

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТАНОВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ПРОЕКТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Сергей Анатольевич Комягин

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ведущий инженер, тел. (923)777-35-44, e-mail: skomyagin@mail.ru

В статье рассмотрены основные подходы к выправке железнодорожного пути при текущем содержании и ремонте (реконструкции). Описан принцип выправки пути по методу сглаживания, а также недостатки этого метода, влияющие на дальнейшую эксплуатацию пути. Определены методы постановки железнодорожного пути в проектное положение. Показана необходимость соответствия геометрических параметров пути проектным данным. Представлены существующие зарубежные и отечественные системы выправки пути. Описан их принцип действия при постановке пути в проектное положение. Выявлены достоинства и недостатки существующих методов и систем для выправки железнодорожного пути, а также возможность применения данных систем в рамках утвержденной существующей технологии ремонта железнодорожного пути.

Ключевые слова: ГИС-технологии, ремонт пути, геометрические параметры пути, автоматизированное управление, постановка железнодорожного пути в проектное положение

ANALYSIS OF METHODS FOR SETTING THE RAILWAY TRACK IN THE DESIGN POSITION

Sergey A. Komyagin

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Leading Engineer, phone: (923)777-35-44, e-mail: skomyagin@mail.ru

The article discusses the main approaches to the alignment of the railway track during repairs and the current maintenance of the track. The principle of smoothing the path using the smoothing method is described, as well as the disadvantages of this method that affect the further operation of the path. The problem of setting the railway track in the design position are identified. The necessity of matching the geometric parameters of the path to the design data is shown. The existing foreign and domestic track alignment systems are presented. Their principle of operation when setting the path to the design position is described. The advantages and disadvantages, if existing methods and systems for railway track alignment are revealed, as well as the possibility of using these systems within the approved existing technology of railway track repair.

Keywords: GIS technologies, rail track repairment, rail track geometric parameters, automated management, setting the railway track in the design position

Введение

Под действием динамических нагрузок от подвижного состава в балластном слое железнодорожного пути возникают упругие и остаточные деформации. Последние со временем накапливаются, как правило, неравномерно на всем протяжении пути (рис. 1).

