

*В. В. Щербаков<sup>1\*</sup>, С. С. Акимов<sup>1</sup>, В. Д. Астраханцев<sup>1</sup>, А. А. Земерова<sup>1</sup>*

## **Особенности геодезического обеспечения железных и автомобильных дорог**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* vvs@stu.ru

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам геодезического обеспечения строительства, ремонта и эксплуатационной работы линейных транспортных объектов, таких как железные и автомобильные дороги. Цель настоящей работы – выявление особенностей геодезического обеспечения железных и автомобильных дорог, обеспечивающих качество ремонтных работ и приведение линейных транспортных объектов в проектное положение. Для проведения исследования использовался метод анализа и сравнения существующих методов геодезического обеспечения при строительстве, ремонте и эксплуатационной работе железных и автомобильных дорог. Для выявления существующих особенностей геодезического обеспечения рассматривались отдельные этапы строительства и ремонта железных и автомобильных дорог. В рамках исследования выявлены особенности геодезического обеспечения железных и автомобильных дорог, позволяющие обеспечить качество ремонтных работ и приведение линейных транспортных объектов в проектное положение. Геодезическое обеспечение железных и автомобильных дорог заключается в высокоточных измерениях геометрических параметров с миллиметровой точностью, а пространственного положения объектов инфраструктуры с точностью 3-5 см. Для определения геометрических параметров не требуется опорная геодезическая сеть, так как измерения являются относительными.

**Ключевые слова:** геодезическое обеспечение, метод бокового нивелирования, метод координат, хордовый метод, железная дорога, автомобильная дорога

*V. V. Shcherbakov<sup>1\*</sup>, S. S. Akimov<sup>1</sup>, V. D. Astrakhansev<sup>1</sup>, A. A. Zemerova<sup>1</sup>,*

## **Geodetic support peculiarities of railways and roads**

<sup>1</sup> Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: vvs@stu.ru

**Abstract.** The article is devoted to the issues of geodetic support for the construction, repair and maintenance of linear transport facilities, such as railways and roads. The purpose of this work is to identify the features of geodetic support for railways and roads, ensuring the quality of repair work and bringing linear transport facilities to the design position. For the study, the method of analysis and comparison of existing methods of geodetic support in the construction, repair and maintenance of railways and roads was used. To identify the existing features of geodetic training, individual stages of the construction and repair of railways and roads were considered. As part of the study, the peculiarities of geodetic support for railways and roads were identified, which make it possible to ensure the quality of repair work and bring linear transport facilities to the design position. Geodetic support of railways and roads consists in high-precision measurements of geometric parameters with millimeter accuracy, and the spatial position of infrastructure objects with an accuracy of 3-5 cm. To determine the geometric parameters, a reference geodetic network is not required, since the measurements are relative.

**Keywords:** geodetic support, lateral leveling method, coordinate method, chordal method, railway, road

## ***Введение***

Геодезическое обеспечение железных и автомобильных дорог (линейных объектов) в процессе строительства и эксплуатационной работы имеет много общего, в то же время различия при реализации этапов геодезического обеспечения существенны. Так, при создании опорной геодезической сети различий нет, а при создании съемочной сети данные различия заключаются в закреплении точек, характеристиках объекта и назначении съемочных точек.

## ***Методы и материалы***

В связи с этим, целью настоящей работы является выявление особенностей геодезического обеспечения железных и автомобильных дорог, обеспечивающих качество ремонтных работ и приведение линейных транспортных объектов в проектное положение. Для проведения исследования используется анализ и сравнение существующих методов геодезического обеспечения при строительстве, ремонте и эксплуатационной работе железных и автомобильных дорог.

Для выявления существующих особенностей геодезического обеспечения рассматриваются, прежде всего, отдельные этапы строительства и ремонта железных и автомобильных дорог.

