

Комплексное решение постановки плана железнодорожного пути в проектное положение

С.Ю. Лагерев✉, И.Г. Карпов, Д.Н. Насников, Т.Н. Асалханова

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉lagerev.sergey@gmail.com

Резюме

В связи со стремительным ростом скоростей движения поездов существует необходимость в новых подходах к ремонту и содержанию железнодорожного пути в плане и профиле, что делает данную тему актуальной. В статье рассматриваются вопросы оптимизации съемки плана железнодорожного пути. Анализируется точность съемочных работ координатных и хордо-стреловых способов. После анализа выполнено моделирование в программном комплексе «Универсальный механизм». За основу модели взят реальный участок Иркутск-Сортировочной дистанции Восточно-Сибирской железной дороги, расположенный на 5 186–5 189 км. Главной целью моделирования являлось исследование влияния неровности пути в плане на поперечные силы крипа. При этом неровность в плане задана в размере величины неточности рассматриваемых способов съемки. В результате моделирования установлено, как неровность пути в плане влияет на поперечные силы, а также наглядно доказано, что для проектирования, содержания и ремонта железнодорожного пути необходимо применять комплексные или комбинированные способы выправки. Комбинированная съемка подразумевает синергию двух способов. Первый способ необходим для пространственного позиционирования пути, второй – для получения его максимальной плавности. Таким образом, соединение координатных и хордо-стреловых способов съемки может дать положительный результат в повышении качества содержания железнодорожного пути в плане. В работе даны рекомендации по комплексному решению постановки плана пути в проектное положение. Для этого целесообразно развивать и использовать как современные способы съемки с применением референчных станций, так и давно применяющиеся способы, основанные на измерении кривизны пути.

Ключевые слова

съемка железнодорожного плана пути, координатная съемка железнодорожного пути, референчные станции, программный комплекс «Универсальный механизм», точность измерения плана железнодорожного пути, проектное положение плана железнодорожного пути

Для цитирования

Комплексное решение постановки плана железнодорожного пути в проектное положение / С.Ю. Лагерев, И.Г. Карпов, Д.Н. Насников, Т.Н. Асалханова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 2 (74). – С. 58–68. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.2(74).58-68.

Информация о статье

поступила в редакцию: 28.10.2021 г.; поступила после рецензирования: 19.12.2021 г.; принята к публикации: 11.05.2022 г.

A comprehensive solution for setting the railway track plan in the design position

S.Yu. Lagerev✉, I.G. Karpov, D.N. Nasnikov, T.N. Asalkhanova

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉lagerev.sergey@gmail.com

Abstract

Due to the rapid growth of the train traffic speed there is a need in new approach to the repair and maintenance of a railway track both in plan and profile view making the subject topical. The paper considers the issues of the railway track plan survey. The accuracy of coordinate and boom surveying methods is analyzed. Following the analyses the modeling is performed in the "Universal mechanism" software package. The model is based on the existing section of the Irkutsk-Sortirovochnaya distance of East Siberian railroad situated at 5186 – 5189 km. The main purpose of the modeling was to consider the influence of the track plan unevenness on the creep shear forces. Herein the plan unevenness is given in the error value of the considered shooting methods. During the modeling it was found out how the track plan unevenness affects the shear forces, and demonstrated that while designing, maintaining and repairing the railway track it is necessary to use comprehensive or combined methods of straightening. The combined survey implies the synergy of the two methods. The first method is needed for the spatial positioning of the track while the second one – to achieve its maximum smoothness. Thus the combination of coordinate and boom methods can produce a positive result in increasing the quality of railway track maintenance in plan. In the article the recommendations are given for

comprehensive solution of setting the track into the designed position. For this, it is appropriate to develop and apply both modern methods using reference stations and the long-standing ones based on measuring the track's curvature.

Keywords

survey of the railway track plan, coordinate survey of the railway track, reference stations, software package «Universal mechanism», measurement accuracy of the railway track plan, the design position of the railway track plan

For citation

Lagerev S.Yu., Karpov I.G., Nasnikov D.N., Asalkhanova T.N. Kompleksnoe reshenie postanovki plana zheleznodorozhnogo puti v proektnoe polozhenie [A comprehensive solution for setting the railway track plan in the design position]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2022, no. 2 (74), pp. 58–68.–DOI: 10.26731/1813-9108.2022.2(74).58-68.

Article info

Received: October 28, 2021; revised: December 19, 2021; accepted: May 11, 2022.

Введение

Одной из сложных задач при ремонте и содержании железнодорожного пути по-прежнему является его выправка. Традиционные подходы к выправке пути не дают возможности проектного его содержания. Основной проблемой является отсутствие взаимодействия между проектными организациями и путевыми работниками (рис. 1). При этом зачастую геодезисты и проектировщики не вникают в технологию и возможности путевых работ, что также оказывает негативное влияние на качество ремонтов.



Рис. 1. Взаимодействие организаций при ремонте путей

Fig. 1. The interaction of organizations in the repair of tracks

Так, проектно-изыскательские работы по содержанию плана железнодорожной линии уже давно выполняются в координатах, а непосредственно сама постановка производится с привязкой к соседнему пути (рис. 2).



Рис. 2. Укладка пути с применением междупутного шаблона

Fig. 2. Laying a track using an inter-track template

Таким образом, после проектно-изыскательских работ выправка пути выполняется без их участия (без применения проектной документации). При этом основной целью выправки в таком случае является сохранение плавности движения подвижного состава. Такой процесс выправки пути, когда происходит общее смещение срединного положения из положения 1 в положение 2 рельсовой нити, называют сглаживанием (рис. 3). Если такое смещение происходит в горизонтальной плоскости, то его называют сдвигом, а в вертикальной плоскости – подъемкой (движение вверх) или осаживанием (движение вниз, например, при уравнивании балластного слоя динамическим стабилизатором пути). При смещении натурального положения рельсовой нити из положения 1 в 3 достигается постановка пути в проектное положение [1].

