

Мониторинг и предупреждение ЧС на участках с повышенной осевой нагрузкой



Максим ЖЕЛЕЗНОВ
Maxim M. ZHELEZNOV

Виктор ПЕВЗНЕР
Victor O. PEVZNER



Валентин ПОНОМАРЁВ
Valentine M. PONOMAREV

Железнов Максим Максимович – кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника управления Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Певзнер Виктор Ошерович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия.

Пономарёв Валентин Михайлович – доктор технических наук, профессор РУТ (МИИТ), Москва, Россия.

Monitoring and Emergency Prevention in Areas with Increased Axial Load

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 201)

В статье описывается сущность проблемы возникновения чрезвычайных ситуаций на участках с повышенной интенсивностью перевозочного процесса. Показаны методы и технические решения в области мониторинга железнодорожного пути на основе аэрокосмических технологий. Приводятся результаты опытной эксплуатации вагонов с осевой нагрузкой 27 тонн/ось, которая сопровождалась отслеживанием динамики геометрических параметров пути и прилегающих территорий с применением телесъемки с помощью беспилотника (квадрокоптера-дрона).

Ключевые слова: железная дорога, повышенная осевая нагрузка, аэротелесъемка, мониторинг, чрезвычайные ситуации, воздействие на путь.

Более 150 лет железные дороги России функционировали как единый централизованный механизм, ориентированный на экономическую эффективность всего комплекса в интересах государства.

При формировании ОАО «РЖД» и его последующем реформировании произошли существенные изменения в экономической модели функционирования. Сейчас это инфраструктурная компания, заинтересованная прежде всего в получении максимальной выручки за использование своей инфраструктуры перевозчиками – владельцами и арендаторами вагонов. Также ОАО «РЖД» заинтересовано и максимально снизить затраты на содержание инфраструктуры при повышении уровня безопасности и эффективности её использования [1].

Вместе с тем отрасль стоит на пороге очередного повышения вагонной нагрузки до 27 тонн/ось. Созданы специальные конструкции вагонов, ориентированные на эксплуатацию с такой нагрузкой. Опре-



Рис. 1. Перспективные полигоны тяжеловесного движения.

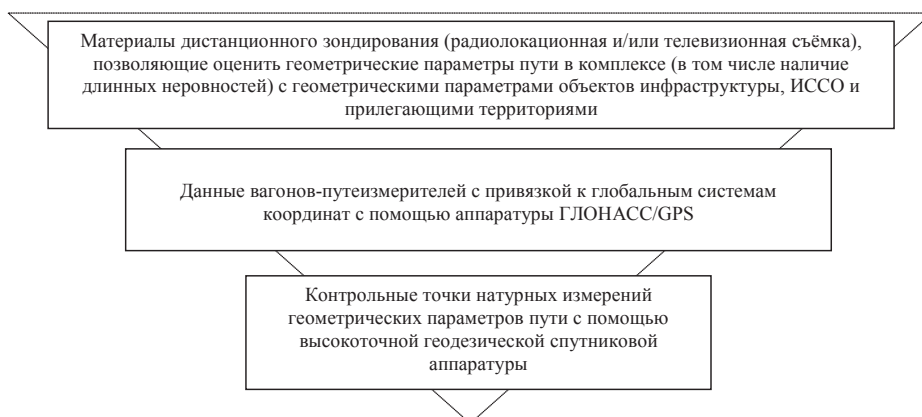


Рис. 2. Технологическая схема мониторинга.

делены опытные полигоны, на которых будет проводиться подопытная эксплуатация составов из вагонов с повышенной осевой нагрузкой (рис. 1).

В решении поставленной задачи важное место занимают технологии мониторинга геометрических параметров железнодорожного пути как ключевой инфраструктурной составляющей, на которую приходится основное воздействие. И в этом контексте предлагается дополнить существующую систему подобного мониторинга методами глобального космического контроля (аппаратурой ГЛОНАСС/GPS и системами обработки данных дистанционного зондирования), которые позволяют [2, 3]:

- охватывать измерениями геометрических параметров пути весь опытный полигон в единой системе координат;

- оперативно отслеживать состояние не только на выбранных контрольных точках, но и на всём участке;

- отслеживать объёмные деформации, имеющие протяжённый характер и фактически меняющие геометрию пути всего полигона.

