



14. Aleksandrov A.A. Modelirovanie termicheskikh ostatochnykh napryazhenii pri proizvodstve malozhestkikh detalei: diss. ... kand. tekhn. nauk [Modeling of thermal residual stresses in the production of semi-rigid parts: Ph.D. (Engineering) thesis]. Irkutsk: 2016. 165 p.

15. Aleksandrov A.A. Prognozirovaniye ostatochnykh napryazhenii voznikayushchikh pri termooobrabotke alyuminievykh splavov [Prediction of residual stresses arising during the heat treatment of aluminum alloys]. Inzhenernyi vestnik Dona [The Engineering Bulletin of the Don], 2015. No. 4 (38), pp. 128.

16. Daneev A.V., Rusanov V.A., Kumenko A.E. Programma chislenного modelirovaniya upravlyаемого poleta letatel'nogo apparata s analogovym rulevym privodom i identifikatorom [Program for the numerical simulation of controlled flight of an aircraft with an analogue steering gear and identifier]. Certificate on the official registration of a computer program of the Russian Agency for Patents and Trademarks No. 2002611030 dated Jun 20, 2002.

17. Daneev A.V., Rusanov V.A. Geometricheskii podkhod k resheniyu nekotorykh obratnykh zadach sistemного analiza [A geometric approach to solving some inverse problems of system analysis]. Izvestiya vuzov. Matematika [News of universities. Mathematics], 2001. No. 10.

18. Aleksandrov A.A., Livshits A.V. et al. Ustroystvo dlya opredeleniya koeffitsientov teplootdachi [Device for determining heat transfer coefficients]. Pat. 155337 RF. MPK G 01 N 25/18. No.2014154288/28; applied 30.12.14 ; publ. 10.10.2015, Bull. No.28.

19. Aleksandrov A.A., Livshits A.V. Prognozirovaniye temperaturного polya dlya opredeleniya ostatochnykh napryazhenii voznikayushchikh pri termicheskoi obrabotke alyuminievykh splavov [Prediction of the temperature field to determine the residual stresses arising during the heat treatment of aluminum alloys]. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana [Science and Education: the scientific edition of N.E. Bauman MSTU], 2014. No.7, pp. 36-47.

### Информация об авторах

### Authors

*Данеев Александр Васильевич* – доцент кафедры информационных технологий, Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, e-mail: daneev@mail.ru

*Aleksandr Vasil'evich Daneev* – Associate Professor of the Subdepartment of Information Technologies, Buryat State University, Ulan-Ude, e-mail: daneev@mail.ru

### Для цитирования

### For citation

Данеев А. В. Построение опорных прямых к двум непересекающимся ограниченными множествам точек на плоскости в задаче формирования траектории движения транспортных средств // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 108–112. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 108-112

Daneev A. V. Postroyeniye opornykh pryamykh k dvum neperesekayushchimsya ogra-nichennym mnozhestvam tochek na ploskosti v zadache formirovaniya trayektorii dvizheniya transportnykh sredstv [Construction of supporting lines to two non-intersecting limited sets of points on a plane in the problem of formation of a vehicle trajectory]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 108–112. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 108-112

УДК 625.111

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).112–118

**В. В. Лёгкий, А. В. Арестов**

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация*

*Дата поступления: 20 мая 2019 г.*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ВЫСОКОТОЧНОЙ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** На Российских железных дорогах успешно введена в действие комплексная система пространственных данных, включающая в себя цифровые модели железнодорожных путей. При внедрении этой системы на железнодорожном транспорте одной из главных задач стало установление единого пространственно-временного пространства для геодезических построений с определением на всей территории России. Однако производство геодезических работ по созданию и дальнейшей эксплуатации комплексной системы пространственных данных не предусматривает включение геодинимических явлений. В случае пересечения территорий с различной геодинимической активностью железнодорожный путь будет претерпевать пространственные изменения с течением времени. Соответственно, цифровая модель такого железнодорожного пути в определенный момент перестанет удовлетворять точности построения. Предложена методика выявления геодинимических полигонов из условий обеспечения стабильности цифровых моделей путей. Разработана усовершенствованная технология геодезических работ с учетом геодинимических явлений при создании и эксплуатации цифровых моделей железнодорожных путей. Алгоритм апробирован на конкретном участке железнодорожного пути. В результате применения алгоритма среднее пространственное положение оси пути снижено на 4,1 %. Выявлен и исследован геодинимический полигон с перспективой создания цифровой модели железнодорожных путей. В результате геодинимических явлений при выполнении геодезических работ по существующей технологии в плане и в профиле средняя квадратическая ошибка между соседними геодезическими пунктами, созданными для обеспечения комплексной системы пространственных данных, превысит допустимую по истечении 4,5 лет.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь; цифровая модель пути; изыскания железнодорожного пути; трехмерное моделирование; безопасность; надежность; паспортизация железных дорог; геоинформация; профилактика рисков; контроль пути.



