

УДК 622.06

## **ВЫСОКАЯ ТОЧНОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ – ВЫСОКАЯ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

*Самойленко А. Н.*

Высокая точность геодезических измерений – высокая скорость движения поездов

Аннотация: в статье описан метод обеспечения нормированных геометрических параметров пути, как одно из необходимых условий обеспечения безопасности движения железнодорожных составов на высокой скорости. Также приведены рекомендации использования современных методов и средств обработки измерений и вычисления фактических геометрических параметров.

*Ключевые слова:* рекомендации, геометрические параметры пути.

Обеспечение нормированных геометрических параметров пути есть одно из необходимых условий обеспечения безопасности движения железнодорожных составов на высокой скорости. В свою очередь, получение фактических геометрических параметров пути невозможно без внедрения высокоточных геодезических приборов и методов измерений ими, а также без современных методов и средств обработки измерений и вычисления фактических геометрических параметров.

На решение этой важнейшей научно-технической задачи были направлены совместные усилия Укрметртестстандарта и фирмы ECOMM Co. Выполненные разработки проверялись на шестикилометровом участке железнодорожного пути. При этом, создание геодезической сети и высокоточную съемку рельсов пути при помощи GPS-приемников выполняла фирма ECOMM Co. Ступение геодезической сети и высокоточную съемку рельсов пути при помощи высокоточного электронного тахеометра, а также разработку технологии вычисления и вычисление геометрических параметров пути, выполнял Укрметртестстандарт.

Целью выполняемой работы было доказательство высокой эффективности, точности и информативности определения фактических геометрических параметров железнодорожных путей разработанными Укрметртестстандартом и ECOMM Co методами, основанными на применении современных высокоточных геодезических приборов фирмы Trimble, а также разработанных Укрметртестстандартом методов обработки измерений.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработана высокопроизводительная и высокоточная технология полевых измерений исключая субъективный человеческий фактор (все результаты измерений автоматически записываются в память прибора – GPS-приемника или тахеометра);
- разработана методика вычисления оптимальных геометрических параметров пути и рихтовочных данных рельсов по результатам измерений;
- выполнено сравнение двух методов измерений – с применением GPS-приемников и высокоточного электронного тахеометра;

- выполнена предварительная оценка состояния геометрических параметров пути и их сравнение с имеющимися данными.

Авторами реализовано собственное видение проблемы, поэтому специалисты выполнившие проект готовы к сотрудничеству со специалистами “Укрзалізниці” по дальнейшему совершенствованию как технологии измерений, так и методики и форм представления результатов вычислений.

## 1. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Для выполнения измерений в единой системе координат фирмой ECOMM Co. была создана геодезическая сеть в виде вытянутого вдоль пути полигонометрического хода из 6 точек расположенных непосредственно возле путей. Измерения выполнялись тремя GPS-приемниками сессиями продолжительностью 2 часа. Погрешность определения координат точек геодезической сети не превышала 2 мм.

Относительно точек геодезической сети была выполнена съемка левого по ходу съемки (правого по направлению движения) рельса пути. Измерения при съемке (координирование точек по оси рельса), в первом случае выполнялось, двумя двухчастотными GPS-приемниками, один из которых устанавливался на точке сети, а другой на подвижной тележке так, чтобы его антенна находилась над осью рельса при ее движении. В другом случае на точках геодезической устанавливались два приемника, а подвижный приемник перемещался между этими точками.

Измерения при определении координат точек по оси рельса выполнялись в кинематическом режиме реального времени, т. е. координаты точек получались сразу. Интервал измерений устанавливался 1 с, поэтому при движении тележки со скоростью 5 км/ч расстояния между закоординированными точками составляли приблизительно 1 – 1.5 м. Погрешность определения горизонтальных координат точек в кинематическом режиме реального времени – 10 мм, вертикальных – 20 мм.

При обработке второго случая измерений в условиях лаборатории с использованием специального программного обеспечения точность определения координат повысилась в 2 – 2,5 раза.

Для выполнения измерений тахеометром геодезическая сеть сгущалась, т. е. между точками, координаты которых определялись GPS-приемниками, прокладывались полигонометрические хода состоящие из 2 – 3 точек при помощи тахеометра Trimble 5601, погрешность измерения горизонтальных и вертикальных углов которым не превышает 1", а длин – 1 мм.