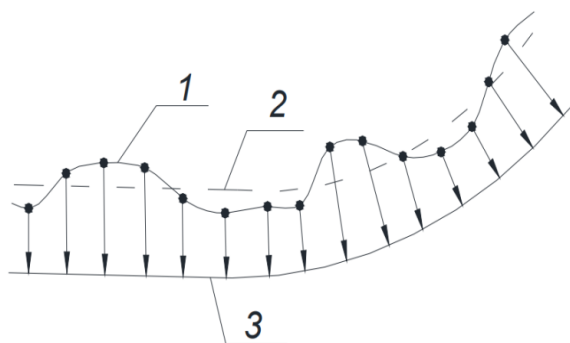


Рис. 3. Выправка пути методом сглаживания: (1 – натурное положение оси пути; 2 – ось отрихтованного пути по способу сглаживания; 3 – проектное положение оси пути)

Fig. 3. Smoothing the track by smoothing: (1 – the full-scale position of the axis of the track; 2 – the track axis straightened by smoothing methods; 3 – the design position of the track axis)

При таком подходе частично обеспечивается плавность движения поездов, но не выполняется главная задача – постановка пути в проектное положение, что, в конечном итоге, приводит к появлению таких негативных последствий:

- негабарит приближения строений;
- появление s-образных кривых при подходе к мостам и стрелочным переводам;
- положение кривых с неоптимальными ее параметрами (длины переходных и круговых кривых и их положения);
- другие последствия.

Учитывая стремительное увеличение скоростей движения поездов, необходим новый подход к ремонту и содержанию железнодорожного пути в плане и профиле. Очень важно более тщательно оценивать показатели плавности движения и комфортности поездки, которые часто вообще не анализируются, что отрицательно сказывается на содержании железнодорожного пути [2].

Наиболее современным и правильным решением будет переход к координатным системам. При этом в геодезических и проектных работах они уже давно применяются. Однако, когда дело доходит до выполнения непосредственно самих ремонтов, то из-за невозможности работы машин в координатных системах укладка и рихтовка пути производятся не по проекту. Следовательно, ремонты выполняются с постановкой пути в плане по методу сглаживания или по локальной съемке с предвари-

тельной измерительной поездкой, как уже было описано ранее. Из-за отсутствия комплексной технологии, позволяющей работать всем организациям в одной современной системе, происходит преждевременное расстройство и «зарихтованность» пути. Система обеспечения контроля качества работ при этом отходит на второй план [3].

Оценка влияния неровности пути на поперечные силы с использованием моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм»

Результаты эксперимента, описанные в [4], показывают, что расхождение углов поворота в конце участка при съемках плана пути стреловыми способами составило $0^{\circ}59'1,51''$, что свидетельствует о наличии большой погрешности по длине пути. Однако графики кривизны (рис. 4) характеризуют, небольшой разброс стрел и высокую точность их определения между соседними точками.

Расхождение углов поворота в конце участка при разных координатных съемках составляет $0^{\circ}5'1''$. Это указывает на хорошую точность выправки по длине пути. Однако резкое изменение величин кривизны (рис. 5) свидетельствует о плохой точности измерений между соседними точками, что зачастую оказывается на уровне тех рихтовок, которые получают в расчетах.

Таким образом, точность стрелового способа на 30–50 мм выше, чем координатного. Однако преимущество точности пространственного позиционирования оси пути остается за координатным способом.

Для более глубокого анализа произведем моделирование части рассматриваемого участка в программном комплексе «Универсальный механизм». Характеристики рассматриваемого участка представлены на рис. 6.

За основу модели взят реальный участок Иркутск-Сортировочной дистанции Восточно-Сибирской железной дороги, расположенный на 5 186–5 189 км, который рассматривался в [4]. Основной элемент плана – это кривая: длины переходных кривых – 90 м; круговая кривая – 817,9 м; радиус кривой – 400 м; возвышение наружного рельса – 105 мм. Верхнее строение пути состоит из рельсов Р65, железобетонных шпал с промежуточными скреплениями типа ЖБР-65Ш. В виде модели поезда принят состав с тремя четырех-

осными вагонами. Скорость движения 90 км/ч (25 м/с), вес одного вагона 70 т.

Основной целью моделирования является исследование влияния неровности пути в плане на поперечные силы крипа. При этом величина неровности соответствует расхождению точности съемки между стреловым и координатным способами. Данный анализ необходим для до-

полнительного изучения возможности содержания и проектирования рельсовой колеи в координатных системах. При этом нужно учитывать, что в модели принята погрешность, возникающая во время измерительных работ. Съемка выполнялась в статическом режиме с увязкой полученных данных по всем правилам геодезических вычислений. Если сравнивать со

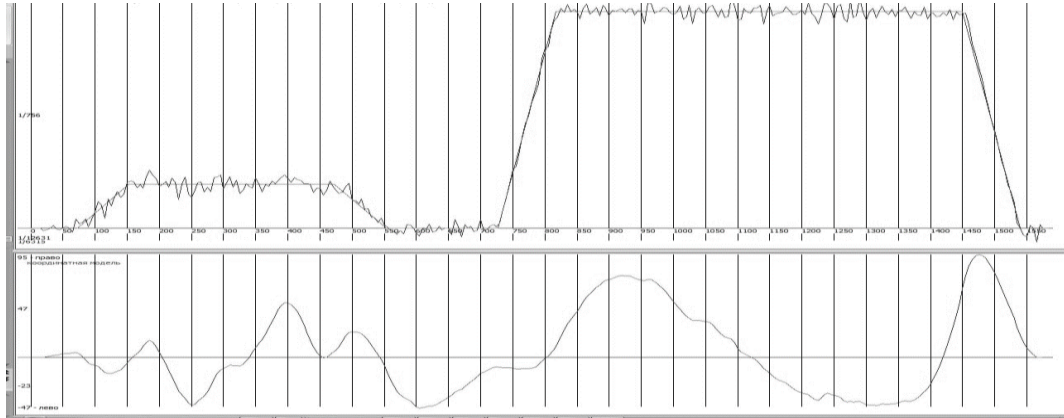


Рис. 4. Расчет выправки пути с применением данных, полученных модифицированным стреловым способом