V. V. Legkii, A. V. Arestov

Russian University of Transport (RUT (MIIT), the Russian Federation

Received: May 20, 2019

## IMPROVEMENT OF GEODETIC WORKS IN THE DESIGN OF HIGH-PRECISION COORDINATE RAILWAY SYSTEM

**Abstract.** *The Russian Railways have successfully implemented a comprehensive spatial data system of the railway transport infrastructure (RTI CSDS), which includes digital models of railway tracks. One of the main tasks during the implementation of the RTI CSDS in railway transport was to establish a single spatiotemporal space for geodetic constructions with determination throughout the territory of the Russian Federation. However, the production of geodetic works on the creation and further operation of the RTI CSDS does not provide for the involvement of geodynamic phenomena. In case of crossing territories with different geodynamic activity, the railway track will undergo spatial changes over time. Accordingly, the digital track model of this railway track at some point will cease to satisfy the accuracy of the construction. The method of detection of geodynamic polygons out of the conditions of ensuring stability of digital track models has been developed. The improved technology of geodetic works taking into account geodynamic phenomena when creating and operating digital models of railway tracks has been developed. The algorithm was tested at a specific section of the railway track. As a result of applying the algorithm, the average spatial position of the track axis is reduced by 4.1 %. A geodynamic polygon with the prospect of creating a digital model of railway tracks was identified and studied. As a result of geodynamic phenomena when performing geodetic works according to the existing technology, in the plan and in the profile, the average quadratic error between neighboring geodetic points created to ensure the RTI CSDS will exceed the allowable one after 4.5 years.*

**Keywords:** *railway track, digital model of the track, the railway track surveying, 3D modeling, safety, reliability, certification of railways, geo-information, prevention of risks, track control.*

### Введение

В настоящее время успешно введена и эксплуатируется комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ), используемая на всех этапах жизненного цикла железнодорожного пути (изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт, текущее содержание и т. д.) [1].

Понятие изысканий определяется выполнением комплекса инженерных работ, в состав которых входят инженерно-геодезические изыскания. Основной целью такого вида работ является изучение информации о рельефе местности, координирование всех существующих естественных и искусственных объектов местности. Геодезические изыскания сопровождают все этапы жизненного цикла железнодорожного пути, поэтому должны отвечать требованиям к точности и надежности координатных построений.

Основным требованием к КСПД ИЖТ является актуальное целевое состояние системы, которое должно сохраняться на протяжении всего срока эксплуатации. Срок эксплуатации КСПД ИЖТ составляет для системы в целом и ее элементов – не менее 20 лет. Продолжительность жизненного цикла геодезических пунктов, входящих в состав КСПД ИЖТ, определяется сохранностью и стабильностью пространственного положения пунктов и должна составлять также не менее 20 лет [2].

Инженерно-геодезические изыскания являются как неотъемлемой частью создания состав-

ляющих КСПД ИЖТ высокоточной координатной системы (ВКС) и цифровых моделей железнодорожных путей (ЦМЖП), так и производства различных работ с использованием данных из КСПД ИЖТ. Технология производства геодезических изысканий предусматривает координирование объектов в статичном с течением времени координатном пространстве, в котором обеспечивается соответствие продолжительности жизненного цикла КСПД ИЖТ и ее отдельных элементов [3].

Жесткость местоположения железнодорожного пути, уникального объекта по предъявляемым к нему точностным характеристикам, во многом определяется и зависит от места его расположения относительно геодинамических активных структур земной коры. В случае пересечения территорий с различной геодинамической активностью, железнодорожный путь будет претерпевать пространственные изменения с течением времени. Соответственно, ЦМЖП такого пути в определенный момент перестанет удовлетворять точности построения, а ее жизненный цикл сократится [4–6].

### Анализ высокоточной координатной сети комплексной системы пространственных данных

Выполненный анализ взаимного расположения геодезических пунктов международной системы координат *ITRF2008*, являющейся основой в КСПД ИЖТ, показывает ежегодные сокращения векторов между соседними пунктами (рис. 1).