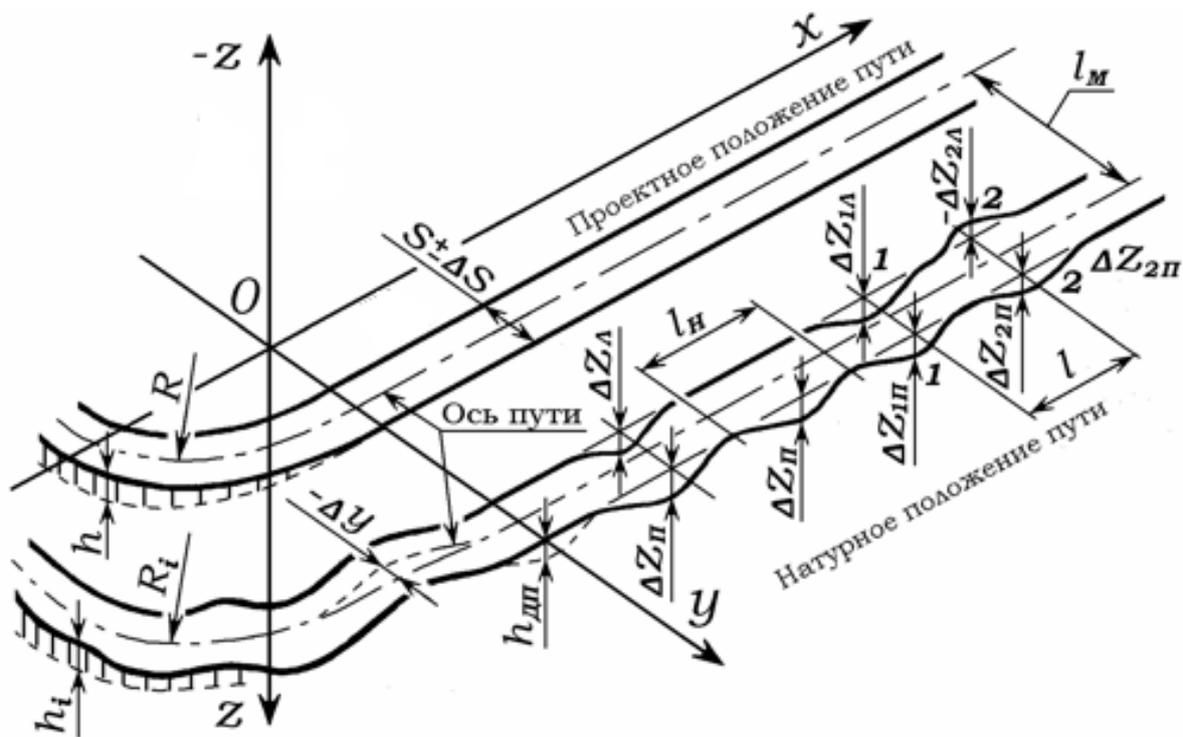


Рис. 1. Положение рельсошпальной решетки в прямоугольной системе координат

Для обеспечения безопасного пропуска поездов с расчетными скоростями движения при текущем содержании пути и рамках ремонтов пути требуется устанавливать путевую решетку в проектное положение и фиксировать ее уплотнением балласта. В путевом хозяйстве эти технологические операции выполняются машинами и механизмами для уплотнения и стабилизации балластной призмы, выправки и отделки пути.

На этих машинах установлены системы, которые обеспечивают одновременно выправку в трех координатах (в продольном профиле, в плане и по уровню). Конструкция и элементная база применяемых выправочных систем весьма многообразны, но при этом по принципу действия применяемые выправочные системы имеют много общего.

Методы и материалы

Для реализации технологического процесса выправки пути машина должна быть оснащена системой, позволяющей производить измерения пути перед выправкой, непосредственно в процессе выправки и после относительно базы отсчета. Базы имеют определенное конструктивное устройство и используют элементы и физические явления, позволяющие построить прямолинейные измерительные хорды, связанные с положением пути в заданных сечениях, для оценки отклонений оси пути через стрелы изгиба или углы между хордами. На рис. 2

приведены: абсолютная (неподвижная) (а), подвижная (б) и совмещенная (в) базы измерения [1].

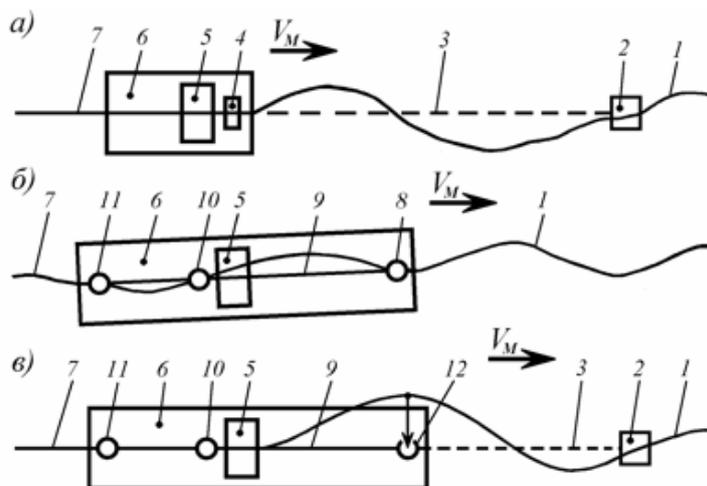


Рис. 2. Базы измерения систем для выправки пути в плане:

а) абсолютная; б) относительная; в) совмещенная: 1,7 – положение пути до и после выправки; 2 – неподвижная передняя точка измерительной системы; 3 – базовая неподвижная линия измерения; 4 – датчик положения РШР относительно линии визирования в точке выправки; 5 – ПРУ; 8, 11 – подвижные передняя и задняя концевые точки измерительной системы; 9 – подвижная хордовая база измерения; 10 – датчик стрелы изгиба пути; 12 – направляющая передняя концевая точка, отслеживающая смещением в поперечном направлении линию визирования

Системы, у которых передняя точка подвижной измерительной базы перемещается вдоль пути до выправки и является направляющей для системы в целом, называются системами сглаживающего типа (рис. 9, б).

