

С. А. Комягин¹, Е. Н. Тимофеев¹, Н. В. Ефимов¹*

Контроль качества ремонта железнодорожного пути с использованием спутникового нивелирования

¹ Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: skomyagin@mail.ru

Аннотация. Ремонт железнодорожного пути – это сложный и трудоемкий процесс, который выполняется строго в соответствии с проектной и нормативной документацией. При выполнении работ должен проводиться постоянный инструментальный контроль за пространственным положением и геометрическими параметрами пути, как в процессе ремонта, так и при приемке и вводе в эксплуатацию отремонтированного участка пути. Геодезические методы контроля с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и спутникового нивелирования позволяют повысить производительность работ. Путеизмерительные средства на базе ГНСС позволяют выполнять исполнительные съемки пути, комплексно отражая геометрические параметры и пространственное положение пути после проведенного ремонта.

Ключевые слова: геометрические параметры пути, ремонт пути, спутниковое нивелирование

S. A. Komyagin¹, E. N. Timofeev¹, N. V. Efimov¹*

Quality control of railway track repairs using satellite leveling

¹ Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: skomyagin@mail.ru

Аннотация. Railway track repair is a complex and time-consuming process that is carried out strictly in accordance with design and regulatory documentation. When performing work, constant instrumental monitoring of the spatial position and geometric parameters of the track must be carried out, both during the repair process and during acceptance and commissioning of the repaired section of the track. Geodetic control methods using global navigation satellite systems (GNSS) and satellite leveling can improve work productivity. GNSS-based track measuring devices allow performing executive surveys of the path, comprehensively reflecting the geometric parameters and spatial position of the path after the repair.

Ключевые слова: Geometric parameters of the path, repair of rail track, satellite leveling

Введение

Для восстановления первоначальных параметров и характеристик элементов строения железнодорожного пути, а также надежности всех частей и элементов, выполняется ремонт пути. Для уменьшения затрат при текущем содержании пути в межремонтный цикл особенное значение имеет точное исполнение проектных решений во время ремонта на каждом этапе. Например, во время вырезки

(очистки) балласта контролируются параметры по глубине вырезки (очистки) и уклону основной площадки земляного полотна. Контроль данных параметров непосредственно во время работы очень важен, так как после балластировки пути выполнить измерения этих параметров практически невозможно, или значительно увеличивается трудоемкость по их определению.

Методы и материалы

Классическая технология работ подразумевает выполнение разбивочных работ с помощью геодезических инструментов (тахеометры, нивелиры, построители плоскости). Для закрепления высотного положения железнодорожного пути используется метод нанесения рисок на опорах контактной сети существующей и проектной отметки головки рельса. Второй вариант – это использование цифровой модели пути, основанной на измерениях координат рельсовых нитей спутниковым оборудованием с дифференциальными поправками.

Контроль за работой по глубине вырезки загрязненного балласта осуществляется с помощью промеров отметок головки левого и правого рельса до работы щебнеочистительных машин, а также после вырезки балласта, когда рельсошпальная решетка лежит на основной площадке земляного полотна (рис. 1).

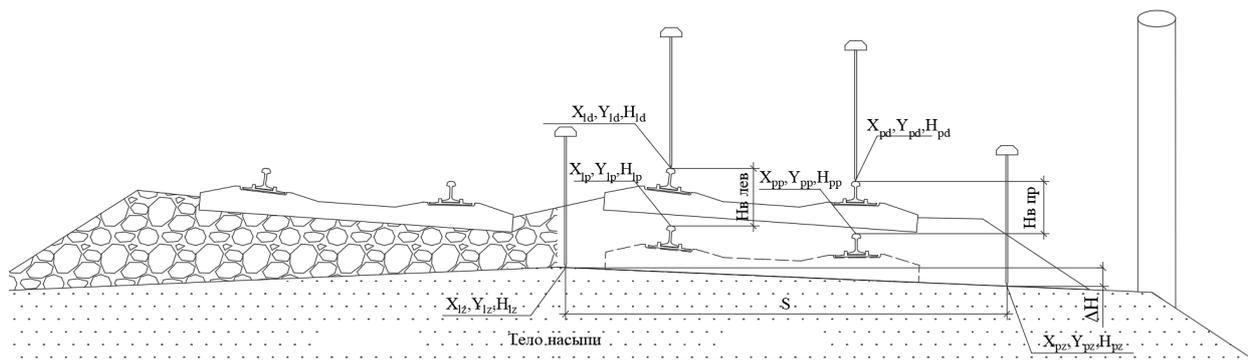


Рис. 1. Контроль проектных параметров по вырезке (очистке) балласта и величине уклону основной площадки земляного полотна