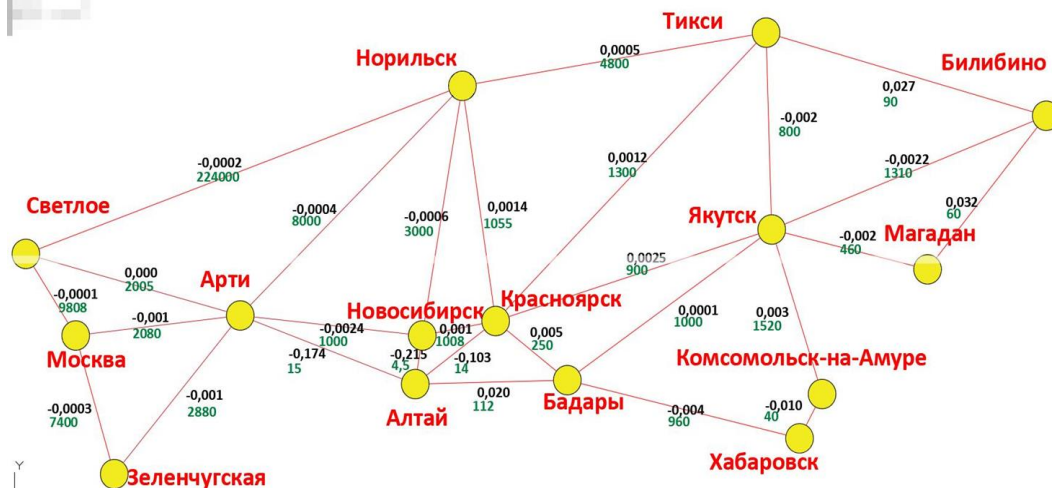


Рис. 1. Анализ геодезических пунктов системы *ITRF2008* (изменения векторов указаны черным, м / год) и анализ эпохи СКП между промежуточными пунктами опорной геодезической сети (эпоха указана зеленым, год)

Для того чтобы оценить влияние геодеформационных воздействий на точность координатных построений геодезических сетей в системе КСПД ИЖТ, необходимо проверить продолжительность жизненного цикла пунктов опорной геодезической сети (ОГС). Продолжительность жизненного цикла определяется стабильностью положения пунктов ОГС, т. е. обеспечением предельного значения возможной погрешности взаимного местоположения пунктов [7].

Допускаемые требования к средней квадратической погрешности смежных пунктов ОГС не должны превышать 8 мм в плане и 5 мм по высоте [8]. Для дальнейших расчетов принимаются главные пункты ОГС, закрепляемые на участке пути через 5 км.

Методика проверки на соответствие предъявляемым требованиям к точности ВКС выполняется через расчет предельно допустимой эпохи, когда в следствии смещения смежных главных пунктов ОГС их горизонтальное положение и высотное превышение превысит установленную максимально допустимую среднюю квадратическую погрешность в плане [9].

Предельно допустимая эпоха  $T_{\text{доп}}$  в плане рассчитывалась по формуле

$$T_{\text{доп}} = \frac{f_{\text{СКП}} \cdot S_{\text{км}}}{L \cdot V} \quad (1)$$

где  $f_{\text{СКП}}$  – допустимая средняя квадратическая погрешность;  $S_{\text{км}}$  – вектор между пунктами *IGS*;  $L$  – расстояние между главными пунктами ОГС (принято 5 км);  $V$  – скорость изменения вектора между пунктами *IGS*.

Указанные на линиях полигонов эпохи превышения предельно допустимой СКП (рис. 1) в основном имеют значения более 50 лет, что указывает на вполне стабильные регионы, где на созданные

геодезические сети в целом не влияют геодеформационные движения. Наименьшее значение на полигоне Алтай – Новосибирск составляет 4,5 года.

В результате исследования выявлено, что по существующей технологии проведения геодезических изысканий продолжительность жизненного цикла пунктов ОГС на ветках Западно-Сибирской железной дороги обеспечивает стабильность положений пунктов только 4,5 года после создания. Это не соответствует нормативу продолжительности жизненного цикла. Вследствие постепенных геодинамических движений геодезические построения ЦМЖП испытывают значительные пространственные искажения, делая невозможным обработку и сравнение результатов геодезических измерений на железнодорожных путях по технологии КСПД ИЖТ. Возникает необходимость совершенствования технологии геодезических изысканий с включением проявлений геодинамических движений [10].