## ***Результаты***

Рассмотрим геодезическое обеспечение капитального ремонта железнодорожного пути. На этапе подготовки к ремонту на каждую опору контактной сети (ОКС) выносятся (в натуру) и закрепляется краской высотная отметка с надписью СГР (существующая головка рельса) и ПГР (проектная головка рельса), на шейке рельса в створе ОКС указывается значение междупутья, а на ОКС также указывается проектное расстояние до ремонтного пути. В процессе подготовки к ремонтным работам также выполняются расчеты десятков других параметров и закреплений, составляется эпюра рихтовок и ведомость высотных отметок для балластировки пути. На рис. 1 показан один из способов выноса высотной отметки на ОКС.

На этапах ремонта при укладке рельсошпальной решетки укладочным крапом (УК-25) контролируются габариты приближения строений. На этапе глубокой очистки балласта щебнеочистительными машинами [1] контролируется глубина вырезки балласта и уклоны основной площадки земляного полотна с использованием традиционных геодезических инструментов от опорных точек (реперов), закрепленных на ОКС.

На этапе балластировки железнодорожный путь в несколько последовательных этапов приводится в проектное положение в плане, профиле и по вышению рельсовых нитей [2]. Работа выполняется с использованием электробалластера или машины ВПО. Это специализированные железнодорожные машины, оснащенные подъемно-рихтовочными устройствами (ПРУ), которые могут управляться с пульта «вручную» или в автоматизированном режиме. Основным методом постановки пути в плане является метод бокового нивелирования [3].

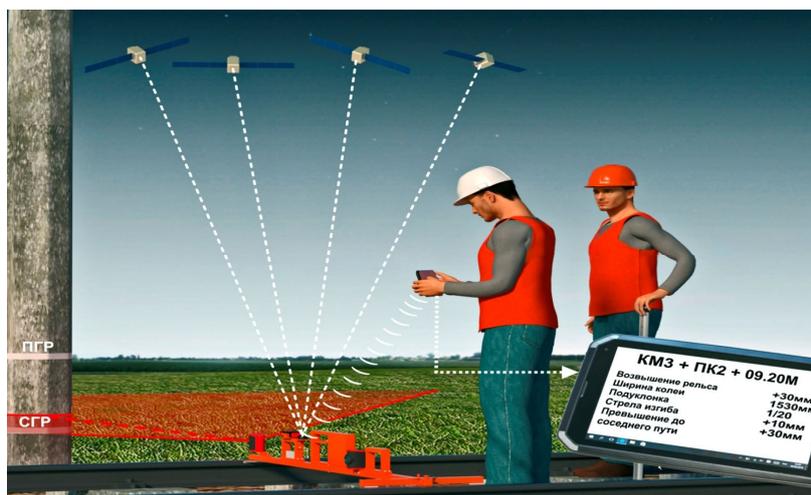


Рис. 1. Вынос высотных отметок на ОКС и их закрепление условными знаками

На рис. 2 показан метод бокового нивелирования, наиболее часто применяющийся в традиционных технологиях геодезического обеспечения. Метод востребован из-за простоты и доступности реализации проектных решений, при этом даже при актуализации проектных решений остается влияние неровностей соседнего пути на качество постановки в проектное положение ремонтного пути.