Глубина вырезки балласта под левым и правым рельсом определяется как:

$$\begin{aligned} H_{\text{в лев}} &= H_{ld} - H_{lp} \\ H_{\text{в пр}} &= H_{pd} - H_{pp} \end{aligned} \quad (1)$$

где H_{ld} и H_{pd} – отметки левой и правой головки рельсы до ремонта;
 H_{lp} и H_{pp} – отметки левой и правой головки рельсы после вырезки балласта.

Величина уклону основной площадки при использовании ГНСС рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{\Delta H}{S} = \frac{H_{lz} - H_{pz}}{\sqrt{(X_{lz} - X_{pz})^2 + (Y_{lz} - Y_{pz})^2}}, \quad (2)$$

где X_{lz}, Y_{lz}, H_{lz} и X_{pz}, Y_{pz}, H_{pz} – координаты основной площадки земляного полотна слева и справа от рельсошпальной решетки.

Расстояние S выбирается максимальным в пределах рабочих органов щебнеочистительных машин для минимизации влияния погрешности отметок на уклон основной площадки. Величина S при производстве работ составляет 3,5–4 метра. Исследования показали, что погрешность определения отметок GNSS-оборудованием на таком маленьком расстоянии дает значительную ошибку в расчете уклона между этими точками. Погрешность в определении высоты на одной точке в 3 см приводит к ошибке уклона в 7,5 %. В соответствии с распоряжением № 2888/р от 17.12.2021 г. [1], поперечный уклон основной площадки земляного полотна должен составлять 40 % в полевую сторону. Таким образом, величина ошибки при определении уклона с помощью ГНСС-оборудования несоизмерима с допусками контролируемого параметра. Следовательно, на данном этапе для инструментального контроля уклона предпочтительнее геометрическое или тригонометрическое нивелирование.

Кроме пооперационного контроля работы путевых машин, качество ремонта железнодорожного пути оценивается по итогам работ с помощью технических средств контроля. Состав контрольных параметров и средств, которые используются в процессе приема и вводе в эксплуатацию отремонтированного пути, регламентируется распоряжением № 2888/р, согласно которому параметры кривых и пространственное положение пути определяется инструментальной съемкой и путеизмерительными средствами, мобильными или на железнодорожном ходу. При этом геометрия пути определяется только путеизмерительными средствами, мобильными или на железнодорожном ходу. Геодезические методы контроля не используются, так как определять координаты рельсовых нитей с дискретностью 0,2–0,5 метра для получения геометрических параметров крайне трудоемкий процесс.

К мобильным путеизмерительным средствам на железнодорожном ходу относятся вагоны-путеизмерители КВЛ-П, ЦНИИ-4 и диагностические комплексы инфраструктуры «Интеграл» и «ЭРА» [2].

Данные комплексы определяют положение пути в плане и продольном профиле, а также геометрические параметры пути по трехточечной системе измерения стрел изгиба, через 0,2–0,5 метра в середине измерительной хорды. Данные комплексы имеют ограниченную измерительную базу в 20,7 м, что не позволяет выявлять длинные неровности. Диагностические параметры не связаны с реперной системой, что значительно ограничивает функциональные возможности комплексов.

При повышении скоростей движения появляется необходимость в определении геометрии рельсовой колеи на хордах величиной 150–200 метров, что не представляется возможным без пространственных координат и измерительных средств, в алгоритме которых используются координатные методы [3].

Аппаратно-программный комплекс «Профиль-М» (рис. 2), разработан в СГУПС, сотрудниками НИЛ «ДДО и ЗП» [4]. Данный комплекс позволяет выполнять расчет геометрии рельсовой колеи и определять параметры пути в пространстве по трехмерным координатам.