Разработана технология, позволяющая увеличить продолжительность жизненного цикла координатных построений в системе КСПД ИЖТ. Основным отличием технологии является включение скоростей изменения положения пунктов *ITRF* [11]. Усовершенствованную технологию производства геодезических работ по созданию ВКС представлена следующим алгоритмом:

1. В качестве исходной системы координат принять геоцентрическую международную систему координат *ITRF*, реализованную открытыми координатами пунктов и скоростями их изменения международной службы Глобальной навигационной спутниковой системы.

2. Произвести закрепление пунктов базовых станций опорной геодезической сети на участке производства работ.



3. На базовых станциях выполнить спутниковые измерения.

4. Получить исходные данные. Координаты и скорости изменения исходных пунктов брать из каталога пунктов международной спутниковой сети IGS. Координаты должны быть определены в системе координат *ITRF2008* на эпоху непосредственного проведения полевых измерений.

5. Определить координаты пунктов базовых станций. Выполнить интегрирование сети базовых станций в каркас пунктов международной спутниковой сети. Произвести уравнивание векторной пространственной сети в системе пространственных прямоугольных координат. Результат – каталог координат и скоростей изменения базовых станций в системе *ITRF2008* на эпоху непосредственного проведения полевых измерений в виде прямоугольных пространственных координат (*XYZ*).

6. Выполнить привязку главных и промежуточных пунктов ОГС к сети базовых станций. Геодезическую привязку главных пунктов ОГС осуществить минимум к 2 ближайшим базовым станциям.

7. Определить координаты и скорости изменения главных и промежуточных пунктов ОГС. Принять координаты базовых станций в качестве исходных.

8. Создать пространственную местную железнодорожную систему координат (ПМЖСК) в виде геоцентрических координат (*XYZ*) путем смещения начала геоцентрической системы координат *ITRF2008* на эпоху непосредственного проведения полевых измерений на отдельные для каждой железной дороги величины случайной ошибки ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) (ключи).

9. Осуществить преобразование координат и скоростей изменения пунктов ОГС из ПМЖСК в условную референционную систему координат (УРСК) на эллипсоид Красовского.

10. Создать местную плоскую железнодорожную систему координат (МПЖСК). Реализация МЖСК обеспечивается каталогом плоских прямоугольных координат и скоростей изменения пунктов базовых станций и ОГС. Геодезические координаты и скорости изменения пунктов ОГС в системе координат УРСК преобразовать в плоскую проекцию Гаусса – Крюгера на эллипсоид Красовского.

11. Осуществить определение геодезических высот для пунктов базовых станций и ОГС. Геодезические высоты и скорости изменения определить в ходе определения местоположения пунктов ОГС спутниковыми методами.

Алгоритм технологии производства геодезических работ также может быть представлен блок-схемой (рис. 2).

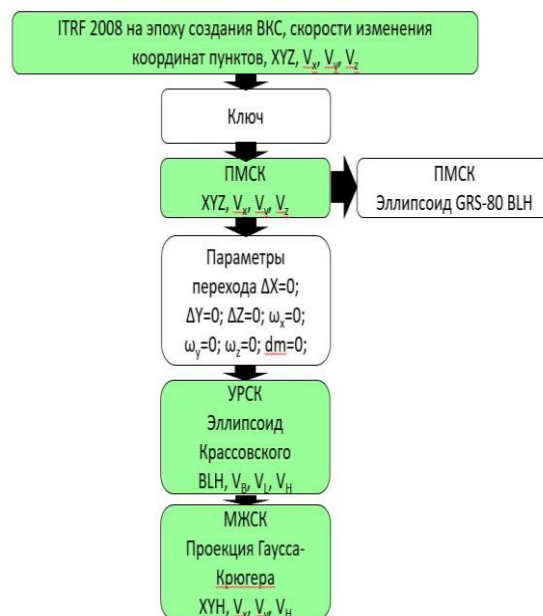


Рис. 2. Блок-схема реализации алгоритма технологии производства геодезических работ

### Применение усовершенствованного алгоритма геодезических работ при проектировании цифровых моделей железнодорожных путей

Для отработки алгоритма технологии исследован участок пути на перегоне Мстинский мост – Торбино Октябрьской железной дороги. На данном участке выполнялось создание ЦМЖП в сентябре 2016 года, а также повторные измерения в октябре 2018 года. В результате проведения двух этапов инженерно-геодезических работ наблюдается смещение оси пути на 9,89 мм в плане, а также на 1,19 мм по высоте.