Системы, реализующие методы выправки с использованием неподвижных относительно пути баз (рис. 9, а, в) – линий визирования, называются системами, работающими по точному методу (метод фиксированных точек).

Универсальные выправочные системы содержат в себе элементы систем сглаживания и систем выправки относительно неподвижной базы измерения.

Наибольшее распространение на сети железных дорог России и за рубежом получили системы выправки пути по методу сглаживания. Основное достоинство данных систем – отсутствие необходимости выполнения большого объема трудоемких натурных измерений, сложных расчетов и корректировок. При этом данные системы осуществляют выправку пути не с целью его постановки в проектное положение, а с целью уменьшения неровностей пути до допустимых значений. Данный метод получил широкое применение при текущем содержании пути для уменьшения неровностей пути при выправке и постановке пути в оптимальное положение.

После прохода системы уменьшается отклонение от оси пути на остаточной неровности, она разносится на большую длину, а ее вершина смещается назад.

Фактическая ось пути приобретает плавные очертания, хотя и имеет отступления от проектного положения, таким образом, система проявляет сглаживающие свойства.

Главный недостаток таких систем и метода выправки пути – ограниченные функциональные возможности по постановке пути в проектное положение, в том числе ограниченная база измерений 21 м.

Недостатки сглаживающих систем являются принципиальными, т.к. ограничивают их функциональные возможности в целом и без комплексирования с системами управления выправкой пути, созданными на базе координатных методов и соответственно пространственных данных, не эффективны и имеют перспективы развития только при сглаживании. При этом в настоящее время практически весь парк выправочных машин типа ВПР, ВПО, Дуоматик и другие оснащен хордовыми (сглаживающими) системами. Кроме того, путеизмерительные вагоны типа КВЛП и ЦНИИ-4 также оснащены хордовыми системами измерений.

При введении корректирующей стрелы в систему управления выправкой пути по методу сглаживания, выправка осуществляется по методу фиксированных точек (расчетных сдвигов). Таким образом, при правильной коррекции работы сглаживающей системы повышается точность выправки пути.

Измерительная база системы выправки пути обычно устанавливается на машине, поэтому возможности постановки пути в проектное положение без дополнительной системы привязки ограничены. В связи с чем современные выправочно-подбивочные машины оснащаются системами, которые совмещают в себе относительную базу с привязкой к абсолютной базе реперных точек (маяков) на местности. Передняя точка хорды является направляющей, поэтому в большинстве случаев по абсолютной привязке корректируется ее положение.

Установка абсолютной базовой линии отсчета может быть реализована либо непосредственной установкой неподвижной базы отсчета (оптической, лазерно-лучевой и др.), либо предварительным нивелированием с сохранением путем соответствующей обработки данных измерений базовой линии отсчета и внесением корректировок.

Получившая наибольшее распространение в мире австрийская система ALC фирмы «Plasser and Theurer» работает по данному методу, а именно по задаваемым извне геометрическим параметрам положения пути в плане и профиле на основе данных ручных или геодезических съемок, выполненных оптическими средствами измерений.

Для машин, оборудованных Dos-ALC и Win-ALC, параметры выправки вводятся оператором вручную. Значения сдвижки и подъемки, отраженные в материалах съемок, вносятся в компьютер, и в процессе работы программа обеспечивает выправку пути по заданным значениям.

Управление рабочим процессом может быть автоматическим, полуавтоматическим или ручным. Для автоматизированной записи и выправки положения пути в трех координатах на машине установлены две трехточечные системы (ни-

велирочная – с двумя тросами-хордами, рихтовочная – с одним тросом-хордой) и пропорциональные контрольно-измерительные системы.

Управление в режиме выправки ведется автоматизированной системой WIN-ALC со специально разработанным программным обеспечением, позволяющим выправлять путь по фиксированным точкам в сочетании с системой сглаживания.

Для постановки пути в проектное (заданное) положение используют лазерные системы (построители плоскостей) в комплексе со спутниковой аппаратурой ГНСС или опорной геодезической сетью, посредством которых осуществляется регулирование передней точки сглаживающей системы. Данный способ реализован в системе EM-SAT австрийской разработки. Опыт использования этих систем получен на железных дорогах Германии (DBAG), Австрии и в Италии [2].