Рис. 2. Аппаратно-программный комплекс «Профиль – М»

Характеристики АПК «Профиль-М» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров, измеряемые АПК «Профиль-М»

Наименование параметра	Значение параметра	
	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Координаты	25 км	$\pm 10\text{мм} + 1\text{ мм/км}$
Расстояние	25 км	$\pm 0,01\%$
Высота	25 км	$\pm 15\text{ мм} + 1\text{ мм/км}$
Ширина колеи	1505-1560 мм	$\pm 2\text{ мм}$
Уровень	0-300 мм	$\pm 2\text{ мм}$
Рихтовка	$\pm 160\text{ мм}$	$\pm 2\text{ мм}$
Просадка	$\pm 50\text{ мм}$	$\pm 2\text{ мм}$

Работа АПК «Профиль-М» автоматизирует выполнение съемки пути, составление карточек кривых, продольных профилей и расчет геометрии пути.

Камеральные работы выполняются в программных продуктах ArcViewGis, Топоматик Robur, AutoCAD, GiroCurves и Профиль Duo.

По координатам пути, полученным с АПК «Профиль-М», рассчитываются геометрические параметры (рис. 3) и определяются параметры кривых по стре-

лам изгиба на хордах, так как при оценке качества работ не предусматривается оценка с использованием координат. Специфика расчета и визуализации железнодорожных кривых требует представления кривых в соответствии со стандартом ФП-3.2, ФП 3.3 (рис. 4).