С учётом того, что опытные полигоны обращения составов из вагонов с повышенными осевыми нагрузками представляют собой замкнутые маршруты, следует использовать максимально автоматизированные способы измерений [4–9], которые формируют три технологических уровня:

1. Контрольные участки измерений геометрических параметров высокоточной геодезической аппаратурой.

2. Данные вагонов-путеизмерителей с привязкой к глобальным системам коор-





Рис. 3. Изображение из космоса Ковдорского ГОК.



Рис. 4. Квадрокоптер с телевизионной камерой.

динат с помощью аппаратуры ГЛОНАСС/GPS.

3. Материалы аэрокосмического дистанционного зондирования (радиолокационная и/или телевизионная съёмка), позволяющие оценить геометрические параметры пути в комплексе (в том числе наличие длинных неровностей) с геометрическими параметрами объектов инфраструктуры, ИССО и прилегающими территориями (объёмные деформации).

Предложенная технологическая схема мониторинга (рис. 2) позволит охватывать измерениями весь опытный полигон тяжеловесного движения. В качестве примера на рис. 3 приведён фрагмент косми-

ческого снимка Ковдорского горно-обогатительного комбината с подъездными путями.

В 2014–2016 годы на участке Ковдор–Мурманск Октябрьской железной дороги проводилась опытная эксплуатация вагонов с осевой нагрузкой 27 тонн/ось. Опыта такого рода раньше на сети железных дорог России не было, воздействие подобных нагрузок на верхнее строение пути и земляное полотно не изучалось. Предстояло определить, как вагоны с повышенной осевой нагрузкой будут влиять на накопление деформаций и напряжённо-деформированное состояние пути, апробировать разработанные технологии глобального

Параметры съёмки для БПЛ китайской компании DJI Phantom 3

Высота съёмки (м)	Протяжённость измеряемых длинных неровностей (м)	Пространственное разрешение (мм)	Точность измерения геометрических параметров пути в плане (мм)
5	10,7	2,6	0,3
10	21,4	5,2	0,5
25	53,6	13,1	1,3
50	107,2	26,2	2,6
100	214,4	52,4	5,2
250	536,1	130,9	13,1
500	1072,3	261,8	26,2
1000	2144,7	523,6	52,4

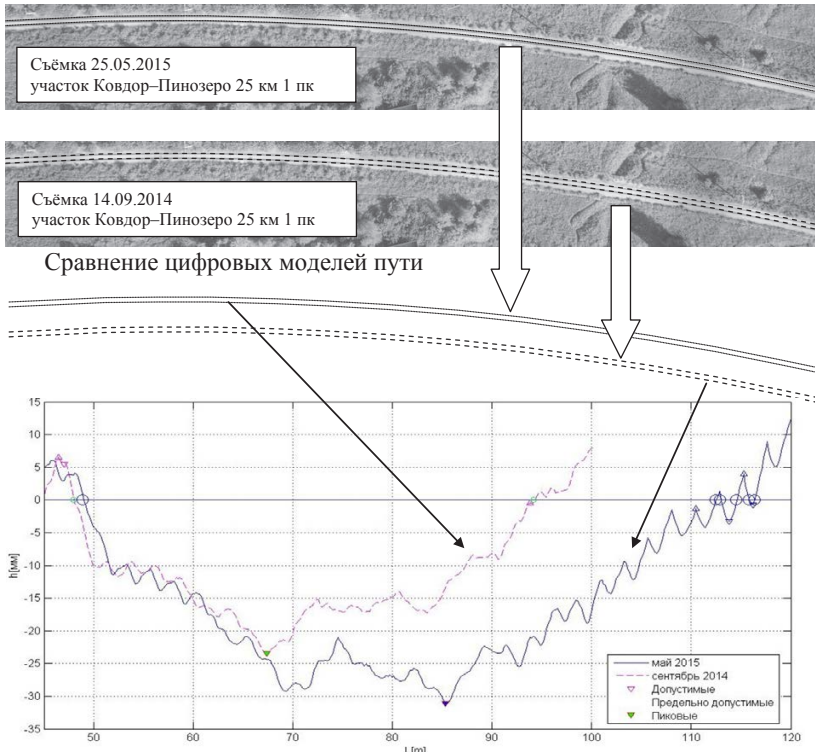


Рис. 5. Рост натурной неровности за период с сентября 2014 года по май 2015 года на 25-м км участка Ковдор–Пинозеро.

