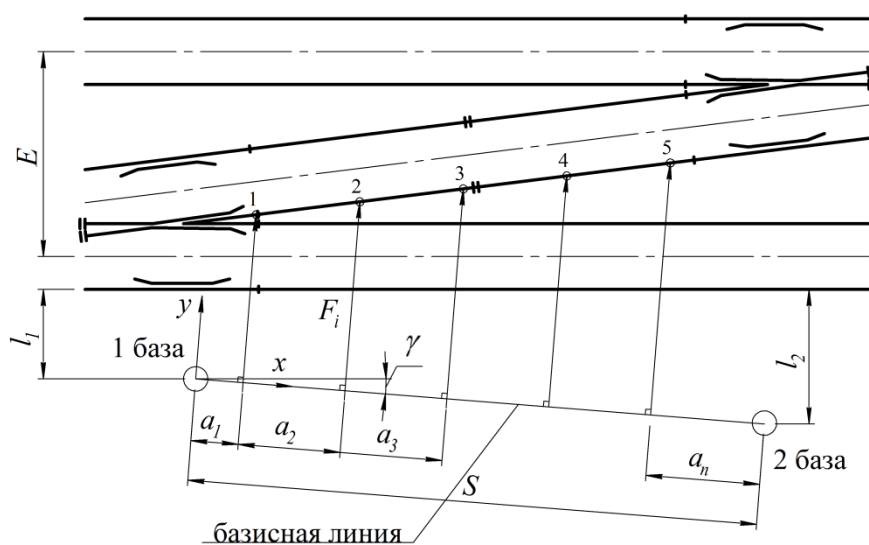


Рис. 4. Измерение ординат от базисной линии, разбитой на обочине

С контрольных точек перпендикулярно к базисной линии прокладываются отрезки до пересечения с рельсовыми нитями пути.

При съемке большое внимание следует уделять отложению перпендикулярной линии от базиса. Выполнять такую операцию трудно, особенно при значении ординат более 1000 мм. Геометрическое положение соединительной части съезда определяется по результатам измеренных ординат.

Проблематика измерения таким методом заключается в том, что значение ординат устанавливается по нерабочей грани рейки. И поэтому дополнительно необходимо учитывать износ головки рельса в каждой точке. И еще нельзя обойти стороной тот факт, что станции для базисной линии нужно надежно закрепить, поскольку во время пропуска поездов по участку не исключено их смещение. А это все приводит к увеличению затратам рабочего времени.

Следующий из представленных для анализа методов – оценка положения съезда по ординатам от базисной линии, разбитой по прямому направлению стрелочного перевода<sup>5</sup>. Данный метод является формально продолжением предыдущего. За счет того, что прямое направление стрелочного перевода выступает в качестве базисной линии, облегчается разбивка и выполнения обмеров необходимых геометрических параметров съезда.

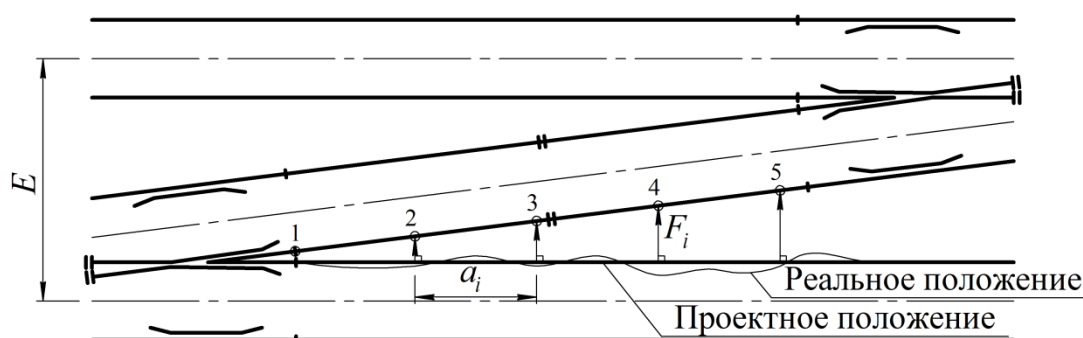


Рис. 5. Измерение ординат от прямого пути

Недостатком данного метода является то, что при измерении прямой путь может иметь горизонтальные неровности, вносимые фиктивную неровность в соединительную часть съезда.