Fig. 4. Calculation of the track straightening using data obtained by a modified boom method

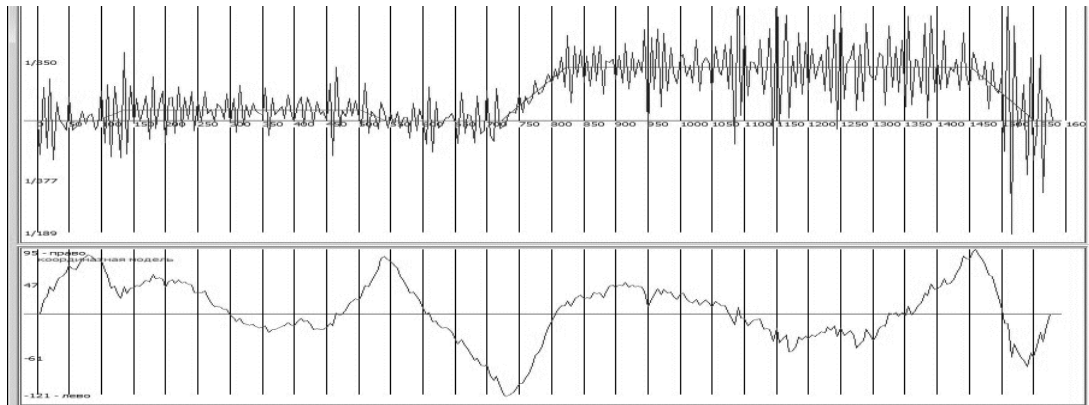


Рис. 5. Расчет выправки пути с применением GPS-данных

Fig. 5. Calculation of the track straightening using GPS data

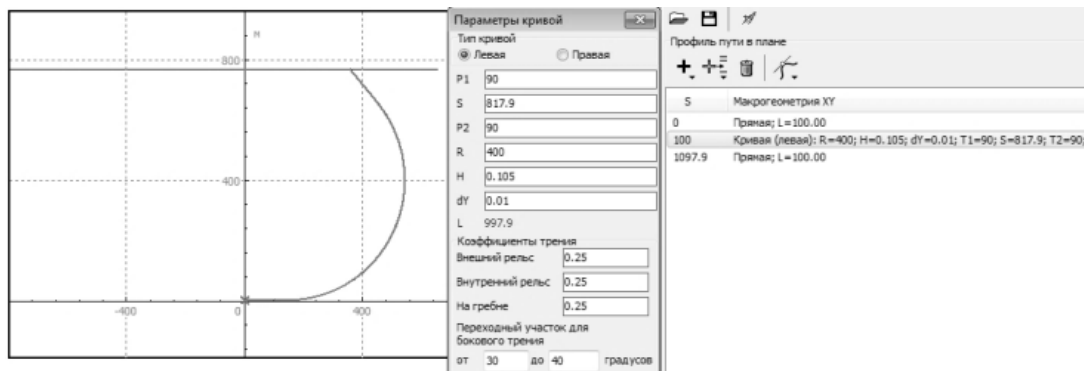


Рис. 6. Характеристики моделируемого участка в программном комплексе «Универсальный механизм»

Fig. 6. Characteristics of the simulated area in the «Universal Mechanism» software package

съемкой пути, выполняемой современными путеизмерительными тележками или выправочно-подбивочными машинами, работающими при поддержке глобальных навигационных спутниковых систем (Global Navigation Satellite System, GNSS), то точность будет гораздо ниже из-за производства работ в динамике. В таком случае дополнительная погрешность может возникать по следующим причинам: колебания измерительной базы; работа GPS/ГЛОНАСС приемника в динамическом режиме; высокое расположение антенны и др. В таком случае уход оси гироскопа – это один из важных факторов, который необходимо учитывать и контролировать [5–7]. Однако внедрение автоматизированного управления и глобальных навигационных технологий на выправочно-подбивочных машинах необходим на сетях ОАО «РЖД» [8].

При интегрированном моделировании без неровностей пути в плане, с заданными параметрами, максимальные поперечные силы крива составили 19 кН на внутренней рельсовой нити. Для построения графиков за основу принималась передняя колесная пара первого вагона (рис. 7).

Для интегрированного моделирования с отступлениями в плане принята локальная неровность пути в круговой кривой по типу $h/2(1 - \cos x)$, где h – величина неровности. Так как расхождение точности съемок кривой равно 0–50 мм, величина локальной неровности принята 25 мм (рис. 8).

Из графика зависимости поперечной силы крива от пройденного расстояния видно, что неровность пути в плане величиной 25 мм привела к увеличению силы примерно на 20 кН. Из-за того, что модель пути задана в виде неупругого элемента, величина поперечных сил сместилась после прохождения подвижным составом неровности. Средняя величина сдвига как раз показывает возможное увеличение поперечных сил при проходе подвижного состава по неровности пути в плане.

Применять описанную модель для точного прогнозирования движения подвижного состава нецелесообразно, так как на практике величина поперечных сил будет иметь другие значения. Они будут зависеть от множества дополнительных факторов, которые могут значительно повлиять на ситуацию. Однако данная модель наглядно и в очередной раз доказывает,