мониторинга и математического моделирования.

В качестве оперативного и низкозатратного способа мониторинга геометрических параметров железнодорожного пути на участках тяжеловесного движения применили съёмку с беспилотного летательного аппарата (БПЛ) – квадрокоптера-дрона (рис. 4).

Телевизионные снимки с БПЛ позволяют с высокой точностью и оперативностью выявлять изменение геометрических параметров пути одновременно на участке до нескольких сотен метров. В том числе определять динамику длинных не-

ровностей по материалам периодической съёмки.

Технология определения длинных неровностей в плане заключается в следующем:

1. Оператор направляет БПЛ в центр исследуемого участка железнодорожного пути и устанавливает съёмку в зависимости от требуемой точности измерений и протяжённости измеряемых длинных неровностей (таблица 1).

2. После проведения съёмки БПЛ передаёт снимок на пульт оператора, который затем обрабатывается для распознавания железнодорожного пути и определения его геометрических параметров в плане.



Съёмка 25.05.2015
участок Ковдор–Пинозеро 25 км 1 пк



Съёмка 14.09.2014
участок Ковдор–Пинозеро 25 км 1 пк



Рис. 6. Относительные просадки пути на 25-м км участка Ковдор–Пинозеро.

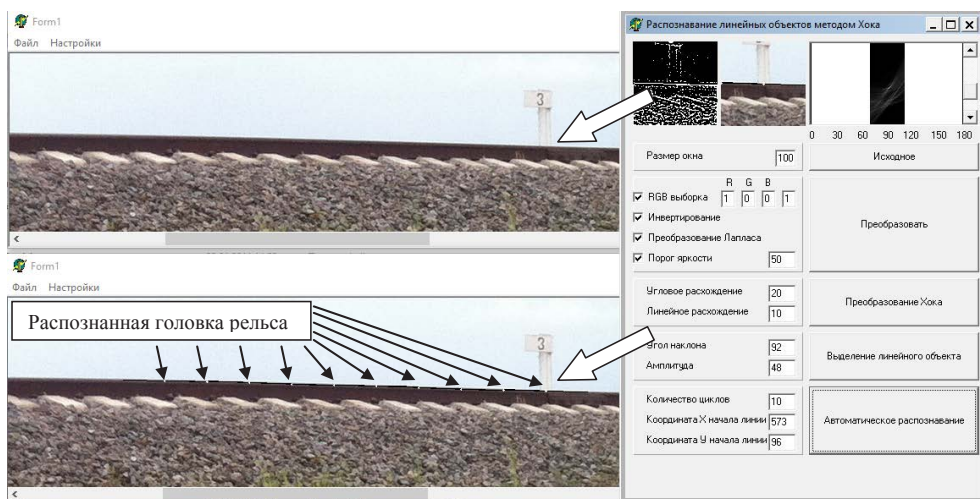


Рис. 7. Распознавание головки рельса по методу Хока.