С точек геодезической сети выполнялись угловые и линейные измерения при помощи тахеометра электронного Trimble 5601 на отражатель устанавливаемый непосредственно на рельс над его осью. По результатам измерений программным обеспечением тахеометра определялись координаты точек на рельсе с погрешностью не более 1 – 2 мм на участках протяженностью 300 – 400 м. Расстояния между закоординированными точками составляли приблизительно 5 м на круговых и переходных кривых и 20 м на прямых. При этом, тахеометр

наводился на отражатель самостоятельно в автоматическом режиме, что исключает субъективный человеческий фактор.

Преимущество применения GPS-приемников в высокой производительности работ. В зависимости от интенсивности движения за один день можно провести измерения на 20 – 30 км путей. Недостаток относительно более низкая точность по сравнению с тахеометром.

Преимущество применения высокоточного электронного тахеометра максимально высокая точность определения координат точек, а следовательно и параметров пути и рихтовочных данных рельсов. Недостаток – относительно более низкая производительность работ – 5-8 км в день в зависимости от интенсивности движения.

Так как проводились экспериментальные измерения, возвышения рельса определялись выборочно из измерений тахеометром, а межрельсовые расстояния из измерений ручным лазерным дальномером с погрешностью не более 2 мм. В дальнейшем, для выполнения работ по заказу “Укрзалізниці” при измерениях необходимо применять современную путеизмерительную тележку, результаты измерений межрельсового расстояния и возвышения внешнего рельса над внутренним могут записываться в память бортового компьютера тележки. При этом, GPS-приемник может быть смонтирован на этой тележке, а его антенна над осью рельса. Измерения координат GPS-приемником и измерения тележкой могут быть синхронизированы и будут выполняться в автоматическом режиме. При применении тахеометра, на тележке может быть смонтирован его отражатель и измерения также могут быть синхронизированы и выполнены в полуавтоматическом режиме [2].

При выполнении измерений могут выполняться любые другие измерения с привязкой к системе координат. Например, могут быть с погрешностью в несколько миллиметров закоординированы и привязаны к пикетажу стыки, стрелочные переводы, пикетажные столбики, светофоры и т. д.

## **2. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПУТИ**

Геометрические параметры пути определяются „Геобазами” „Укрзалізниці” по устаревшим технологиям, устаревшими приборами и без применения соответствующего программного обеспечения. Это приводит к тому, что при высоких затратах труда и времени, полученные материалы вероятно пригодны для выполнения тяговых расчетов и решения некоторых других задач, но не пригодны для выполнения рихтовочных работ по установке рельсов в положение обеспечивающее плавность хода и безопасность движения поездов на высокой скорости.

Укрметрестандартом, при разработке методики обработки и обработке результатов измерений ставилась задача получения пространственного положения математически увязанной оси пути, в которой прямые, переходные кривые и круговые кривые в плане и прямые и круговые кривые в профиле были бы

математически сопряжены с учетом всех требований нормативных документов (назовем эту ось математической). При этом, ставилась задача, чтобы отклонения в плане и профиле реальной (фактической) оси пути, а соответственно и осей рельсов от этой математической оси, было минимально.

Необходимо отметить, что если построить математическую ось по геометрическим параметрам пути полученным „Геобазой”, то ось реального пути будет отклоняться от нее на многие метры, а то и десятки метров [1]. Параметры вертикальных кривых, при этом, „Геобазой” вообще не вычислялись. В этом виноваты не специалисты „Геобазы”, а устаревшие технологии измерений и обработки, применяемые ими.

Методами разработанными Укрметртестстандартом, удалось добиться того, что отклонения реальной оси пути от вычисленной математической, редко превышают 20-25 мм. Исключение составляет один участок в профиле, где на коротком участке отклонения изменяются от минус 29 до 114 мм. Скорее всего, это те участки, на которых нарушается плавность хода поездов и возникает реальная угроза безопасному движению. Особенно эти отклонения заметны в местах стыковки прямых и переходных кривых, переходных кривых и круговых кривых (примеры приведены в разделе 4).