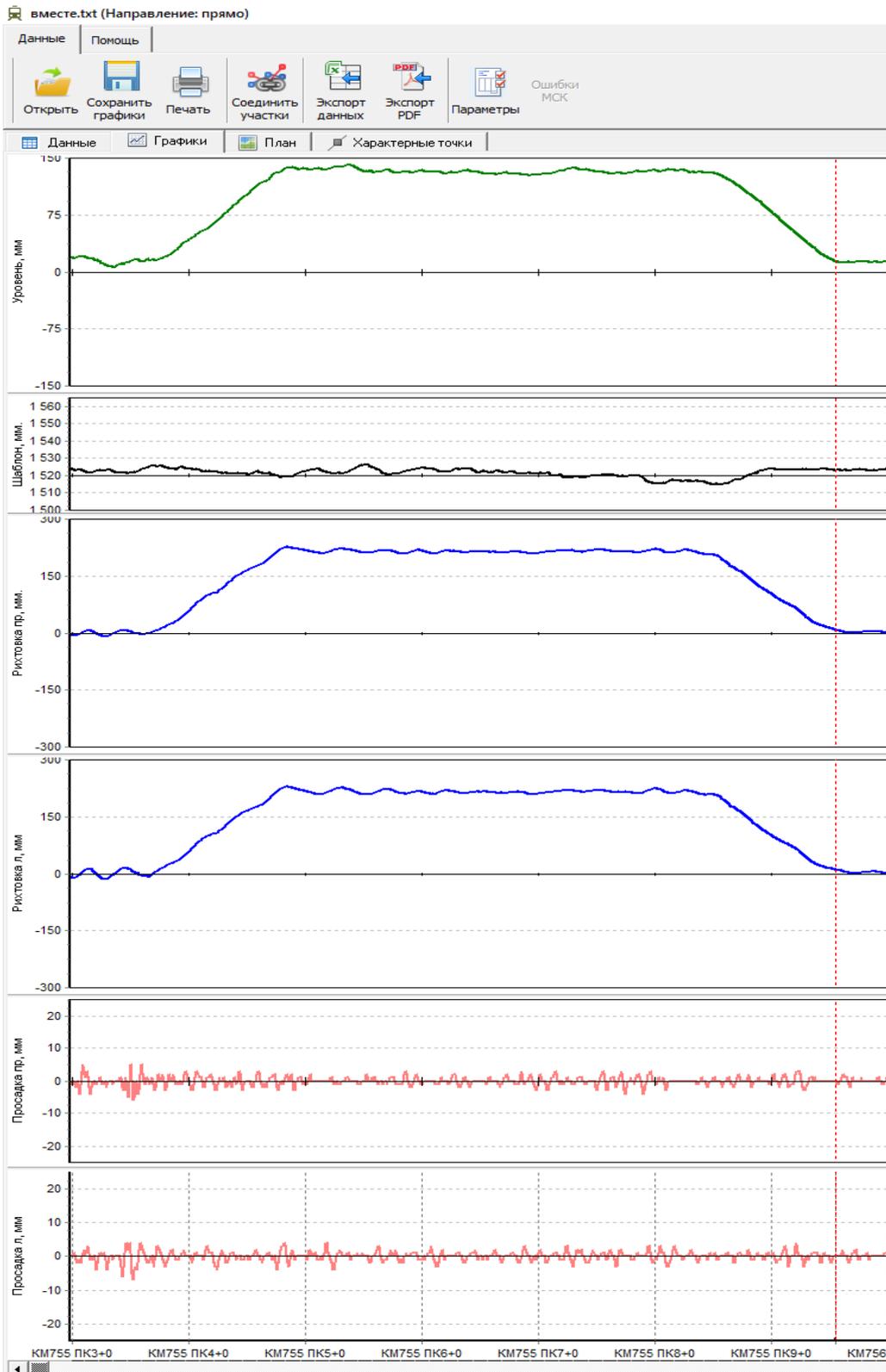


Рис. 3. Геометрия рельсовой колеи

Проектные данные ($Y=46^{\circ}00'30''$; $R=600$ м; $K=581,82$ м; $h=125$ мм; $L_1=100$ м; $L_2=100$ м; начало кривой 755 3+52,10 м; конец кривой 755 9+33,92 м)