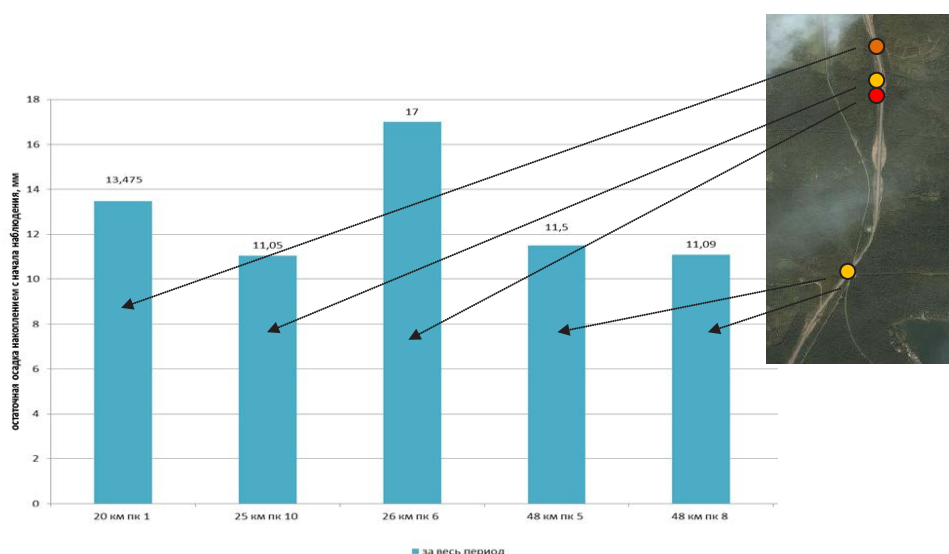


Рис. 8. Уточнение контрольных точек нивелировкой для дистанционного зондирования.

Исходя из параметров, приведённых в таблице, для современных серийных аппаратов оптимальные высоты съёмки при выявлении длинных неровностей пути составляют 25–100 метров, при которых возможно их определение в плане с точностью 1–5 мм.

Для выявления изменений геометрических параметров пути во времени целесообразно проводить периодическую съёмку потенциально опасных участков. После взаимной привязки снимков по контурным точкам и распознавания объекта можно с миллиметровой точностью фиксировать изменения геометрических параметров пути в плане [11, 12].

В ходе исследований на основании материалов телевизионной съёмки с проверкой высокоточными геодезическими измерениями и привязкой к единой системе координат впервые были получены численные параметры длинных неровностей пути (объёмных деформаций) – см. рис. 5.

Аэросъёмочное оборудование БПЛ даёт возможность вести съёмку параллельно железнодорожному пути на высоте головки рельса, что позволяет выявлять относительные просадки пути (рис. 6).

Технология определения вертикальных неровностей повторяет технологию определения неровностей в плане. Ведётся съёмка параллельно железнодорожному пути на высоте головки рельса. Затем линия

головки рельса распознаётся [11] по методу Хока (рис. 7).

Применение методов глобального аэрокосмического мониторинга позволяет не только отслеживать геометрические параметры пути на всём участке Ковдор–Мурманск, но и выявлять объекты, представляющие потенциальную угрозу для железной дороги [13, 14] (водоёмы, возникающие запруды, проводимые мелиоративные и строительные работы, меняющийся характер водостоков, оврагообразующие процессы и т.п.), тем самым показывая зависимость состояния пути от состояния прилегающей территории.

Объёмные деформации могут быть связаны с деформациями земляного полотна, причём параметры неровностей меняются с ростом пропущенного тоннажа. Очевидно, что контроль параметров длинных неровностей способен служить важным средством диагностики состояния земляного полотна, когда оно находится под воздействием вагонов с повышенной осевой нагрузкой и тяжеловесных поездов.

Технологии дистанционного зондирования помогает выявлять осадки железнодорожного пути с последующим уточнением контрольных точек нивелировкой (рис. 8). При этом появляется возможность построить зависимость осадки всего участка от пропущенного тоннажа и выйти на экономические параметры эксплуатации.





ВЫВОДЫ

Проведённые наблюдения и результаты исследований состояния железнодорожного пути при повышенных осевых нагрузках с применением методов глобального спутникового мониторинга позволили сделать следующие обобщения:

1. При введении в обращение нового подвижного состава с повышенными осевыми нагрузками необходимо его оценивать не только показателями прочности элементов верхнего строения, но и деформативности пути в целом.

2. Увеличение осевых нагрузок приводит к росту деформаций пути, особенно на увлажнённых грунтах (выявлено анализом данных космического мониторинга прилегающих территорий и осадок пути).