Альтернативы разработанным методам нет, так как в колее измерительный вагон, в некоторых случаях может выявить такие участки, но не сможет дать количественной оценки необходимых смещений рельса, т. е. куда и насколько необходимо сместить рельсы, чтобы они находились на своей математической оси в пределах погрешностей измерений.

Геометрические параметры пути, которые определялись в плане и профиле перечислены в разделе 3.

### **3. ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ РЕЛЬСОВ**

Используя координаты точек по оси правого по ходу поезда (левого по ходу измерений) рельса, а также межрельсовые расстояния и возвышения рельсов были вычислены, по методике разработанной Укрметртестстандартом, геометрические параметры пути. Еще раз необходимо подчеркнуть, что в измеренных координаты вписывались математическими методами такие прямые, переходные кривые и круговые кривые, чтобы отклонения фактической оси пути и рельсов от математической оси были минимальны.

В профиле для круговых кривых вычислялись:

- длина круговой кривой;
- радиус круговой кривой;
- пикетажные значения начала и конца кривой.

Для прямых:

- длина прямой;
- уклон прямого участка к горизонту;
- пикетажные значения начала и конца прямой (совпадают с пикетажными значениями начал и концов кривых).

В плане для круговых кривых вычислялись:

- длина круговой кривой;
- радиус круговой кривой;
- пикетажные значения начала и конца кривой;
- координаты центра кривой.

Для прямых:

- длина прямой;
- азимут (дирекционный угол) прямой;
- пикетажные значения начала и конца прямой.

Для переходных кривых вычислялись:

- длина переходной кривой;
- смещение круговой кривой к ее центру из-за наличия круговой кривой;
- пикетажные значения начала и конца переходной кривой.

Кроме того, вычислялись координаты начала и конца прямых, круговых и переходных кривых, как в плане, так и в профиле, а также углы поворота как разность азимутов (дирекционных углов) прямых.

Наиболее важным результатом вычислений являются рихтовочные данные левого и правого рельсов в профиле и плане соответственно, погрешность определения которых на участках до 300-400 м не превышает 1-2 мм. После смещения рельсов на величины рихтовочных данных, фактическая ось пути будет соответствовать математической оси в пределах погрешностей измерений. Кроме того, после рихтовки будут выдержаны значения возвышения рельсов рассчитанные по новым значениям радиусов круговых кривых и длинам переходных кривых, а также номинальные значения уширения рельсов на круговых и переходных кривых.

Необходимо отметить, что геометрические параметры пути вычислялись по методу наименьших квадратов так, чтобы числовые значения рихтовок были минимальны, то есть объем рихтовочных работ был минимален. Такая задача является математически весьма сложной и может быть решена только на основе специально разработанного математического аппарата и алгоритмов вычислений, реализованных на современных средствах вычислительной техники.

#### **4. ТРАКТОВКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПУТИ И РИХТОВОЧНЫХ ДАННЫХ**

При обработке на первом этапе в координаты вписывались прямые и круговые кривые в соответствии с пикетажем и параметрами приведенными в материалах "Геобазы". Полученные большие отклонения, однако, позволили выделить другие более подходящие круговые кривые и прямые. Таким образом, в несколько приближений были выделены наиболее подходящие под координаты точек круговые кривые и прямые. Затем, между круговыми кривыми разных радиусов и между кривыми и прямыми вписывались переходные кривые.

Ниже приведены несколько примеров показывающих насколько разнятся данные полученные по результатам измерений и вычислений сделанных "Геобазой" и Укрметрестстандартом.

Вместо трех сопряженных круговых кривых радиусами 746 м, 588 м, 617 м, полученным по данным “Геобазы”, было вписано пять круговых кривых радиусами 923,850 м; 605,596 м; 636,361 м; 641,453 м; 625,547 м сопряженных между собой четырьмя переходными кривыми. Причем, для корректного математического сопряжения, переходную кривую между последней кривой и прямой, пришлось сделать длиной 238,177 м.