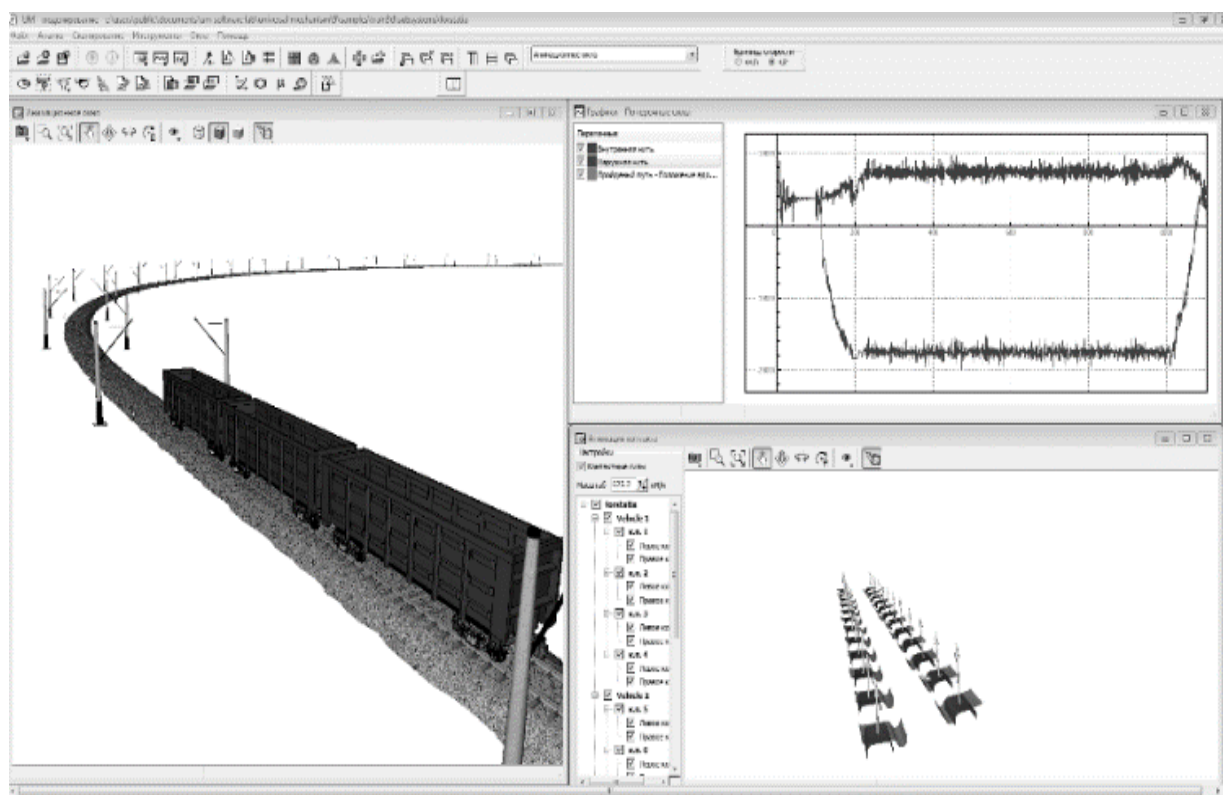


Рис. 7. Интегрированное моделирование при ровном плане пути в программном комплексе «Универсальный механизм»

Fig. 7. Integrated modeling for an even track plan in the «Universal Mechanism» software package

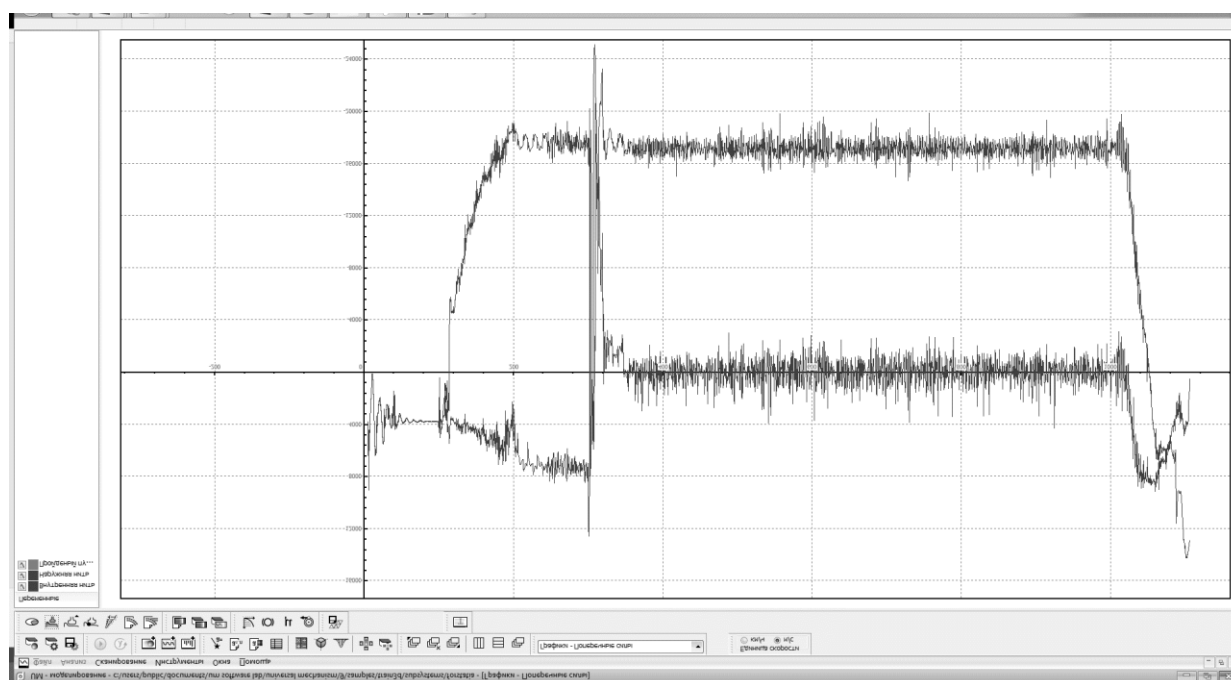


Рис. 8. Интегрированное моделирование при неровности в пути в плане в программном комплексе «Универсальный механизм»

Fig. 8. Integrated modeling under the plan track irregularities in the «Universal Mechanism» software package

что для проектирования, содержания и ремонта железнодорожного пути необходимо применять комплексные или комбинированные способы выправки. При этом особое внимание нужно уделять точности измерения и непосредственно самим работам по выправке пути.