Как вариант, положение соединительной части стрелочного съезда в плане можно оценить по величине горизонтальных углов. Обычно такие случаи возникают в пределах стыковой зоны при соединении двух рельсов<sup>6</sup>.

Угловые перемещения рельсов при эксплуатации могут возникать:

- вследствие неточностей при укладке переводов в съезд;
- недостаточной поперечной устойчивости рельсошпальной решетки;
- снижения нормативной силы прижатия клемм;

- угона пути и наличия температурных сил в рельсах летом, которые могут привести к появлению нулевых зазоров;
- неправильного расположения шпал и брусьев в зоне съезда.

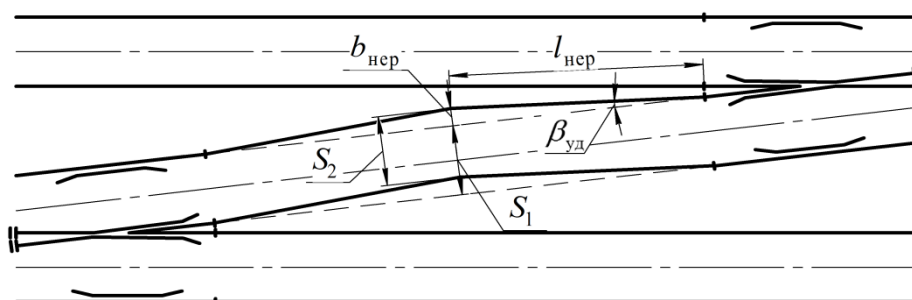


Рис. 6. Измерение углов в плане

Сразу возникает вопрос, каким образом оценить полученную величину угла. На сегодняшний день, единственной величиной, характеризующей так называемый угол удара, является показатель потери кинетической энергии при ударе в остриек стрелочного перевода [4]:

$$\omega_{с-о}^2 = V^2 \sin^2 \beta_{уд}, \quad (3)$$

где  $V$  – скорость.

Максимальный угол удара, в свою очередь, формируется рядом других факторов:

$$\cos \beta_{уд} = \cos \beta_n - \frac{\delta_{\max}}{R_0}, \quad (4)$$

где  $\beta_n$  – начальный стрелочный угол;  $\delta$  – зазор между гребнем колеса и рельсом;  $R_0$  – начальный радиус острьяка.

Величина радиуса составляет:

$$R_0 = \frac{V^2}{j_0}, \quad (5)$$

где  $j_0$  – мгновенное (импульсное) центробежное ускорение.

В настоящее время в различных странах мира величины мгновенных центробежных ускорений при проектировании приняты в пределах от 0,4 до 1,0 м/с<sup>2</sup> [1, 13, 15]. Но как показывают теоретические и экспериментальные исследования, эти значения могут достигать 2–2,5 м/с<sup>2</sup> [13].

Необходимо также принять во внимание тот факт, что условия взаимодействия в рамках стрелочного перевода и в кривой значительно отличаются. Это, во-первых, скорость движения. Во-вторых, наличие или отсутствие воз-

вышения наружного рельса. В-третьих, конструктивные особенности остряков, которые, в отличие, от обычных рельсов, незакрепленные. И еще множество других факторов, влияющих на взаимодействие пути и подвижного состава. Поэтому, оценить положение соединительной части стрелочного съезда в плане по величине углов удара возможно, но не совсем корректно. Ограничение скорости в зоне появления углов в плане можно устанавливать за счет изменения ширины колеи  $S_2$  относительно регламентированного значения  $S_1$  [2, 11].

Метод оценки положения съезда по ординатам от базисной линии, проходящей через центры стрелочных переводов также предусматривает измерение ординат  $F_i$  с определенным шагом  $a_i$ .