Одна из прямых длиной около 2 км, полученная по данным съемки “Геобазы”, была разделена Укрметртестстандартом на две прямые с малым углом поворота, между которыми была вписана круговая кривая и две переходных. Без этой операции отклонение рельсов от одной прямой превышали один метр. От двух прямых, двух переходных кривых и одной круговой кривой, полученных на этом же участке Укрметртестстандартом, числовые значения рихтовок не превышают 30 мм. Номинальное (рассчитанное по известной формуле) возвышение рельса на вписанной кривой должно при этом достигать 64 мм, тогда как, если этот участок принять как прямую (что есть фактически), возвышение должно быть равно нулю.

По рихтовочным данным, можно отследить, где их значения изменяются более менее плавно и выявить наиболее критические участки, где их значения изменяются резко. Например, в месте примыкания переходной кривой к одной из прямых, рихтовочные данные для последней точки прямой достигают 26 и 22 мм, для левого и правого рельса соответственно, а для первой точки переходной кривой 28 и 20 мм. Это есть оптимальный вариант, т. к. если эти обе точки отнести к прямой или переходной кривой результат будет еще хуже (т. е. рихтовочные данные будут еще больше).

В профиле тоже есть критические точки. Найден участок, где наблюдается резкий подъем от минус 29 мм до 114 мм на участке около 85 м и спуск до 7 мм на участке протяженностью менее 35 м.

Перечень таких участков можно было бы продолжить.

#### **5. СОПРОВОЖДЕНИЕ РИХТОВОЧНЫХ РАБОТ И РЕШЕНИЕ ДРУГИХ ЗАДАЧ**

Современные электронные тахеометры типа Trimble 5601 фактически представляют собой не только высокоточный измерительный прибор, но и компьютер с широкими вычислительными возможностями для решения прикладных задач. В него могут быть введены геометрические параметры математической оси пути или осей рельсов. Тогда, при выполнении повторных измерений с точек геодезической сети при рихтовке или контроле положения рельсов после рихтовки в каждой точке, где проводятся измерения, можно сразу в оперативном режиме получать отклонения рельсов от математической оси.

Аналогичную задачу можно решить при помощи GPS-приемников [3]. При этом производительность измерений возрастает в 3-5 раз, при некотором, в 3-4 раза, снижении точности по сравнению с высокоточным тахеометром. Поэтому, GPS-приемники можно использовать для оперативного мониторинга проблемных участков пути на оползнях, карстах и вновь построенных.

Полученные координаты геодезического обоснования и рельсов можно использовать для решения других задач. Они полностью пригодны для наполнения ими геоинформационных систем с привязкой к координатам негеометрических параметров пути, решения вопросов земельных отводов, топографических съемок крупных масштабов, решения тяговых, навигационных и других задач.

#### Список литературы

1. Дорожинський О.Л., Аналітична та цифрова фотограмметрія. Львів: Видавництво Національного університету. Львівська політехніка”, 2002. 164 с.
2. Flood Area ArcView-Extension for simulating flooded areas <http://www.geomer.de/engl/products/software/floodarea.html>
3. Энди Митчелл. Руководство по ГИС анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи.; Пер.с англ.-Киев, ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000, 198 с.

*Самойленко О. М. Висока точність геодезичних вимірів – висока швидкість руху потягів // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. – 2008. – Серія «Географія». – Т. 21 (60). – № 1. – С. 142-148*

В статті описаний метод забезпечення нормованих геометричних параметрів колії, як одна із необхідних вимог забезпечення безпечного руху потягів залізної дороги на високій швидкості. Також наведені рекомендації застосування сучасних методів і засобів обробки вимірів та обчислень фактичних геометричних параметрів.

*Ключові слова:* рекомендації, геометричні параметри колії.

*Samoilenko A. N. High accuracy of geodetic measurements - high speed of trains movement // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. – 2008. – Series «Geography». – V. 21 (60). – № 1. – P. 142-148*

In this article the method of maintenance of the normalized geometrical parameters of a railways, as one of the necessary conditions of a safety of movement of trains on high speed is described. There also recommendations of use methods modern means of processing of measurements and calculation of actual geometrical parameters are .

*Keywords:* the recommendations, geometrical parameters of a railway.

*Поступила в редакцію 22.04.2008 г.*