Информации, полученной только в местах расположения реперов, для обеспечения работы сглаживающих систем по методу фиксированных точек и установки пути в проектное положение в неподвижной системе координат недостаточно. Для этого необходимо иметь информацию о фактическом положении пути в промежутке между реперами, которые находятся между собой на определенном расстоянии (60–80 м).

Система EM-SAT объединяет относительный и абсолютный методы контроля положения железнодорожного пути. Относительный метод реализуется с помощью построения измерительной хорды, образованной лазерным лучом. Источник лазерного излучения устанавливают на специальной самоходной тележке, а приемник – на измерительном вагоне (рис. 3).



Рис. 3. Система выправки пути EM-SAT

Сущность заключается в измерении смещений измерительной тележки (рабочих органов выправочной машины) относительно заданных плоскостей лазерного построителя плоскости, ориентированного в пространстве по координатам, полученным с помощью ГНСС (GPS/ГЛОНАСС) или относительно реперной геодезической сети через 300–400 м с помощью тахеометров [3].

Процесс измерения в системе EM-SAT осуществляется циклически. У каждого последующего репера запись ГНСС и лазерных измерений останавливают за этим репером, на расстоянии нескольких метров. С помощью оптического прицела лазер устанавливают относительно приемника главной машины.

Главная машина с измерительной осью при этом находится точно на репере. Дорожный мастер красным цветом на подошве рельса обозначает место стояния главной машины. С помощью видеокамеры, которая показывает подошву рельса и колесо измерительной оси, значительно облегчается определение точного позиционирования машины.

На этапе измерительной поездки определяют фактическое положение пути относительно положения лазерного луча через каждые 20 м. Далее после достижения следующего репера рассчитывают величины сдвижки и подъемки этого участка пути и выдают их на монитор и печатающее устройство. В это время спутниковую аппаратуру ГНСС уже перемещают к следующему реперу и аналогично выполняют следующие измерения.

При помощи системы EM-SAT за счет использования длинной лазерной хорды можно измерять длинные неровности пути в продольном профиле и плане [4]. Таким образом, постанковка пути в проектное положение осуществляется с исключением длинных неровностей, как в плане, так и в профиле.

В качестве абсолютной базовой линии отсчета может быть использована искусственная опорная измерительная база в виде копир-струны (рис. 4).

Метод, в основе которого лежит использование копир-струны, является наиболее высокоточным при постанковке пути в проектное положение.

Копир-струна натягивается на держатели, которые имеют геодезическую привязку к пунктам реперной геодезической сети через определенный интервал 10–50 м и закрепляется примерно в 2 м от проектного положения пути. В процессе работ контролируется пространственное положение копир-струны геодезическими методами.



Рис. 4. Применение копир-струны при проведении ремонтных работ

Сущность способа заключается в сравнении фактических и проектных координат (расстояний) между осью ремонтируемого пути и копир-струной в i -х сечениях, вычислении смещения (рихтовки, подъемки) пути в плане и профиле и выработке сигнала на смещении пути в проектное положение. Это наиболее точный метод постановки пути в проектное положение, в то же время наиболее трудоемкий и затратный, так как содержит большой объем геодезических работ на подготовительном и основном этапе ремонта пути [3].

Метод постановки пути в проектное положение с использованием копир-струны широко применяется на полигоне железных дорог Германии. В России данный метод нашел большое распространение на автомобильных дорогах. А на железных дорогах наибольшее распространение при реконструкции и капитальном ремонте получил метод бокового нивелирования (80%) с использованием данных эюры рихтовок и продольного профиля [5].

Метод основан на сравнении в процессе выправки пути проектных и фактических значений междупутья (рис. 5).