На первом этапе получены координаты и скорости их изменения 2-х станций *IGS* – Светлое и Зеленоград, находящихся в открытом доступе в сети «Интернет» на портале международного аналитического центра в Институте географии Франции (табл.) [12–13].

На втором этапе определены скорости изменения координат главных пунктов ОГС, находящихся на выбранном участке пути.

Определение скоростей координат пунктов главных ОГС выполнялось по формулам:

$$V_x = \frac{d \times \Delta V_x}{\sum d} + V_{x1}; \quad (2)$$



$$V_y = \frac{d \times \Delta V_y}{\sum d} + V_{y1}; \quad (3)$$

$$V_z = \frac{d \times \Delta V_z}{\sum d} + V_{z1}, \quad (4)$$

где  $V_x$  – скорость изменения координаты  $X$ ;  $d$  – вектор до предыдущего пункта  $IGS$ ;  $\Delta V_x$  – разница между скоростями пунктов  $IGS$  по оси  $X$ ;  $\sum d$  – сумма расстояний до пунктов  $IGS$ ;  $V_{x1}$  – скорость изменения координаты  $X$  начального пункта  $IGS$  (для формул (3) и (4) аналогично по осям  $Y$  и  $Z$ ).

Также выполнен перерасчет скоростей изменения координат из системы  $ITRF2008$  в МПЖСК путем определения координаты на следующую эпоху, последующим ее переводом в систему МПЖСК, и разностями с координатами на предыдущую эпоху [14].

На третьем этапе выполнен расчет скоростей изменений координат пунктов промежуточных координат ОГС по формулам (2)–(4).

На четвертом этапе выполнено определение скоростей изменений точек на оси II главного железнодорожного пути на исследуемом участке. Тем самым создана подвижная геодезическая цифровая модель железнодорожного пути, изменение координат которой возможно вычислить с течением времени.

На последнем этапе выполнено перевычисление координат точек оси пути данных 2016 г. к 2018 г. путем перерасчета координат. Перерасчет заключался во включении изменения координат за период 1,17 года.

Далее выполнено сравнение результатов расчетов путем вычисления горизонтального смещения оси пути по данным 2-х измерений, а также сопоставлено с результатом перерасчета. Однако в расчете смещения оси пути по пикетным точкам неизбежно проявляется ошибка при несовпадении пикетажа двух осей [15]. Для исключения данной ошибки смещение рассчитывалось как кратчайшее горизонтальное расстояние между точкой на оси пути по результатам измерений 2018 г. и осью пути по измерениям 2016 г. по формуле

$$S = \frac{|x_{18}^0 * (y_{16}^0 - y_{16}^1) + y_{18}^0 * (x_{16}^1 - x_{16}^0) + (x_{16}^0 * y_{16}^1) - (x_{16}^1 * y_{16}^0)|}{\sqrt{(y_{16}^0 - y_{16}^1)^2 + (x_{16}^1 - x_{16}^0)^2}}, \quad (5)$$

где  $X_{18}$  и  $Y_{18}$  – координаты точки на оси пути по результатам измерений 2018 г.;  $X_{16}^0$ ,  $Y_{16}^0$ ,  $X_{16}^1$  и  $Y_{16}^1$  – координаты точек начала и конца отрезка оси пути по результатам измерений 2016 г.

Далее выполнялось сравнение превышений между точками оси пути по формуле

$$\Delta H = H_{18} - H_{16}, \quad (6)$$

где  $H_{18}$  и  $H_{16}$  – высота точек оси пути по результатам измерений 2018 и 2016 гг. соответственно.

Далее представлены результаты сравнения стационарной и геодезической ЦМЖП (табл.).

Т а б л и ц а  
Сравнение разностей данных 2016 и 2018 гг.  
стационарной и геодезической цифровой модели  
железнодорожного пути