3. Обращение вагонов с повышенными осевыми нагрузками целесообразно осуществлять на замкнутых маршрутах в специализированных вертушках для возможности периодического анализа состояния пути и прилегающих территорий по материалам данных дистанционного зондирования.

4. Разработанные системы мониторинга потенциально опасных участков железнодорожного пути с использованием БПЛ (квадрокоптеров-дронов) являются эффективными и малозатратными средствами выявления объёмных деформаций. Аэросъёмка с малых высот обеспечивает оперативные данные о состоянии пути и динамике изменений его геометрических параметров как в горизонтальной плоскости, так и вертикальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Певзнер В. О., Надежин С. С., Анисин А. В., Третьяков В. В. Оценка деформативности пути в местах расстройств и возможных изменений в сроках выправки при повышении осевой нагрузки грузовых вагонов // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 4. – С. 44–48.

2. Железнов М. М. О концепции информационно-технологического совершенствования системы ведения путевого хозяйства на основе инновационных

технологий, в том числе спутниковых // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 5. – С. 1–7.

3. Железнов М. М. Основные направления исследований в области мониторинга и технического обслуживания железнодорожного пути на основе спутниковых технологий // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 6. – С. 59–64.

4. Constantini M., Trillo F., Vecchioli F., Vasileisky A. Ground deformation monitoring by persistent scatterer pairs (PSP) SAR interferometry // Сборник тезисов 8-й всероссийской открытой конференции «Земля из космоса – наиболее эффективные решения». – М.: ИКИ РАН, 2010. – С. 243–244.

5. Roghaei M., Zabiholah A. An Efficient and Reliable Structural Health Monitoring System for Buildings after Earthquake // APCBEE Rrocedia. 2014. Vol. 9. Pp. 309–316.

6. Shariff F., Rahim N. A., Hew W. P. Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system // Expert System with Application. 2015. Vol. 42, № 3. Pp. 1730–1742.

7. Samadi A., Amiri-Tolkadany E., Davoudi M. H., Darby S. E. Experimental and numerical investigation of stability of overhanging riverbanks // Geomorphology. 2013. Vol. 184. P. 1–19.

8. Wang M. L., Lynch J. P., Sohn H. Sensor Technologies for Civil Infrastructures // Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. 2014. Vol. 55. P. 159–178.

9. Shen H., Klapperich H., Abbas S. M., Ibrahim A. Slope stability analysis based on the integration of GIS and numerical simulation // Automation in Construction. 2012. Vol. 26. P. 46–53.

10. Железнов М. М., Певзнер В. О., Василевский А. С. и др. Концепция мониторинга макротерриториальных деформаций железнодорожного пути с использованием космических технологий // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта: Коллективная монография членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД» / Под. ред. Б. М. Лapidуса. – М.: Mittel Press, 2014. – С. 97–111.

11. Zheleznov M. M. Aerospace remote sensing based determination of track geometry characteristics. Vniizht Bulletin. 2012. № 5. С. 1–7.

12. Zheleznov M. M. Developing innovative technologies to be implemented with the track maintenance IT system. Vniizht Bulletin. 2013. № 1. С. 15–18.

13. Василейский А. С., Железнов М. М., Макаров А. Ю. Мониторинг потенциально опасных воздействий на железнодорожную инфраструктуру с использованием космических систем ДЗЗ // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 6. – С. 16–19.

14. Пономарёв В. М., Шевченко А. И. Совершенствование системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта. – 2005. – № 3. – С. 8–15.

15. Железнов М. М., Пономарёв В. М. Аэрокосмические методы мониторинга чрезвычайных ситуаций // Мир транспорта. – 2017. – № 4. – С. 214–227. ●

Координаты авторов: **Железнов М. М.** – m.zheleznov@mail.ru, **Певзнер В. О.** – vpevzner@list.ru, **Пономарёв В. М.** – ponomarev.valentin@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 10.11.2017, принята к публикации 24.12.2017.

Работа выполнена в рамках гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в сфере железнодорожного транспорта.

MONITORING AND EMERGENCY PREVENTION IN AREAS WITH INCREASED AXIAL LOAD

Zheleznov, Maxim M., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

Pevzner, Viktor O., JSC VNIIZhT, Moscow, Russia.