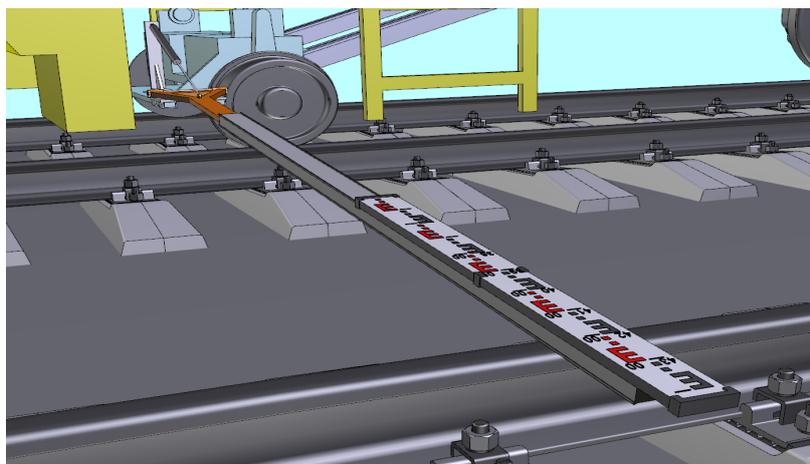


Рис. 2. Метод бокового нивелирования при постановке пути в проектное положение

Наиболее сложным и трудоемким процессом геодезического обеспечения является использование копировочной струны. Применение копировочной струны требует выноса в натуру с использованием электронного тахеометра точек (устройств) закрепления копировочной струны от реперов, закрепленных на ОКС. На рис. 3 показан фрагмент вырезки и очистки балласта на участке ремонта железнодорожного пути с использованием копировочной струны. Достоинством метода является высокая точность реализации проектных решений при их реализации на различных этапах ремонта. Применение копировочной струны в Рос-

сии широко применяется при строительстве и капитальном ремонте автомобильных дорог.



Рис. 3. Применение копировочной струны для постановки железнодорожного пути в проектное положение

Значительное сокращение трудоемкости геодезического обеспечения достигается за счет использования систем автоматизированного управления (САУ-3D) [4, 5]. Сокращается объем работ по созданию опорной и съемочной геодезической сети, минимизируется объем разбивочных работ, а также сокращается объем операционного контроля.

Принцип работы САУ основан на сравнении измеренных координат с проектными значениями, определение разности и формировании управляющего сигнала на ПРУ. Проектные значения координат получают из цифрового проекта на участок ремонта, а измеренные путем определения ГНСС приемниками или роботом-тахеометром [6]. Структурная схема получения управляющего сигнала для ПРУ приведена на рис. 4. На рис. 5 показан электробалластер ЭЛБ-4С, оснащенный САУ-3D [7, 8].

### ***Обсуждение***

Специфика геодезического обеспечения ремонта железнодорожного пути заключается в том, что пространственное положение объектов инфраструктуры определяется с точностью 30 мм, а геометрические параметры (положение рельсовой нити в плане на хорде 20 м, положение рельсовой нити в вертикальной плоскости и другие геометрические параметры) определяются с точностью 1 мм. С учетом данной специфики геодезические методы контроля геометрических параметров в настоящее время используются только на отдельных локальных участках при устранении неровностей.

Основным методом в настоящее время является хордовый метод, основанный на измерении стрел изгиба в средней точке на заданной хорде. Используется метод в диагностических комплексах на базе вагонов-путеизмерителей. Измерения выполняются датчиками линейных перемещений, оптическими лазерными дальномерами [9] «с шагом» 30-50 см, для обеспечения нормативных требований

по плавности хода поездов. Данный метод также лежит в основе систем управления выправочных машин типа ВПО, предназначенных для чистовой выправки железнодорожного пути.

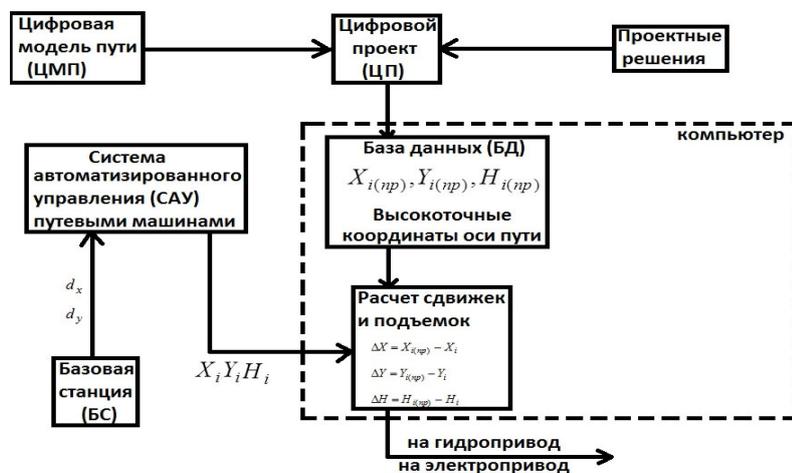
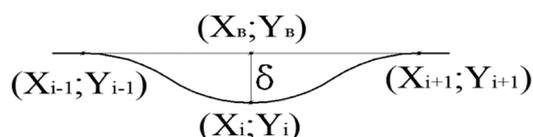