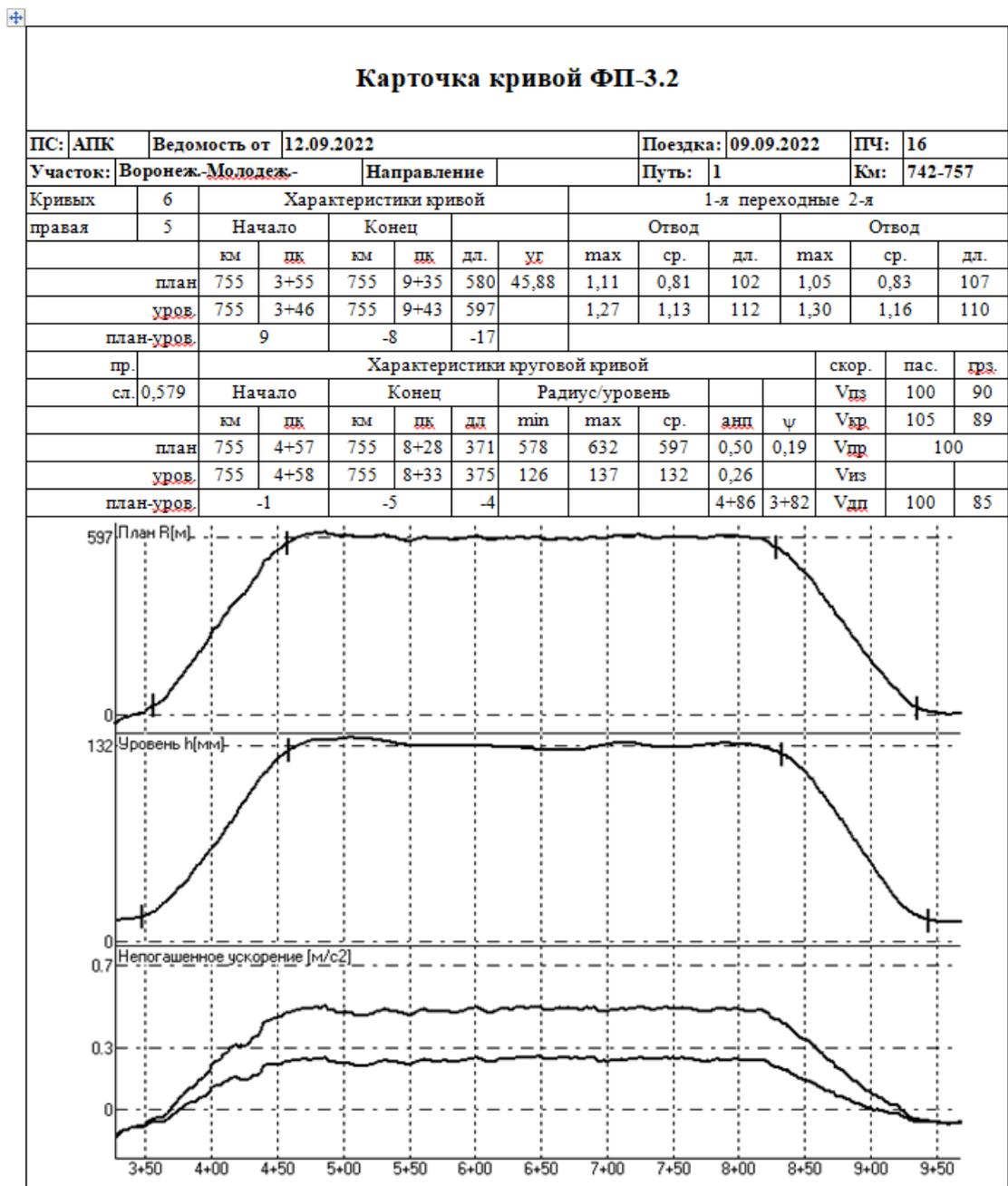


Рис. 4. Карточка кривой по форме ФП-3.2

Формирование исполненного продольного профиля выполняется по данным, полученным с АПК «Профиль-М» на основе спутникового нивелирования. Отметки проектного продольного профиля представлены в нормальной (Балтийской) системе высот, а ГНСС оборудование, входящее в комплект АПК «Профиль-М» позволяет определять соответственно только геодезические высоты H .

В процессе работ для получения исполненного продольного профиля пути, выполняется привязка съемки АПК «Профиль-М» к существующей геодезической разбивочной основе, выполненной проектным институтом на стадии проектно-изыскательских работ. Тем самым обеспечивается единство системы высот проектного и исполненного продольного профиля.

При использовании спутникового нивелирования большое значение имеет точность полученных координат. Проблема повышения точности в основном решается за счет использования относительных методов спутниковых измерений с дифференциальными поправками. В относительном методе по результатам ГНСС измерений вычисляются приращения ΔX , ΔY , ΔZ пространственных координат от базовых станций. При фазовых методах измерений достигается достаточная точность для определения координат и высотных отметок железнодорожного пути (табл. 1).

Результаты

В месте производства работ железнодорожного пути пункты рабочей реперной сети в соответствии с нормативной документацией располагаются на расстоянии не более двух километров друг от друга. Для данных пунктов определены отметки в Балтийской системе высот и отражены в проектной документации. Они же используются и в процессе ремонта и в рамках исполнительных съемок, для обеспечения единства измерений. Для перехода от геодезических высот H к нормальным H^y в пределах пунктов реперной сети, с помощью геометрического или тригонометрического нивелирования выносится отметка с репера на головку рельса в ряде сечений (рис. 5) для определения разности высот квазигеоида или аномалии высоты ζ .

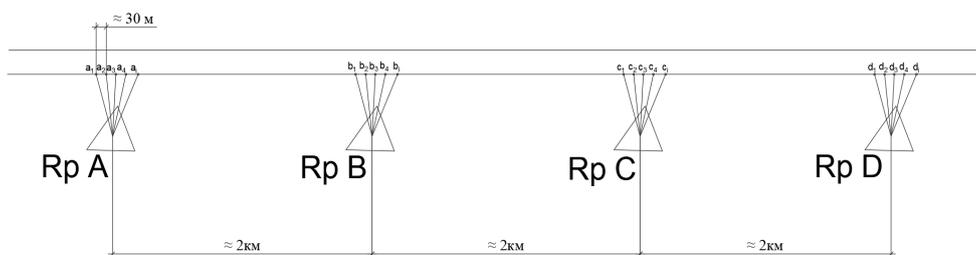


Рис. 5. Схема выноса нормальных высот с репера на головку рельса

Значение аномалии высоты определяется по формуле:

$$\zeta = H - H^y \quad (3)$$

По данной схеме на участках железнодорожного пути Урываево-Панкрушиха, путем тригонометрического нивелирования были определены отметки головки рельса в сечениях через 30 метров в непосредственной близости от пунктов реперной сети (рис. 5), которые располагаются на анкерах опор контактной

сети. В каждой точке по формуле (3), вычислено значение аномалии высоты ζ для каждого сечения. Для уменьшения влияния ошибки определения высот GNSS-оборудованием на значение аномалии высоты ζ , выполнено осреднение по всем сечениям вблизи реперной точки (табл. 2). Разница между смежными реперными точками $\zeta_i - \zeta_{i+1}$ составила не более 2,4 см.