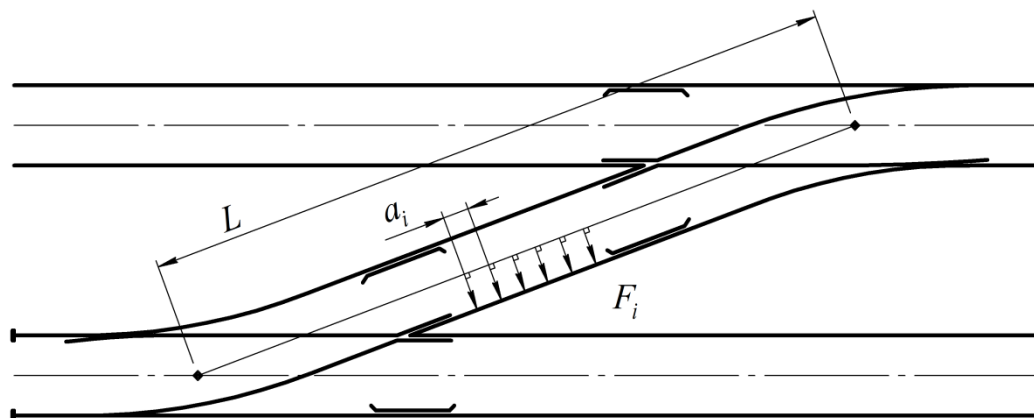


Рис. 7. Оценка положения съезда по ординатам от базисной линии, проходящей через центры стрелочных переводов

Метод имеет ряд сложностей при выполнении измерений. Во-первых, достаточно сложным является процесс установки и фиксации центров стрелочных переводов, во-вторых, рельсы прямого направления требуют расположения базисной линии на более высоком уровне, в-третьих, четко разбить (с определенным шагом  $a_i$ ) базисную линию вызывает определенные трудности. В результате того, что базисной линией является нить, которая имеет упругие свойства, измерения не стабильны.

Последний из предложенных к рассмотрению методов, является метод оценки положения соединительной части стрелочного съезда по ординатам от базисной линии, находящейся между рельсовыми нитями<sup>8</sup>. За основу приняты измерения ординат от рельсовой нити к базисной линии (метод прямоугольных координат).

Проблема использования данного метода заключается в том, что действующие нормативные документы не регламентируют порядок использования измеренных ординат.

Авторы предлагают оценивать положение соединительной части в плане по ординатам, значения которых математически приведены к стрелам изгиба, сравнивая которые можно получить состояние рассматриваемой части.