Рис. 4. Структурная схема расчета сдвижки, подъёмки рельсошпальной решетки



Рис. 5. ЭЛБ-4С, оснащенный САУ-3D

При использовании инерциальных систем стрелы изгиба вычисляются по координатам (рис. 6), что значительно эффективнее хордовых методов, так как хордовые методы ограничены длиной вагона и не обеспечивают определение длинных неровностей, а координатные методы обеспечивают определение длинных неровностей на заданных интервалах пути (измерительных хордах) по формулам [10].



где  $X_i, Y_i$  – измеренные координаты оси пути;  $\delta$  – амплитуда рельсовой нити в плане (рихтовка) в  $i$ -й точке на хорде  $(i - 1) - (i + 1)$ ,  $X_B, Y_B$  – вычисленные координаты средней точки измерительной хорды на интервале пути  $(i - 1) - (i + 1)$ .

Рис. 6. Определение стрелы изгиба в плане координатными методами

$$\begin{cases} X_B = \frac{X_{i-1} + X_{i+1}}{2}, \\ Y_B = \frac{Y_{i-1} + Y_{i+1}}{2}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Delta X' = X_i - X_B, \\ \Delta Y' = Y_i - Y_B, \end{cases} \quad (2)$$

$$\delta = \sqrt{\Delta X'^2 + \Delta Y'^2}, \quad (3)$$

где,  $\Delta X, \Delta Y$  приращения координат средней точки измерительной хорды и измеренным значением на интервале пути  $(i - 1) - (i + 1)$ .

Длина хорды на интервале пути  $(i - 1) - (i + 1)$  задается от 10 м до 200 м, что максимально достоверно позволяет выявить неровности пути в широком диапазоне. Такое преимущество геодезических методов определения неровностей в плане и профиле особенно востребовано на высокоскоростных магистралях, так как хордовые методы ограничены 20 м.

Выправка пути делится на две составляющие (рис.7): сглаживание и постановка пути в проектное положение. Сглаживание – это перемещение пути из положения 1 в положение 2, постановка пути в проектное положение – это перемещение пути из положения 1 в положение 3.

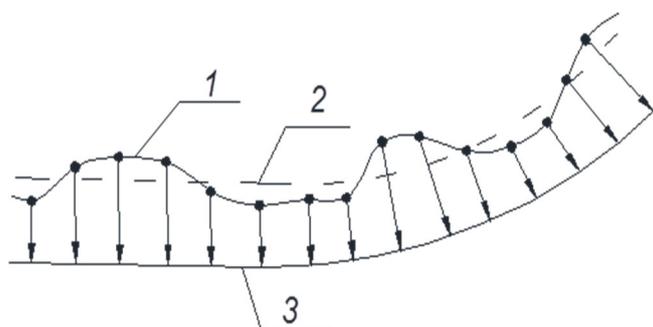


Рис. 7. Методы выправки пути:

1 – фактическое положение пути; 2- сглаженное положение пути; 3- проектное положение пути

Современные средства измерений и сложившаяся практика выправочных работ на железной дороге не предусматривает использования геодезических методов при сглаживании. Применяется измерительный проход выправочной машины участка работ, запись стрел изгиба, расчет проектных данных по стрелам изгиба на сглаживание и повторный проход участка работ со сглаживанием. Такой метод дает максимально высокую эффективность, т.к. позволяет при минимальных затратах на создание проекта сглаживать путь и получать высокую точность выправки пути.

Постановка пути в проектное положение выполняется геодезическими методами с использованием различных способов, в том числе приведенного в данной статье метода бокового нивелирования.