Способы съемки плана железнодорожного пути, основанные на измерении кривизны кривой

Эксперимент, проведенный в [4], доказывает, что исключать проверенные способы измерения пути, основанные на определении его кривизны, нельзя. Они позволяют оценивать равномерность изменения стрел изгиба. К ним относятся:

- способ стрел;
- модифицированный способ стрел;
- способ Гофера;
- способы, основанные на измерении угла поворота кривой.

Способ стрел применяется на кривых участках пути и состоит из разметочных и измерительных работ. При съемке кривой принято выполнять только один проход с измерением стрел изгиба, после чего выполняется расчет выправки с последующей рихтовкой. Следует отметить, что результаты такой съемки содер-

жат случайные и систематические ошибки, существенно влияющие на результаты всей работы. Также к недостаткам обычного способа стрел можно отнести большое расстояние между снимаемыми точками (как правило, 10 м). Уменьшение шага съемки до 5 м (хорда 10 м) вместо ожидаемого увеличения точности, приводит к возрастанию погрешности в десятки раз, поскольку абсолютное значение стрелы уменьшается, и относительная погрешность возрастает до 4 раз, количество точек возрастает вдвое (что при двойном суммировании стрел приводит также к возрастанию погрешности до 4 раз). Несмотря на все его недостатки применение этих способов в выправке пути, позволяет получить хорошую его плавность. Именно поэтому в современных выправочных машинах (ВПр, ВПО DUOMATIC и др.) присутствует сглаживающая система, основанная на измерении стрел изгиба.

Сглаживающая система – устройство, предназначенное для выправки (сглаживания) неровностей железнодорожного пути в плане или в продольном профиле, включающее подъемно-рихтовое устройство (ПРУ) и одну или несколько измерительных хорд, служащих для измерения стрел изгиба пути в фиксированных точках измерения хорд, одна из этих точек счи-

тается одновременно и точкой воздействия ПРУ на путь. В процессе работы сглаживающая система ПРУ поддерживает стрелу изгиба пути в точке выправки в определенной зависимости от стрел, измеренных в других фиксированных точках.

Соотношение между стрелами изгиба пути, реализуемое системой в процессе выправки без учета специальной корректировки, изменяющей это соотношение в зависимости от проектных данных пути или его натурального состояния, называется основной формулой выправки. Корректировка установленного соотношения измеряемых контрольной системой стрел изгиба пути преследует цель предотвратить одно-стороннее смещение рельсовых нитей относительно требуемого после выправки положения.

Координатные способы съемки

В настоящее время съемку железнодорожного пути осуществляют с помощью современного геодезического оборудования (нивелиров, теодолитов, тахеометров и спутниковых радионавигационных систем). Наиболее распространенным геодезическим оборудованием для измерения координат точек пути в плане являются тахеометры и спутниковые радионавигационные системы. Координатные измерения могут осуществляться способом линейной засечки; способом реперных створов; способом прямоугольных координат; способом полярных координат.

Как правило, получение координат точек пути основано на полярном способе, в основе которого заложен теодолитный или тахеометрический ход. При наличии GPS/ГЛОНАСС оборудования имеется возможность определять координаты точек пути. Одним из важных требований к съемке является открытая местность без каких-либо препятствий для наблюдения приемниками GPS/ГЛОНАСС спутников. Препятствиями служат: рядом стоящие здания, деревья, горы, элементы контактной сети и др. Наилучшие результаты получают только при использовании двухчастотных приемников в статическом режиме.

При установке GPS – приемников на путеизмерительные вагоны, тележки или выправочные машины производители оборудования и исследователи приводят следующие возможные погрешности (табл.). [9].

Точность GPS – приемников
Accuracy of GPS-recievers

Режим измерений	Точность, мм
Бытовой	10 000
Геодезический одиночный	1 000
Геодезический дифференциальный	
Статика, быстрая статика	5+ Δ
Кинематика	20+ Δ
Движение (гироплатформа, специальная опорная сеть)	25+ Δ
Движение	200+ Δ

Дополнительное слагаемое Δ зависит от расстояния между перемещающимся и стационарным приемниками и составляет 1–3 мм на один км.

Для получения более надежного сигнала приемники устанавливают повыше: либо на крыше вагона, либо на длинной штанге при применении путеизмерительных тележек. Такая установка приемника при движении подвижного состава по кривому участку пути с возвышением наружного рельса приводит к дополнительным погрешностям, возникающим по причине отклонения спутникового приемника от оси вагона (рис. 9). В этой связи на вагоны устанавливают гироскопы.

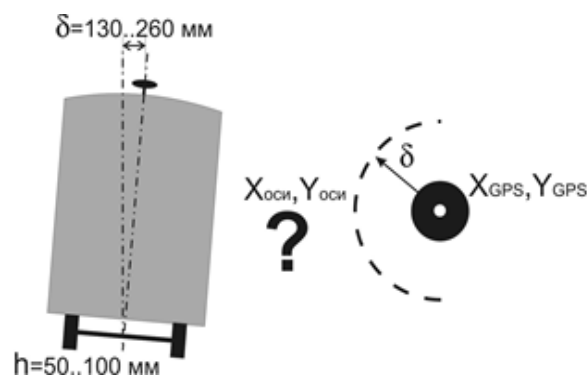


Рис. 9. Отклонение спутникового приемника от оси вагона

Fig. 9. Deviation of the satellite receiver from the axis of the wagon

Результаты проведенных экспериментов, показали, что использование гироскопического датчика с установкой вдоль пути постоянно действующих спутниковых приемников снижает точность съемки до 25 раз по сравнению с заявленными характеристиками производителей вагонов и тележек [10].

Предложения по улучшению методики выправки с применением комплексного решения постановки плана железнодорожного пути

Если проанализировать преимущества и недостатки вышеописанных способов, можно прийти к выводу, что необходимо комплексное решение для улучшения качества выправки пути. Именно комбинированная съемка позволит решить данную задачу. Она подразумевает синергию двух способов. Первый способ необходим для пространственного позиционирования пути, второй – для получения его максимальной плавности.