Ponomarev, Valentine M., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article describes the essence of the problem of emergencies in areas with increased intensity of the transportation process. Methods and technical solutions in the field of rail track monitoring based on aerospace technologies are

shown. The results of the experimental operation of cars with an axial load of 27 tf / axis are presented, which included tracking the dynamics of the geometric parameters of the track and adjacent territories using tele-shooting using a drone (quadrocopter-drone).

Keywords: railway, increased axial load, aerial survey, monitoring, emergency situations, impact on the track.

Background. For more than 150 years, Russia's railways have functioned as a single centralized mechanism aimed at the economic efficiency of the entire complex in the interests of the state.

During the formation of JSC Russian Railways and its subsequent reforming, there have been significant changes in the economic model of functioning. Now it is an infrastructure company, interested primarily in obtaining the maximum revenue for the use of its infrastructure by carriers – owners and tenants of cars. Also, JSC Russian Railways is interested in a maximal reduction of the cost of maintaining the infrastructure with an increase in the level of safety and efficiency of its use [1].

Objective. The objective of the authors is to consider the issues of monitoring and emergency prevention in areas with increased axial load.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, graph construction, evaluation approach.

Results. At the same time, the industry is on the verge of another increase in carload load up to 27 tons per axle. Special railcar structures designed for operation with such a load are created. Experimental polygons have been determined on which the experimental operation of trains consisting of cars with increased axial load will be carried out (Pic. 1).

In the solution of the problem, an important place is occupied by technologies for monitoring the geometric parameters of the railway track as a key infrastructure component, which accounts for the

main impact. In this context, it is proposed to complement the existing system of such monitoring with global space monitoring methods (GLONASS / GPS and remote sensing data processing systems) that allow to [2, 3]:

- cover the entire experimental polygon in a single coordinate system by measuring the geometric parameters of the track;
- promptly monitor the status not only at selected control points, but also throughout the section;
- to track volumetric deformations, which have an extended character and actually change the geometry of the track of the entire polygon.

Taking into account the fact that experimental polygons of trains consisting of cars with increased axial loads are closed routes, the most automated measuring methods should be used [4–9], which form three technological levels:

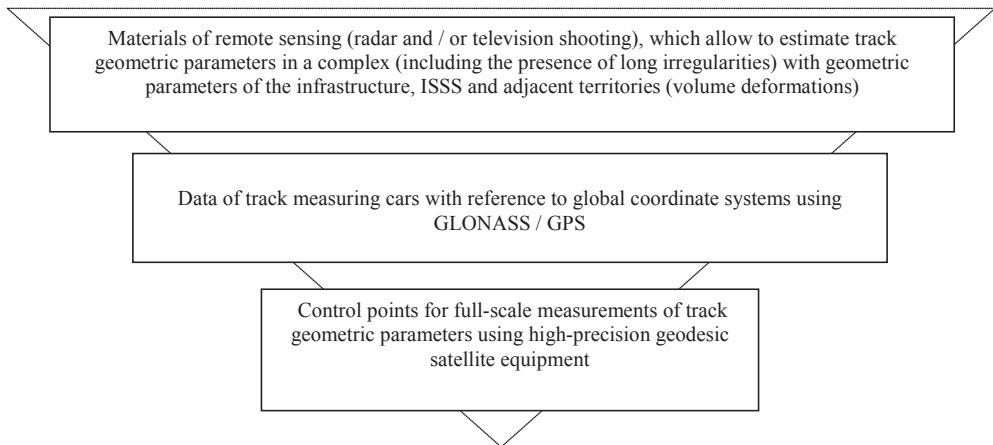
1. Control areas for measuring geometric parameters by high-precision geodetic equipment.
2. Data of track measuring cars with reference to global coordinate systems with the help of GLONASS / GPS equipment.
3. Materials of aerospace remote sensing (radar and / or television shooting), which allow to evaluate the geometric parameters of the track in the complex (including the presence of long irregularities) with the geometric parameters of the infrastructure objects, ISSS and adjacent areas (volumetric deformations).