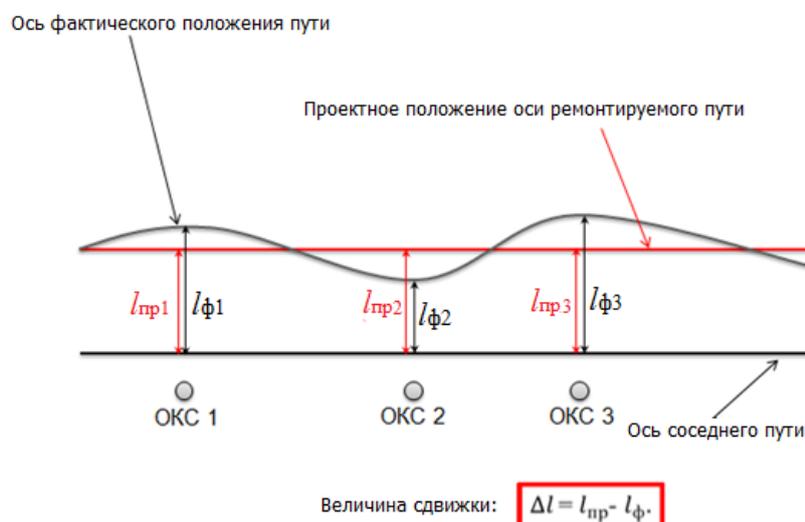


Рис. 5. Схема постановки пути в проектное положение по эюре рихтовки методом бокового нивелирования

Проектные значения в сечениях через 20–50 м приведены в эюре рихтовок, а фактические по отчетам на горизонтальной нивелирной рейке «на глаз» между сечениями с известными проектными значениями междупутья (рис. 6). Величина проектного междупутья между опорными сечениями интерполируется также «на глаз».

Метод не требует затрат на оборудование и приборы, прост в реализации, но имеет существенные недостатки, связанные с копированием неровностей соседнего пути, включая кривые.

В основе координатного метода постановки пути в проектное положение на базе ГНСС по цифровой модели пути лежит принцип сравнения проектного положения оси пути и возвышения рельса (проектные данные берутся из эюры

рихтовок и продольного профиля) с фактическим пространственным положением подъемно-рихтовочного устройства (ПРУ).

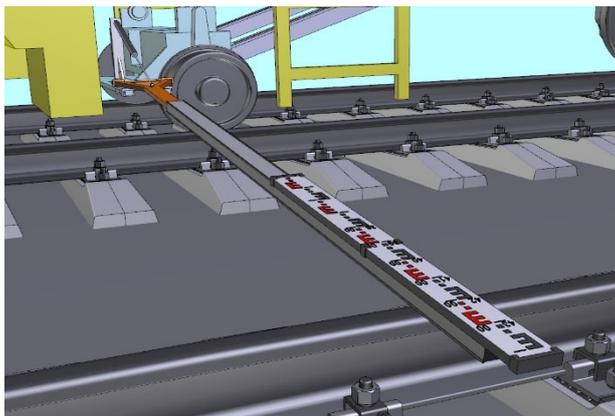


Рис. 6. Постановка железнодорожного пути в проектное положение методом бокового нивелирования

Сущность работы системы автоматизированного управления (САУ) заключается в сравнении текущих координат оси пути $X_{\phi_i}, Y_{\phi_i}, H_{\phi_i}$ в i -ых точках, определяемых САУ (спутниковыми приемниками ГНСС) и проектных координат $X_{np_i}, Y_{np_i}, H_{np_i}$ из базы данных САУ, расчете сдвижек и подъемов по разности текущих координат и формировании управляющего сигнала на управляющие органы электро и гидропривода (рис. 7).

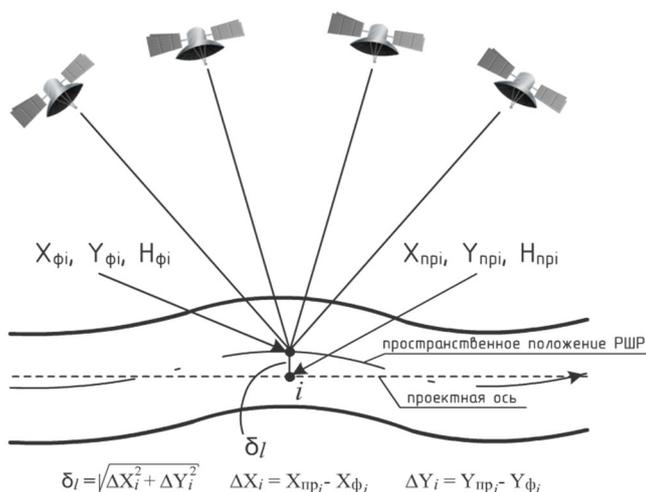


Рис. 7. Принципиальная схема определения сдвижки

При равенстве проектных и текущих координат путь лежит в проектном положении [6].