Пикетаж	Стационарная модель		Геодезическая модель	
	$\Delta H$ , мм	$S$ , мм	$\Delta H$ , мм	$S$ , мм
ПК 198+600,697	-2,70	23,46	-2,70	23,65
ПК 198+605,204	-2,00	20,70	-2,00	19,84
ПК 198+610,193	0,00	18,16	0,00	18,01
ПК 198+615,326	-2,50	18,87	-2,50	17,16
ПК 198+620,515	-1,90	15,25	-1,90	14,34
ПК 198+625,256	1,50	15,54	1,50	15,73
ПК 198+630,466	1,70	13,36	1,70	11,58
ПК 198+635,210	2,40	11,97	2,40	11,82
ПК 198+640,458	0,80	7,88	0,80	7,73
ПК 198+645,801	0,10	5,84	0,10	6,05
ПК 198+650,304	0,20	5,20	0,20	5,85
ПК 198+657,266	-0,20	5,74	-0,20	4,36
ПК 198+660,191	0,90	6,05	0,90	4,01
ПК 198+665,210	-4,50	3,74	-4,50	2,07
ПК 198+670,294	-6,20	0,10	-6,20	1,29
ПК 198+675,448	-5,40	2,85	-5,40	1,91
ПК 198+680,822	-2,10	3,72	-2,10	3,56
ПК 198+685,313	-0,60	4,93	-0,60	5,98
ПК 198+690,274	-2,20	4,43	-2,20	5,48
Средние значения:	-1,19	9,89	-1,19	9,50

В результате сравнения координат оси пути стационарной и геодезической ЦМЖП, выполненной по усовершенствованной технологии геодезических изысканий, горизонтальное смещение уменьшено на 0,39 мм (с 9,89 мм до 9,50 мм), что составляет 4,1 %.

Исходные пункты  $IGS$  на экспериментальном участке имеют столь малые скорости изменения координат (см. табл. 1), что погрешности между одновременными измерениями не оказывают на результат существенного влияния. В итоге следует признать железнодорожную линию Москва – Санкт-Петербург стабильной с течением времени на всем протяжении, и на ее участках учет геодеформационных воздействий не требуется. Геодезические воздействия, выявленные по разработанной методологии, следует учитывать на тех территориях Российской Федерации, которые оказывают влияние на безопасность железнодорожных путей [16–18].

#### Заключение

Выполнен анализ положения пунктов международной системы координат  $ITRF$ , составляю-



щей основу КСПД ИЖТ. Выявлены территории со значительными геодинамическими движениями, в результате которых сокращается продолжительность жизненного цикла системы КСПД ИЖТ.

Разработана усовершенствованная технология проведения геодезических изысканий создания ЦМЖП, позволяющая значительно повысить точность и качество формирования трехмерных моделей железнодорожных путей и системы КСПД ИЖТ в целом.

Разработан алгоритм технологии проведения геодезических изысканий. Алгоритм протестирован на экспериментальном участке железнодорожного пути на перегоне Мстинский мост – Торбино Октябрьской железной дороги. В результате плановое смещение оси пути уменьшено на 4,1 %.

Применение алгоритма позволяет оценить влияние геодинамических процессов на линейном объекте.

Важнейшим выводом является понятие того, что для соблюдения необходимой точности при создании и эксплуатации ЦМЖП в нашей стране, необходим комплекс мер для долговременного поддержания координатной основы в актуальном состоянии, а для этого нужен адекватный учет характеристик геодинамического движения пунктов геодезических сетей [3].

Только с такими технологиями в будущем железнодорожные пути в Российской Федерации смогут превратиться в цифровую модель протяженностью в тысячи и в десятки тысяч километров с необходимой точностью построения [2].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта ОАО «РЖД»: утв. 03.12.2010 № 2511р. М., 2010. 33 с.
2. Создание и эксплуатация высокоточной координатной системы ОАО «РЖД» от 11.03.2008 №ЦПТ-46/15. М., 2008. 49 с.
3. СТО ОАО «РЖД» «Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта. Требования к цифровой модели пути»: утв. ОАО «РЖД» от 11.11.2015 №1549/р. М., 2015. 63 с.
4. Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геологическое изучение и использование недр. 1996. Вып. 4. С. 43–53.
5. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: Агентство Экономических Новостей, 1999. 220 с.
6. Кузьмин Ю.О. Геодинамический риск объектов нефтегазового комплекса // Российская Газовая Энциклопедия. М.: Большая Рос. Энцикл., 2004. С. 121–124.
7. Лёгкий В.В. Критерии пространственных ошибок при создании и эксплуатации цифровых моделей железнодорожных путей // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участ. М.: Перо, 2016. 543 с.
8. Технологическая инструкция по проведению инженерно-геодезических работ по созданию цифровых моделей пути и путевого развития железнодорожных станций: утв. ОАО «РЖД» № 372р от 13.02.15. М., 2015. 51 с.
9. Лёгкий В.В. Критерии учёта подвижек земной коры при создании и эксплуатации цифровых моделей железнодорожных путей // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 12 (151). С. 46–51.
10. Лёгкий В.В. Обеспечение стабильности цифровых моделей железнодорожных путей // Качество. Инновации. Образование. 2018. № 3(154). С. 63–65.
11. Лёгкий В.В. Создание геодинамической цифровой модели пути // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 10. С. 35–37.
12. О внедрении в ОАО «РЖД» инновационных методов инженерных изысканий и мониторинга инфраструктуры железнодорожного транспорта: утв. ОАО «РЖД» от 15.07.2009 №ЦПТ-1493/р. М., 2009. 31 с.
13. О некоторых мерах по организации работ, связанных с созданием высокоточной координатной системы ОАО «РЖД»: утв. ОАО «РЖД» от 20.04.2012 №802/р. М., 2012. 22 с.
14. ГОСТ 32453-2013. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введ. 2018–07–01. М.: Стандартинформ. 2014. 19 с.
15. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (Актуализированная редакция СНиП 11-02-96). Введ. 2017–07–01.
16. СП 233.1326000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высокоточная координатная система. Введ. 2015–07–01. М.: Стандартинформ, 2015. 79 с.
17. Куприянов А.О. Цифровое моделирование железнодорожного пути // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 3. С. 104–114.
18. Гулин В.Н. Обеспечение единого координатного пространства: привязка к государственной системе высот // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2. С. 48–53.