The proposed technological scheme of monitoring (Pic. 2) will allow covering the whole experimental



Pic. 1. Promising polygons of heavy traffic.





Pic. 2. Technological scheme of monitoring.



Pic. 3. An image from space of Kovdor Mining and Processing Combine.

Table 1

The shooting parameters for the UAV of the Chinese company DJI Phantom 3

Height of survey (m)	Length of measured long irregularities (m)	Spatial resolution (mm)	Accuracy of measurement of geometric parameters of track in plan (mm)
5	10,7	2,6	0,3
10	21,4	5,2	0,5
25	53,6	13,1	1,3
50	107,2	26,2	2,6
100	214,4	52,4	5,2
250	536,1	130,9	13,1
500	1072,3	261,8	26,2
1000	2144,7	523,6	52,4

range of heavy traffic with measurements. As an example, Pic. 3 shows a fragment of the space image of the Kovdor Mining and Processing Combine with access roads.

In 2014–2016 on Kovdor–Murmansk section of the October Railway, the experimental operation of cars with an axial load of 27 tf / axle was carried out. Experiments of this kind were not performed on the Russian rail network before, the impact of such loads on the track superstructure and the roadbed was not studied. It was necessary to determine how the cars with increased axial load will influence the accumulation of deformations

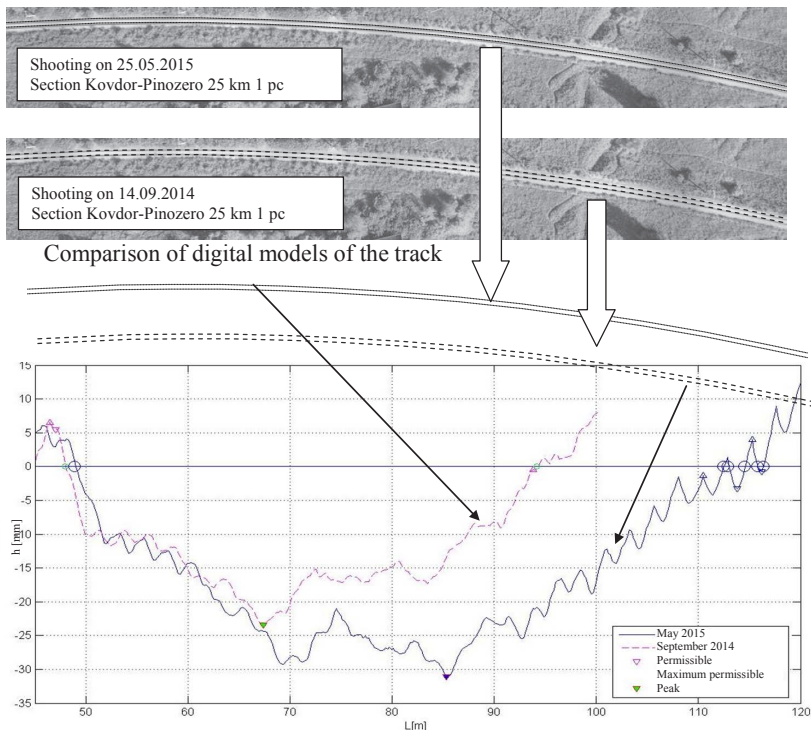
and the stress-strain state of the track, to test the developed technologies of global monitoring and mathematical modeling.

As an operational and low-cost way to monitor the geometric parameters of the railway track in areas of heavy traffic, surveys were taken from an unmanned aerial vehicle (UAV) – a quadcopter-drone (Pic. 4).

TV pictures with UAV allow to detect the change in geometric parameters of the track with a high accuracy and speed at a point to several hundred meters. Including the dynamics of long irregularities based on the materials of periodic survey.



Pic. 4. Quadcopter with a television camera.



Pic. 5. The growth of the natural unevenness for the period from September 2014 to May 2015 at the 25th km of the Kovdor–Pinozero section.

The technology for determining long irregularities in the plan is as follows:

1. The operator directs the UAV to the center of the studied section of the railway track and sets the survey, depending on the required measurement accuracy and the length of the measured long irregularities (Table 1).