Выводы

Вышеперечисленные системы и методы выправки железнодорожного пути имеют как достоинства, так и принципиальные недостатки. Основной принцип использования систем сглаживающего типа сводится к уменьшению остаточной неровности и приведению пути к оптимальному положению, а не к проектному. Эти системы можно разделить на несколько типов.

Системы ALC, разработанные фирмой «Plasser und Theurer», работают по принципу сглаживания, обеспечивая требуемую плавность выправленного пути. Данная система может работать как без измерительной поездки, так и с ней. В обоих случаях система позволяет задавать значения проектных параметров кривых в программном обеспечении. Однако эти системы не позволяют выправлять длинные неровности пути без геодезической съемки и соответствующих расчетов поправок сдвигов и подъемов [7].

Данный метод работ в России используется крайне редко в силу его трудоемкости и существующей технологии ремонтов железнодорожного пути.

Другая система (ВПИ «Навигатор»), которая установлена на большинстве машин типа ВПР, осуществляет выправку пути по методу сглаживания с введенными до работы ограничениями на сдвиги и подъемки.

Реализованный в ВПИ «Навигатор» алгоритм предполагает перед началом работ ввести ряд ограничений, обязательных для всего участка пути. В этом случае расчеты не отражают объективного фактического положения пути. Если расчетный сдвиг пути достигает предела введенного ограничения, то появляющаяся неровность пути классифицируется как радиусная составляющая.

Таким образом, при появлении на прямом участке пути длинных неровностей (завадин) в этой системе при измерительном проходе им присваиваются радиусы и назначаются соответствующие возвышения по уровню. При появлении длинных неровностей на круговой или переходной кривой, они также классифицируются как кривые определенных радиусов с соответствующими возвышениями по уровню. Ввиду этого появилось большое количество многорадиусных кривых, с соответствующим им многообразием возвышений наружного рельса.

После работы машин, оборудованных данной системой, переходные кривые не соответствуют проектным параметрам, и с каждым проходом машины переходные кривые удлиняются, образуя в начале и конце переходные кривые, а также при подходе к ним дополнительные смещения (зарихтовки). Также ликвидируются прямые вставки в S-образных кривых, не устраняются дополнительные радиусы на однорадиусной кривой по проекту.

Поэтому возникает необходимость устранения неровностей в геометрии пути в процессе выправки в рамках ремонтов и приведение его положения в проектное.

Осуществить это возможно только с использованием абсолютных неподвижных измерительных баз для определения фактического положения пути. Наиболее точно можно определить положение пути между реперами с использованием геодезических приборов, но этот способ является трудоемким.

Менее трудоемким является способ измерения фактического положения пути между реперами с использованием специальной системы EM-SAT. Однако этому способу присущи также определенные недостатки. Трудоемкой в этом способе является операция по настройке лазерной системы при каждой перестановке спутниковой аппаратуры. На точность измерения положения пути в этом способе могут влиять погрешности, возникающие при движении поездов по соседнему пути.

Максимальная длина лазерной хорды может составить 250 м, только на прямых участках пути без переломов продольного профиля. Максимальная производительность системы EM-SAT составляет на прямых участках пути 2,5 км/час. Производительность резко падает при работе на кривых участках пути и составляет 1,1 км/час, так как на кривых малого радиуса длина лазерной хорды должна быть существенно меньше. Длина лазерной хорды на кривом участке пути зависит от ее радиуса и может быть от 60 м и более, то есть на кривом участке пути требуется больше перестановок лазерной хорды, чем на прямом участке пути.

Стоимость вышеуказанного оборудования весьма велика, производительность на кривых участках пути резко снижается, и для обслуживания этого оборудования требуется привлечение соответствующего персонала. Все это снижает эффективность известного способа выправки пути, устройства для выправки пути и путевой машины, реализующих этот способ выправки пути [4].

Способ постановки железнодорожного пути в проектное положение с использованием копир-струны наиболее распространен за рубежом. В России широко применяется при ремонте автодорог, так как обладает рядом достоинств: высокой точностью пространственного положения относительно опорной геодезической (реперной) сети (± 5 мм), высокой точностью взаимного положения в смежных сечениях (± 1 мм), низкой стоимостью оборудования [3].