Так как координатное представление железнодорожного пути позволяет укладывать и содержать путь в проектное положение и дает примерно одинаковую точность, независящую от длины рассматриваемого участка, то ключевые точки пути должны быть закоординированы. Под ключевыми точками понимаются: начало и конец кривых, мосты, стрелочные переводы и др. Определение координат этих точек можно получать разными способами и с помощью различного оборудования [11–15]. Однако целесообразнее и перспективнее создавать геодезическую сеть с применением классических реперных систем [16] или референциальных станций. Подобные системы уже давно внедряются на железных дорогах Германии [17] и основываются на спутниковом позиционировании.

При усиленных капитальном и усиленном среднем ремонтах пути первого и второго классов и внеклассного (скоростного) пути ОАО «РЖД» устанавливается специальная реперная система. Предусмотрено построение сети на двух уровнях: опорная геодезическая сеть (ОГС) и рабочая сеть (РС). В ОГС входят главные опорные пункты и пункты сгущения (промежуточные пункты). Главные опорные пункты располагаются попарно на расстоянии между парами 10–12 км и между двумя смежными пунктами – 500–1 000 м. Пункты сгущения размещаются друг от друга на расстоянии 250–750 м. На электрифицированных участках они устанавливаются на опорах контактной сети. Для определения положения рельсовых нитей в сечениях пути используются оптические электронные системы, установленные на машине, или полевые – в виде электронных тахеометров (оптических теодолитов с возмож-

ностью определения расстояний и направлений между точками). Положения опорных пунктов определяются с помощью технологии GPS. Она предусматривает измерение координат на местности, включая высотную координату, с использованием группировок искусственных спутников Земли. В настоящее время используются группировки ГЛОНАСС (Россия) и NAVSTAR (США).

Референциальная сеть предоставляет собой постоянно действующие спутниковые станции, размещенные на пунктах ОГС, по определенной схеме (рис. 10).

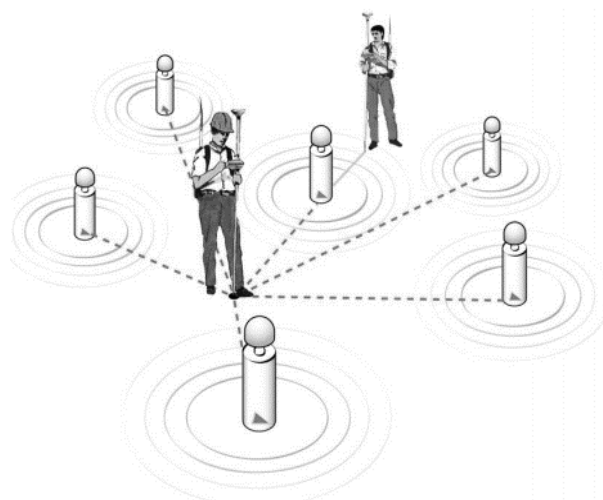


Рис. 10. Схема устройства референциальной сети
Fig. 10. The scheme of the reference network setup

Это особый аппаратно-программный комплекс, который предназначен для обеспечения выполнения измерений, а также для установления пространственного местоположения того или иного объекта. Сведения удастся получить при помощи спутниковых (GNSS), геодезических и навигационных приемников, специального программного обеспечения, компьютерного и иного оборудования [18].

После постановки характерных точек пути в проектное положение необходимо обеспечить его максимальную плавность. Для этого идеально подходят способы, основанные на хордно-стреловых измерениях. Таким образом, при совмещении координатного и хордно-стрелового способов съемки представляется возможным получить качественное положение железнодорожного пути в плане (рис. 11).

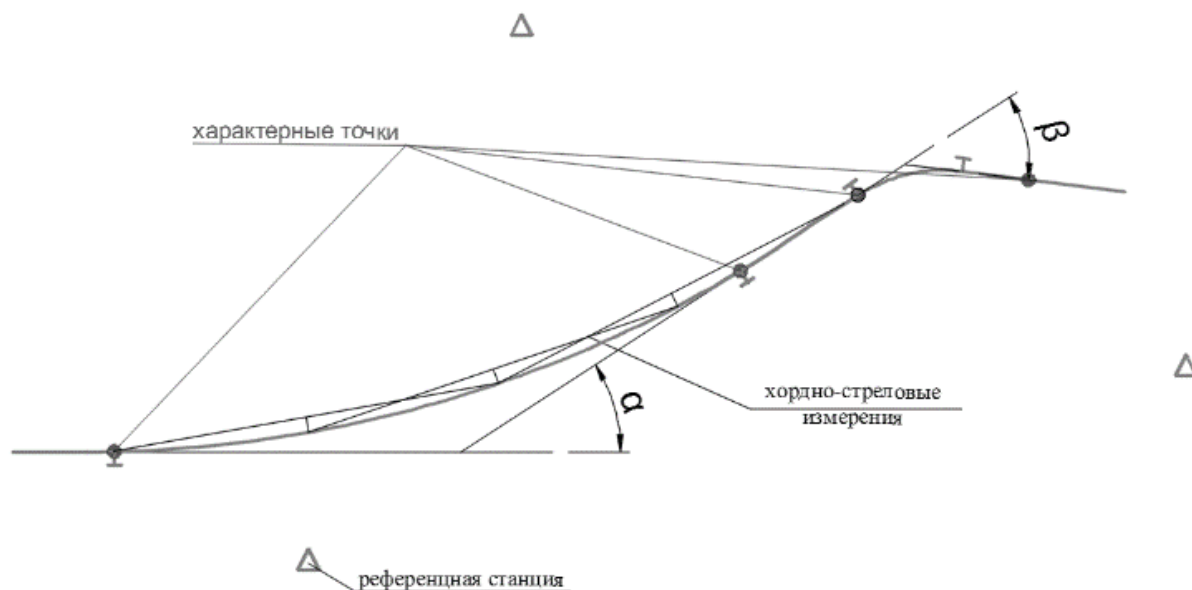


Рис. 11. Схема комплексной съемки плана пути
Fig. 11. The scheme of the integrated survey of the track plan

Заключение

Для уравнивания и получения проектного положения в виде координат или рихтовок можно использовать программный комплекс РВПлан [19], в основу которого заложен алгоритм по оптимизации съемки железнодорожного пути [20]. Он содержит уже реализованный комбинированный способ выправки плана железнодорожного пути. Однако важной задачей остается перенести это все на работу выправочных машин, что требует дополнительного изучения и разработки методики выполнения путевых работ по предлагаемой схеме. Из существующих машин данный способ выправки

реализуется только с помощью машины Duomatik с работой в двух режимах по фиксированным точкам и методу сглаживания. В таком случае необходим как минимум двойной проход машины, что повлечет увеличение времени окон.