На автомобильных дорогах специфика геодезического обеспечения заключается также, как и на железных дорогах, в определении геометрических параметров, например, технико-эксплуатационного состояния по показателю «ровность» в относительных величинах, определении стрел изгиба (амплитуды неровности) с точностью 1 мм, при этом высотные отметки земляного полотна или дорожных одежд определяются с погрешностью 30 мм. По многим другим геометрическим параметрам и пространственным данным требования аналогичные, поэтому часть геодезических работ выполняется без использования опорной и съемочной геодезической сети, а часть с использованием высотных отметок реперов. Поэтому обеспечение миллиметровой точности определения ровности покрытия не требует наличия высокоточной реперной сети из-за того, что измерения относительные на заданных хордах, например, для ровности 10 м, 20 м, 40 м. А определение высотных отметок для дорожных одежд, земляного полотна не требует выполнения высокоточных работ, выполняется техническое нивелирование, к разбивочным работам также не предъявляются особые требования.

### *Заключение*

Геодезическое обеспечение железных и автомобильных дорог заключается в высокоточных измерениях геометрических параметров с миллиметровой точностью, а пространственного положения объектов инфраструктуры с точностью 3-5 см, при этом для определения геометрических параметров не требуется опорная геодезическая сеть, так как измерения являются относительными. В тоже время утверждения, что требования к точности опорной геодезической сети необходимо ужесточить, являются не обоснованными. Требования к повышению точности определения геометрических параметров напрямую не касаются повышения точности опорной и съемочной геодезической сети, многие функциональные задачи по определению геометрических параметров, как на железной дороге, так и на автомобильных дорогах автоматизированы, а некоторые параметры, ранее определяемые геодезическими методами, заменены на оптико-электронные приборы и датчики положения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 126011 Российская Федерация. МПК 51 E01B 27/10. Щебнеочистительная машина / В. В. Щербаков, А. Н. Модестов; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2012124581; заявл. 14.06.2011; опубл. 10.06.2012.

2. Пат. 136048 Российская Федерация. МПК Е 01 В 29/04. Устройство для выправки железнодорожного пути и способ выправки железнодорожного пути / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, А. Н. Модестов, И. А. Бунцев, В. П. Славкин; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2013134278; заявл. 22.07.2013; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36. – 10 с.
3. Технология бокового нивелирования при постановке железнодорожного пути в проектное положение / В. В. Щербаков, А. П. Карпик, И. В. Щербаков, М. Н. Барсук // Геодезия и картография. – 2020. – №8. – С 18-23 DOI:10.22389/0016-7126-2020-962-8-18-23.
4. Щербаков В.В., Ковалева О.В., Щербаков И.В. Цифровые модели пути – основа геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 12–16.
5. Геодезические технологии контроля параметров уплотнения балласта при строительстве и капитальном ремонте железных дорог с использованием ГНСС / В.В. Щербаков, А.П. Карпик, И.В. Щербаков, М.Н. Барсук, И. А. Бунцев // Геодезия и картография. – 2020. – № 7. – С. 15-21.
6. Щербаков В.В., Земерова А.А., Комягин С.А. Цифровые технологии при строительстве и эксплуатации железнодорожной инфраструктуры // Транспортное строительство. – 2019. – № 2. – С. 9–12.
7. Shcherbakov Vladimir, Karpik Alexander, Barsuk Marina. Automation of Railroad Construction Technology Using Surveying Methods // Advances in Intelligent Systems and Computing, VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, Volume 2. – 2019. – Volume 1116 (2020). DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3.
8. Shcherbakov Vladimir, Buntsev Ivan, Kovaleva Olga. Development of a control system for a ballast cleaning machine using GNSS // E3S Web of Conferences, Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019). – 2019. – Volume 135 (2019). – 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502003>.
9. Щербаков В.В. Методика применения лазерных сканеров для геодезического обеспечения проектно-изыскательских работ на железной дороге // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2020. – № 3–Т 64. – С. 289-297.
10. Щербаков И. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. – Т. 1. – С. 17–23.

© В. В. Щербаков, С. С. Акимов, В. Д. Астраханцев, А. А. Земерова, 2023