При этом наблюдается существенный ряд недостатков: высокая трудоемкость, расширенный штат геодезистов, большие затраты времени на подготовительные работы по установке копир-струны, расширенный штат рабочих по монтажу и демонтажу копир-струны и специального оборудования по регулировке натяжения и пространственного положения струны [3].

При работе в пятичасовое «окно» для обеспечения фронта работ необходимо почти столько же времени на установку копир-струны.

Метод бокового нивелирования наиболее доступный по стоимости оборудования и понятный для машинистов и технологов в реализации проектных решений. Поэтому боковое нивелирование (измерение расстояния от соседнего до оси ремонтируемого пути) до настоящего времени является одним из основных при постановке пути в проектное положение на двухпутных участках пути.

Есть при реализации данного способа существенные недостатки, например измерения «на глаз» текущих значений по нивелирной рейке (фактического междупутья) и вычисления проектных значений рихтовок в i -ых точках по пройденному расстоянию.

Расчеты выполняются путем интерполирования проектных значений по текущему расстоянию между опорными пунктами в сечениях через 20–50 м, «на

глаз», то есть «человеческий фактор» определяет качество постановки в проектное положение [3]. Разбивочные работы повышают качества работ за счет более точного определения рихтовок, но в целом «человеческий фактор» остается, и, кроме того, копирование неровностей соседнего пути разбивочные работы не устраняют. При переходе на координатные методы с учетом новых нормативных требований (распоряжение ОАО «РЖД» N75р) применение бокового нивелирования от соседнего пути не обеспечивает требуемую точность в плане и профиле [8].

В последнее время очень актуальна проблема несоответствия фактического положения железнодорожного пути проектному. Актуальность обусловлена необходимостью повышения скоростей движения поездов. При этом отклонения в геометрии пути и его пространственное положение, несоответствующее проектному, является сдерживающим фактором в этом направлении развития железнодорожного транспорта. Координатные методы выправки пути, комплексированные с системами сглаживания, являются наиболее перспективными в реализации постановки пути в проектное положение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Путьевые машины, применяемые в ОАО «РЖД» конструкция, теория и расчет. Путьевые машины: Учебник для вузов ж.-д. транс. с. М.В. Попович, В. М. Бугаенко, Б. Г. Волковойнов и др. Под ред. М. В. Поповича, В. М. Бугаенко. М.: Желдориздат, 2007 г.
2. Щербаков, В. В. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС В. В. Щербаков // Транспортное строительство. – 2012. - №1. – С. 18–20.
3. Щербаков В. В. Анализ способов постановки железнодорожного пути в проектное положение при реконструкции (модернизации) и эксплуатационной работе [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014 : X Междунар. науч. конгр. ; Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т., Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 2. – С. 87–92.
4. Пат. 2212486 Российская Федерация. Способ выправки железнодорожного пути, путьевая машина, устройство для выправки железнодорожного пути и измерительное устройство / К. Б. Ершова, С. В. Петуховский; заявитель и патентообладатель. Ершова, К. Б., Петуховский, С. В.; заявл. 05.02.2001; опубл. 20.09.2003. Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2212486>.
5. Щербаков В. В. Технология автоматизированной постановки железнодорожного пути в проектное положение с использованием бокового нивелирования / И. В. Щербаков, А. А. Быков, А. А. Земерова, С. А. Комягин // Путь и путьевое хозяйство. – 2020. – № 8. – С. 38–40.
6. Пикалов А. С. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС/ А. С. Пикалов. // Транспортное строительство. – М.: – 2012. – № 1. – С. 23–26.
7. Ершова К.Б. К вопросу выправки железнодорожного пути при его ремонтах / К. Б. Ершова, В. В. Петуховский, С. В. Петуховский, А. Е. Холин, Б.А. Юдин // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2006. – №10. – С. 36–40.
8. Распоряжение ОАО "РЖД" от 25 февраля 2015 г. N 480р "О внесении изменений и дополнений в Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО "РЖД" от 18 января 2013 г. N 75р".

© С. А. Комягин, 2021