Таким образом, в местах, где требуется увеличить скорость движения поездов, необходимо применение данного метода. Именно он позволит обеспечить максимальную плавность движения поездов и при этом сохранить проектное пространственное положение оси пути.

Список литературы

1. Щербаков В.В., Пикалов А.С. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС // Транспортное строительство. 2012. № 1. С. 23–26.
2. Корженевич И.П., Торопов Б.И. План железнодорожного пути как один из основных факторов для снижения расходов и повышения скоростей // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог : тр. всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск : ИрГУПС, 2009. Т. 2. С. 105–110.
3. Пикалов А.С. Повышение эффективности реконструкции железнодорожного пути за счет применения современных технологий : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2013. 180 с.
4. Лагереv С.Ю., Карпов И.Г. Оптимизация процедур съемки плана железнодорожного пути для его текущего содержания и ремонтов на основе современных технологий. Иркутск : ИрГУПС, 2017. 144 с.
5. Щербаков В.В., Жидов В.М. Применение ГНСС оборудования при определении длины рельсов // Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия : материалы IX Междунар. науч. конф. Новосибирск, 2013. Т. 3. С. 43–45.
6. Щербаков В.В., Жидов В.М., Макушинская М.В. Специальная реперная железнодорожная система // Геодезия и картография. 2010. № 12. С. 12–14.
7. Щербаков В.В., Пикалов А.С. Технология постановки пути в проектное положение с использованием ГЛОНАСС/GPS // Вестн. Сиб. гос. ун-та путей сообщ. 2010. № 22. С. 74–78.
8. 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.
9. Корженевич И. П. Точность съемки плана железнодорожной колеи и пути ее повышения // Висн. Днепропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2009. № 27. С. 116–120.

10. Специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в профиле и плане. Конструкция и условия установки рабочего репера на металлических опорах контактной сети. Технические требования. М. : МПС РФ, 1998. 5 с.
11. Корженевич И.П. Специальная реперная система для контроля положения пути в плане // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2009. № 25. С. 69–71.
12. Щербаков В.В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика : материалы ХLI Междунар. науч. конф. Алматы, 2017. С. 366–371.
13. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев и др. М. : Академия, 2008. 480 с.
14. Щербаков В.В., Загибалова С.С. Экономические показатели внедрения координатного способа определения геометрических параметров рельсовой колеи // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу : тезисы докл. регион. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2002. С. 147–148.
15. Щербаков И.В. Аппаратно-программный комплекс «Профиль-М» для определения пространственных и геометрических параметров рельсовой колеи // Вестник СГУГиТ. 2017. №3 (22). С. 45–60.
16. Щербаков И.В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи // Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия : материалы XII Междунар. науч. конф. Новосибирск, 2016. Т. 1. С. 17–23.
17. Marx L. DB Netz uses satellites to locate track in three dimensions. Railway Gazette International. 2008. Nov. P. 872–875.
18. Глушков В.В. Космическая геодезия: методы и перспективы развития. М. : Ин-т политич. и военн. анализа. 2002. 448 с.
19. Корженевич И.П. Выправка кривых и решение задач плана в программе РВПлан // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока : сб. науч. тр. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2009. С. 71–79.
20. Корженевич И.П., Ренгач Н.Г., Лошкарев Н.А. Оценка точности и оптимизация процедур съемки железнодорожных кривых // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2005. № 11. С. 50–60.