### REFERENCES

1. Sozdaniy kompleksnoi sistemy prostranstvennykh dannyykh infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta ot 03.12.2010 No. 2511r ОАО «RZhD» [On the creation of an integrated system of spatial data for the infrastructure of railway transport dated 03.12.2010 No. 2511r of OAO Russian Railways]. Moscow. 2010. 33 p.
2. Sozdanie i ekspluatatsiya vysokotochnoi koordinatnoi sistemy ОАО «RZhD» ot 11.03.2008 No. TsPT-46/15 ОАО «RZhD» [Creation and operation of a high-precision coordinate system of OAO Russian Railways dated 11.03.2008 No. TsPT-46/15 of OAO Russian Railways]. Moscow. 2008. 49 p.



3. STO OAO «RZhD» «Kompleksnaya sistema prostranstvennykh dannykh infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta. Trebovaniya k tsifrovoy modeli puti» ot 11.11.2015 No.1549/r OAO «RZhD» [STO of JSC “Russian Railways” “Integrated spatial data system for railway infrastructure. Requirements for the digital track model” dated 11.11.2015 No. 1549/r of OAO Russian Railways]. Moscow. 2015. 63 p.
4. Kuz'min Yu.O. Sovremennye superintensivnye deformatsii zemnoi poverkhnosti v zonakh platformennykh razlomov [Modern superintense deformations of the ground surface in the zones of platform faults]. Geologicheskoe izuchenie i ispol'zovanie nedr [Geological study and use of mineral resources]. Moscow, 1996. Iss. 4, pp. 43–53.
5. Kuz'min Yu.O. Sovremennaya geodinamika i otsenka geodinamicheskogo riska pri nedropol'zovanii [Modern geodynamics and assessment of geodynamic risk in subsoil use]. Moscow: Economic News Agency Publ., 1999. 220 p.
6. Kuz'min Yu.O. Geodinamicheskii risk ob'ektov neftegazovogo kompleksa [Geodynamic risk of oil and gas facilities]. Rossiiskaya Gazovaya Entsiklopediya [Russian Gas Encyclopedia]. Moscow: Izdatel'stvo Bol'shaya Rossiiskaya Entsiklopediya Publ., 2004, pp. 121–124.
7. Legkii V.V. Kriterii prostranstvennykh oshibok pri sozdani i ekspluatatsii tsifrovyykh modelei zheleznodorozhnykh putei [Criteria for spatial errors in the creation and operation of digital models of railway tracks]. Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoi nauki: Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Current status, problems and prospects for the development of industrial science: Materials of the All-Russian Scientific Conference with international participation]. Moscow, Emperor Nikolas II Moscow State Transport University. Moscow: Pero Publ., 2016. 543 p.
8. Tekhnologicheskaya instruktziya po provedeniyu inzhenerno-geodezicheskikh rabot po sozdaniyu tsifrovyykh modelei puti i putevogo razvitiya zheleznodorozhnykh stantsii ot 13.02.15 No. 372r OAO «RZhD» [Technological instructions for engineering and geodetic work on the creation of digital models of the track and track development of railway stations dated 13.02.15 No. 372r of OAO Russian Railways]. Moscow. 2015. 51 p.
9. Legkii V.V. Kriterii ucheta podvizhek zemnoi kory pri sozdani i ekspluatatsii tsifrovyykh modelei zheleznodorozhnykh putei [Criteria for accounting for the movements of the earth's crust during the creation and operation of digital models of railway tracks]. Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie [Quality. Innovation. Education]. Moscow: FGUP Izdatel'stvo «Izvestiya» Publ., 2017. No. 12(151), pp. 46–51.
10. Legkii V.V. Obespechenie stabil'nosti tsifrovyykh modelei zheleznodorozhnykh putei [Ensuring the stability of digital models of railway tracks]. Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie [Quality. Innovation. Education]. Moscow: FGUP Izdatel'stvo «Izvestiya» Publ., 2018. No. 3(154), pp. 63–65.