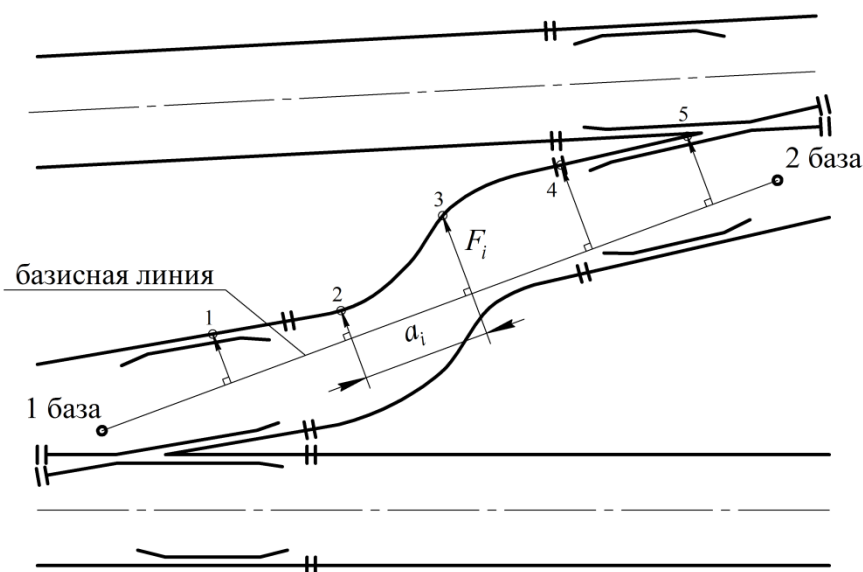


Рис. 8. Измерение ординат от базисной линии, находящейся между рельсовыми нитями

На рис. 9 9 представлена расчетная схема перехода от ординат, измеряемых по перпендикулярам к базисной линии. Обозначим стрелу изгиба в  $i$ -й точке как  $f_i$ . Ординаты, измеренные в  $i$ -й и в смежных точках, соответственно  $F_i$  и  $F_{i-1}$ ,  $F_{i+1}$ . Из геометрических соображений можно записать формулу для определения стрелы изгиба  $f_i$ , измеренной от середины хорды длиной  $a$ .

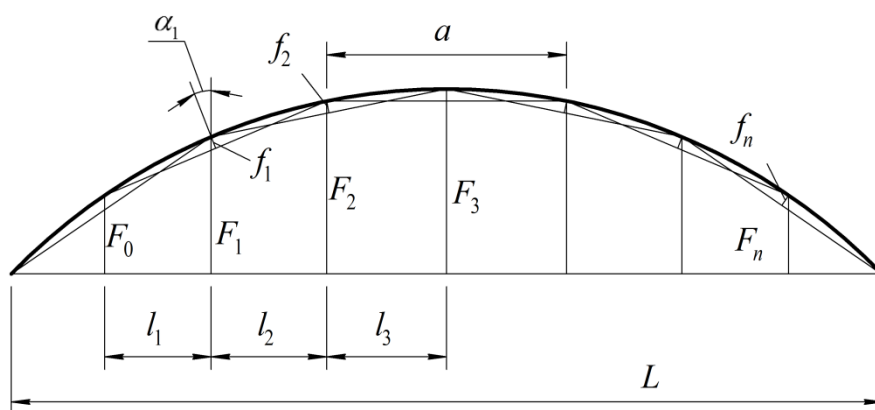


Рис. 9. Расчетная схема перехода от измеренных ординат  $F$  к стрелам изгиба  $f$

Учитывая тот факт, что в реальных условиях угол  $\alpha$  имеет значение близко к нулю, так что  $\cos \alpha \approx 1$ , тогда можно записать:

$$f_i \approx F_i - \frac{1}{2}(F_{i+1} + F_{i-1}), \quad (6)$$

где  $F_i, F_{i-1}, F_{i+1}$  – ординаты, которые измерены от базисной линии, мм.

Тогда разница в смежных стрелах изгиба в общем виде будет составлять:

$$\Delta f = f_{i+1} - f_i = \frac{1}{2}[F_{i-1} - 3(F_i - F_{i+1}) - F_{i+2}]. \quad (7)$$

## Результаты

Для апробации предложенной методики были проведены натурные измерения в реальных условиях.

Участок пути разбивался через 1 м и измерения проводились при 10-метровой хорде (радиус кривой  $R \approx 300$  м).

Были измерены фактические ординаты  $F_i$ , стрелы изгиба  $f_i^{\text{изм}}$  получена их разница  $\Delta f_i^{\text{изм}}$ , рассчитаны путем трансформации ординат с помощью предложенной методики расчетные стрелы  $f_i^{\text{расч}}$  и определена их разница  $\Delta f_i^{\text{расч}}$ . Расхождения между измеренными и полученными значениями разности стрел по абсолютной величине находятся в ее пределах.

## Научная новизна и практическое значение

Предложена усовершенствованная методика оценки положения соединительной части стрелочного съезда в плане, которая достаточно быстро меняет свою кривизну и имеет короткие неровности, существенно влияющие на процессы взаимодействия пути и подвижного состава.

Полученные результаты показали, что данный метод достаточно просто и удобно использовать для выполнения натурных измерений с применением наименьшего количества измерительных средств. Также за счет упрощенной методики обработки данных и отсутствия противоречивости относительно существующей нормативной базы (разности смежных стрел изгиба) сразу можно установить допустимую скорость по заданному участку пути (стрелочному съезду).