Таблица 2

Значение аномалии высоты на пунктах реперной сети

Репер	№ точки	Пикет, м	H , м	H' , м	ζ , м	$\zeta_{ср.}$ м
А	a ₁	497222,18	159,178	161,349	-2,171	-2,169
	a ₂	497249,36	159,269	161,440	-2,171	
	a ₃	497284,93	159,224	161,384	-2,160	
	a ₄	497344,28	159,212	161,385	-2,173	
В	b ₁	497886,17	159,278	161,437	-2,159	-2,159
	b ₂	497930,47	159,305	161,475	-2,170	
	b ₃	497975,10	159,331	161,500	-2,169	
	b ₄	498021,32	159,340	161,502	-2,162	
	b ₅	498073,97	159,380	161,526	-2,146	
	b ₆	498104,02	159,395	161,545	-2,150	
С	c ₁	499701,61	157,159	159,319	-2,160	-2,164
	c ₂	499749,64	157,089	159,251	-2,162	
	c ₃	499799,54	157,121	159,288	-2,167	
	c ₄	499849,85	157,176	159,347	-2,171	
	c ₅	499889,85	157,231	159,395	-2,164	
	c ₆	499929,03	157,218	159,378	-2,160	
D	d ₁	500900,34	155,612	157,777	-2,165	-2,166
	d ₂	500948,84	155,464	157,621	-2,157	
	d ₃	500994,55	155,279	157,445	-2,166	
	d ₄	501045,08	155,134	157,311	-2,177	
	d ₅	501095,36	154,988	157,155	-2,167	
	d ₆	501139,04	154,837	157,000	-2,163	
E	e ₁	502060,97	154,110	156,253	-2,143	-2,142
	e ₂	502100,71	154,010	156,170	-2,150	
	e ₃	502161,58	153,928	156,079	-2,151	
	e ₄	502200,20	153,831	155,973	-2,142	
	e ₅	502260,23	153,689	155,822	-2,133	
	e ₆	502300,19	153,606	155,735	-2,129	

Значения аномалии высоты ζ между реперными точками определялись путем линейной интерполяции пропорционально расстоянию. Соответственно нормальные высоты на пикетах для исполненного продольного профиля определялись как разница между H и $\zeta_{инт.}$ Статистический набор данных показал, что величина ζ зависит от наклона квазигеоида к эллипсоиду. Так, для участков железнодорожного пути Омской области и Юго-Западной части Алтайского края разность величины ζ составляла не более 4см между смежными реперными точками, расстояние между которыми равнялось двум километрам, а для восточной

части Новосибирской области и Кузбасса разность величины ζ достигало 7 см на расстоянии 2 километра. На значение ζ влияет точность определения высот пунктов реперной сети и точности определения геодезических высот.

Заключение

Исполнительная съемка железнодорожного пути после ремонтов (реконструкции) с использованием АПК «Профиль-М» на основе координатных методов позволяет производить оценку качества ремонта пути, как по геометрическим параметрам, так и по пространственным данным. Спутниковое нивелирование с привязкой к пунктам реперной сети значительно повышает производительность, при этом точность определения отметок и уклонов профиля полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» №2888/р от 17.12.2021 г.
2. Распоряжение ОАО "РЖД" от 07 апреля 2017 г. N 678р "Об утверждении положения о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами».
3. Щербаков, И. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / И. В. Щербаков // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика: ХLI Междунар. науч. конф., 3–4 апр. 2017 г., Алматы: сб. материалов. – Алматы: КазАТК, 2017. – С. 366–371.
4. Пат. 2628541 Российская Федерация, RUC 1 МПК В 61 К9/08Е 01В 35/00. Способ определения пространственных координат и геометрических параметров рельсового пути и устройство для его осуществления / В.В. Щербаков, И.В. Щербаков, И.А. Бунцев; заявитель и патентообладатель Щербаков В. В. – № 2016106560; заявл. 24.02.2016; опубл. 18.08.2017, Бюл. № 23. – 7 с.

© С. А. Комягин, Е. Н. Тимофеев, Н. В. Ефимов, 2024