11. Legkii V.V. Sozdanie geodinamicheskoi tsifrovoy modeli puti [Creation of a geodynamic digital model of the track]. Put' i putevoe khozyaistvo [Track and track facilities], Moscow: FGUP Izvestiya Publ., 2019. No. 10, pp. 35–37.
12. Vnedrenii v OAO «RZhD» innovatsionnykh metodov inzhenernykh izyskani i monitoringa infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta ot 15.07.2009 No. TsPT-1493/r OAO «RZhD» [On the introduction of innovative methods of engineering surveys and monitoring of railway transport infrastructure at OAO Russian Railways dated July 15, 2009 No. TsPT-1493/r of OAO Russian Railways]. Moscow. 2009, 31 p.
13. Nekotorykh merakh po organizatsii rabot, svyazannykh s sozdaniem vysokotochnoi koordinatnoi sistemy OAO «RZhD» ot 20.04.2012 No.802/r OAO «RZhD» [On some measures for the organization of work related to the creation of a high-precision coordinate system of OAO Russian Railways dated April 20, 2012 No. 802/r of OAO Russian Railways]. Moscow. 2012. 22 p.
14. GOST 32453-2013. Global'naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema. Sistemy koordinat. Metody preobrazovani koordinat opredelyaemykh toчек [GOST 32453-2013. Global Navigation Satellite System. Coordinate systems. Methods of transforming coordinates of defined points]. Moscow: Standartinform Publ. 2014, 19 p.
15. SP 47.13330.2012 Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya (Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 11-02-96) [P 47.13330.2012 Engineering survey for construction. Basic Provisions (Updated version of SNIp 11-02-96)].
16. SP 233.1326000.2015. Infrastruktura zheleznodorozhnogo transporta. Vysokotochnaya koordinatnaya Sistema [SP 233.1326000.2015. Railway infrastructure High precision coordinate system]. Moscow: Standartinform Publ., 2015. 79 p.
17. Kupriyanov A.O. Tsifrovoe modelirovanie zheleznodorozhnogo puti [Digital simulation of the railway track]. Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii [Educational resources and technologies], 2015, No. 3, pp. 104–114.
18. Gulin V.N. Obespechenie edinogo koordinatnogo prostranstva: privyazka k gosudarstvennoi sisteme vysot [Providing a single coordinate space: reference to the state system of heights]. SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog [CAD and GIS systems on motor roads], 2015, No. 2, pp. 48–53.

### Информация об авторах

### Authors

*Лёгкий Василий Витальевич* – старший преподаватель кафедры геодезии, геоинформатики и навигации, Российский университет транспорта (МИИТ), e-mail: flyn90@yandex.ru.

*Арестов Андрей Владимирович* – старший преподаватель кафедры геодезии, геоинформатики и навигации, Российский университет транспорта (МИИТ), e-mail: a.v.arestov@ya.ru.

*Vasily Vitalievich Legkiy* – senior lecturer, Department of Geodesy, Geoinformatics and navigation, Russian University of transport (MIIT), e-mail: flyn90@yandex.ru.

*Andrey Viadimirovich Arestov* – senior lecturer, Department of Geodesy, Geoinformatics and navigation, Russian University of transport (MIIT), e-mail: a.v.arestov@ya.ru

### Для цитирования

### For citation

Лёгкий В. В. Совершенствование геодезических работ при проектировании железнодорожной высокоточной координатной системы / В. В. Лёгкий, А. В. Арестов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 112–118. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 112–118

Legkiy V. V., Arestov A. V. Sovershenstvovaniye geodezicheskikh rabot pri proyektirovani zheleznodorozhnoy vysokotochnoy koordinatnoy sistemy [Improvement of geodetic works in the design of railway high-precision coordinate system]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 112–118. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 112–118