References

1. Shcherbakov V.V., Pikalov A.S. Vypravka puti pri rekonstruktsii i remonte zheleznodorozhnykh putei s ispol'zovaniem GIS-tehnologii i GNSS [Track alignment during reconstruction and repair of railway tracks using GIS technologies and GNSS]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction], 2012, no. 1, pp. 23–26.
2. Korzhenevich I.P., Toropov B.I. Plan zheleznodorozhnogo puti kak odin iz osnovnykh faktorov dlya snizheniya raskhodov i povysheniya skorostei [Plan of the railway track as one of the main factors to reduce costs and increase speeds]. *Trudy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Problemy i perspektivy izyskaniy, proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznykh dorog* [Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation «Problems and prospects of research, design, construction and operation of railways»]. Irkutsk, 2009. Vol. 2, pp. 105–110.
3. Pikalov A.S. Povyshenie effektivnosti rekonstruktsii zheleznodorozhnogo puti za schet primeneniya sovremennykh tekhnologii [Improving the efficiency of railway track reconstruction through the use of modern technologies]. Ph.D's thesis, Novosibirsk, 2013. 180 p.
4. Lagerev S.Yu., Karpov I.G. Optimizatsiya procedur s'emki plana zheleznodorozhnogo puti dlya ego tekushchego soderzhaniya i remontov na osnove sovremennykh tekhnologii [Optimization of procedures for surveying the railway track plan for its current maintenance and repairs based on modern technologies]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017. 144 p.
5. Shcherbakov V.V., Zhidov V.M. Primenenie GNSS oborudovaniya pri opredelenii dliny rel'sov [The use of GNSS equipment in determining the length of rails]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheideriya»: v 3 t* [Proceedings of IX International Scientific Conference «Geodesy, Geoinformatics, cartography, surveying»: in 3 vol.]. Novosibirsk, 2013. Vol. 3, pp. 43–45.
6. Shcherbakov V.V., Zhidov V.M., Makushinskaya M.V. Spetsial'naya repnaya zheleznodorozhnaya sistema [Special reference railway system]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography], 2010, no. 12, pp. 12–14.
7. Shcherbakov V.V., Pikalov A.S. Tekhnologiya postanovki puti v proektnoe polozhenie s ispol'zovaniem GLONASS/GPS [Technology of setting the track into the design position using GLONASS/GPS]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State Transport University], 2010, no. 22, pp. 74–78.
8. Shcherbakov V.V., Kovaleva O.V., Shcherbakov I.V. Tsifrovye modeli puti – osnova geodezicheskogo obespecheniya proektirovaniya, stroitel'stva (remonta) i ekspluatatsii zheleznykh dorog [Digital models of the track as a basis of geodetic support for the design, construction (repair) and operation of railways]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography], 2016, no. 3, pp. 12–16.
9. Korzhenevich I.P. Tochnost' s'emki plana zheleznodorozhnoi kolei i puti ee povyzheniya [Accuracy of the survey of the railway gauge plan and the ways to increase it]. *Visnik Dnepropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana* [The Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of the Railway transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, no. 27, pp. 116–120.
10. Spetsial'naya repnaya sistema kontrolya sostoyaniya zheleznodorozhnogo puti v profile i plane. Konstruktsiya i usloviya ustanovki rabocheho repera na metallicheskiykh oporakh kontaktnoi seti. Tekhnicheskie trebovaniya [Special reference system for monitoring the condition of the railway track in profile and plan. Design and installation conditions of the working reference point on metal supports of the contact network. Technical requirements]. Moscow: MPS RF Publ., 1998. 5 p.
11. Korzhenevich I.P. Special'naya repnaya sistema dlya kontrolya polozheniya puti v plane [A special reference system for monitoring the position of the track in the plan]. *Visnik Dnepropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana* [The Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of the Railway transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, no. 25, pp. 69–71.

12. Shcherbakov V.V. Geodezicheskie metody opredeleniya geometricheskikh parametrov rel'sovoi kolei [Geophysical methods for determining the geometric parameters of the track]. *Materialy XLI Mezhdunarodnoi nauchnoi konf. «Innovatsionnye tekhnologii na transporte: obrazovanie, nauka, praktika»* [Proceedings of the XLI International scientific Conference «Innovative technologies in transport, education, science, practice»]. Almaty, 2017, pp. 366–371.

13. Klyushin E.B., Kiselev M.I., Mikhelev D.Sh., Fel'dman V.D. Inzhenernaya geodeziya [Engineering geodesy]. Moscow: Akademiya Publ, 2008. 480 p.

14. Shcherbakov V.V., Zagibalova S.S. Ekonomicheskie pokazateli vnedreniya koordinatnogo sposoba opredeleniya geometricheskikh parametrov rel'sovoi kolei [Economic indicators of the introduction of a coordinate method for determining geometric parameters of a rail track]. *Tezisy докладov regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Vuzy Sibiri i Dal'nego Vostoka – Transsibu»* [Theses of reports of the regional scientific and practical conference «Universities of Siberia and the Far East for Transsib»]. Novosibirsk, 2002, pp. 147–148.

15. Shcherbakov I.V. Apparato-programmnyi kompleks «Profil'-M» dlya opredeleniya prostranstvennykh i geometricheskikh parametrov rel'sovoi kolei [Hardware and software complex «Profile-M» for determining the spatial and geometric parameters of the rail track]. *Vestnik SGUGiT* [Bulletin of SGUGiT], 2017, no. 3(22), pp. 45–60.

16. Shcherbakov I.V. Geodezicheskie metody opredeleniya geometricheskikh parametrov rel'sovoi kolei [Geodesic methods for determining geometric parameters of a rail track]. *Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheideriya» v 2 t.* [XII International Scientific Conference «Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Surveying» in 2 volumes]. Novosibirsk, 2016. Vol. 1, pp. 17–23.

17. Marx L. DB Netz uses satellites to locate track in three dimensions. *Railway Gazette International*. 2008. Nov, pp. 872–875.

18. Glushkov V.V. Kosmicheskaya geodeziya: metody i perspektivy razvitiya [Space Geodesy: methods and prospects of development]. Moscow: Institut politicheskogo i voennogo analiza Publ., 2002. 448 p.

19. Korzhenevich I.P. Vypravka krivyykh i reshenie zadach plana v programme RVPlan [Straightening curves and solving problems of the plan in the RVPlan program]. *Sbornik nauchnykh trudov «Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva zheleznykh dorog v usloviyakh Dal'nego Vostoka»* [Proceedings of scientific papers «Features of the design and construction of railways under the conditions of the Far East»]. Khabarovsk, 2009, pp. 71–79.

20. Korzhenevich I.P., Rengach N.G., Loshkarev N.A. Otsenka tochnosti i optimizatsiya procedur s'emki zheleznodorozhnykh krivyykh [Evaluation of accuracy and optimization of procedures for shooting railway curves]. *Visnik Dnepropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana* [The Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of the Railway transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, no. 11, pp. 50–60.

Информация об авторах

Лагереv Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: lagerev.sergey@gmail.com.

Карпов Иван Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: igkarpov57@mail.ru.

Насников Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: nasnikov@gmail.com.

Асалханова Татьяна Николаевна, канд. экон. наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: asalk-tatyana@yandex.ru.

Information about the authors

Sergei Yu. Lagerev, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of Department of Path and path facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: lagerev.sergey@gmail.com.

Ivan G. Karpov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of Department of Path and path facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: igkarpov57@mail.ru.

Dmitrii N. Nasnikov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of Department of the Path and path facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: nasnikov@gmail.com.

Tatyana N. Asalkhanova, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor of Department of Path and path facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: asalk-tatyana@yandex.ru.