## Выводы

1. Проанализированы существующие методики оценки геометрического положения пути, в том числе соединительной части стрелочного съезда в плане при эксплуатации и проектировании ремонтов пути.
2. Рассмотрено несколько вариантов существующих методик. Проведен сравнительный анализ, установлены основные преимущества и недостатки. Определен наиболее подходящий вариант для детального анализа.
3. Разработано математическое обоснование взаимосвязи существующей и предложенной методик.

4. Проведена качественная и количественная верификация предложенной методики оценки состояния соединительной части стрелочных съездов. Результаты показали адекватность предложенной методики и отсутствие противоречий.

## Список литературы

1. Глюзберг Б. Э. Расчет и проектирование скоростных стрелочных переводов и съездов / Б. Э. Глюзберг. – М. : Рос. гос. откр. техн. ун-т путей сообщения, 2002. – 53 с.
2. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган та інші. – К. : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 465 с.
3. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. Ф. Сушков та інші. – К. : Транспорт України, 2002. – 156 с.
4. Даниленко Э. И. Стрелочные переводы железных дорог Украины. Технология производства. Эксплуатация в пути. Расчеты и проектирование / Э. И. Даниленко, А. П. Кутах, С. Д. Тараненко. – К. : Киев. ин-т ж.-д. трансп., 2001. – 296 с.
5. Корженевич И. П. Комбинированный способ съемки плана железнодорожной линии / И. П. Корженевич // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 14. – С. 81–85.
6. Корженевич И. П. Новые способы съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12 – С. 45–49.
7. Корженевич И. П. Обеспечение точности съемки кривых при возрастании скоростей движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2003. – Вип. 2. – С. 174–177.
8. Курган М. Б. Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак, Н. П. Хмелевська // Транспортні системи і технології : зб. наук. пр. Держ. екон.-технол. ун-ту трансп. – 2013. – Вип. 21. – С. 57–63.
9. Мамитко А. А. Оценка возможности использования метода стрел при решении задач определения параметров элементов плана железнодорожного пути [Электронный ресурс] / А. А. Мамитко / Журн. «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование». – 2013. – Вып. 4 (40). – С. 162–166. – Режим доступа : [http://www.irgups.ru/sites/default/files/docs/4\\_40\\_13.pdf](http://www.irgups.ru/sites/default/files/docs/4_40_13.pdf). – Название с экрана. – Проверено 26.06.2015.
10. Пикалов А. С. Повышение эффективности реконструкции железнодорожного пути за счет применения современных технологий : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.11 / Пикалов Александр Сергеевич : Сиб. гос. ун-т путей сообщения. – Новосибирск, 2013. – 24 с.
11. Правила и технология выполнения основных работ при текущем содержании пути / МПС России. – М. : Транспорт, 1998. – 136 с.
12. Jodlbauer G. Digitales Aufzeichnungssystem für Gleisbaumaschinen / G. Jodlbauer, J. Neubert // EI-Eisenbahningenieur. – 2014. – № 8. – P. 22–26.
13. Kim S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // International Journal of Railway. – 2012. – Vol. 5. – № 4. – P. 156–162. Track Safety Standards Compliance Manual [Virtual Resource] / Office of Safety Assurance and Compliance. – 2002. – January 1. – 423 p. Access Mode : URL : [hsdl.org/?view&did=15770](http://hsdl.org/?view&did=15770). – Title from Screen. – Date of Access : 26 June 2015.
14. Tunna, J. Regional Fast Rail Project: Turnout Safety Analysis [Virtual Resource] / John Tunna, Xinggao Shu // Transportation Technology Center. – 2006. – June 30. – 68 p. – Access Mode : URL : [ptv.vic.gov.au/assets/PTV/PTV%20docs/VRIOGS/RFR-Turnout-Safety-Analysis.pdf](http://ptv.vic.gov.au/assets/PTV/PTV%20docs/VRIOGS/RFR-Turnout-Safety-Analysis.pdf) – Title from Screen. – Date of Access : 26 June 2015.
15. UIC 513R Guidelines for Evaluating Passenger Comfort in Relation to Vibration in Railway Vehicle. Traction and Rilling Stock Committee. – Paris, 1994.