2. After the survey, the UAV transmits a snapshot to the operator's console, which is then processed to recognize the railway track and determine its geometric parameters in the plan.

Based on the parameters given in the table, for modern serial devices, the optimal survey heights when detecting long irregularities of the track are 25–100 meters, at which their determination in the plan is possible with an accuracy of 1–5 mm.

To detect changes in the geometric parameters of the track in time, it is advisable to periodically survey potentially hazardous areas. After the images are linked to each other by contour points and the object is recognized, it is possible to fix the changes in geometric parameters of the track in plan with millimeter accuracy [11, 12].

In the course of research based on the materials of television shooting with the verification of high-precision geodetic measurements and binding to a single coordinate system, the numerical parameters of long irregularities of the track (volume deformations) were first obtained – see Pic. 5.

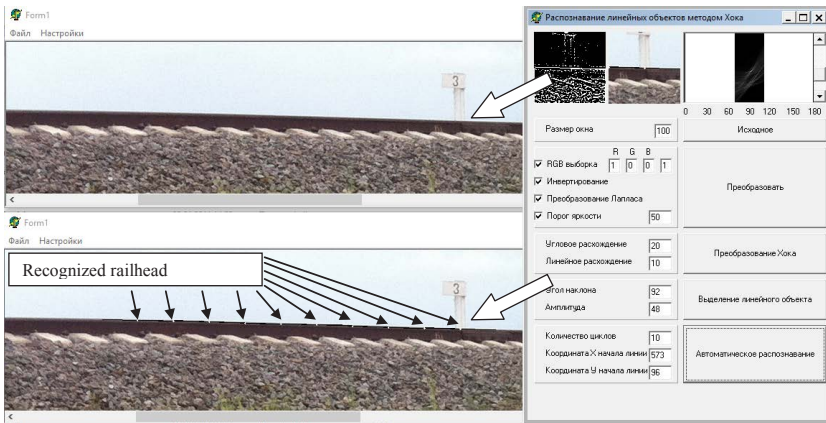
The aerial shooting equipment of the UAV makes it possible to survey parallel to the railway track at the height of the railhead, which allows us to detect relative depressions of the track (Pic. 6).

The technology of determining vertical irregularities repeats the technology of determining the unevenness in the plan. The survey is conducted parallel to the railway track at the height of the railhead. Then the line of the rail head is recognized [11] by the Hock method (Pic. 7).

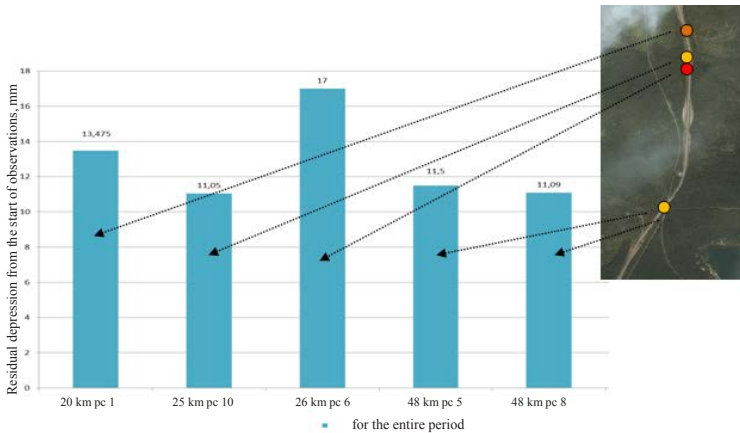
The application of global aerospace monitoring methods allows not only to track the geometric parameters of the track in the entire section Kovdor–Murmansk, but also to identify objects posing a potential threat to the railway [13, 14] (water bodies, emerging dams, reclamation and construction works, gully-forming processes, etc.), thereby showing the



Pic. 6. Relative depressions of the track at the 25th km of the Kovdor–Pinozero section.



Pic. 7. Recognition of the railhead by the Hock method.



Pic. 8. Refinement of control points by leveling for remote sensing.

dependence of the state of the track on the state of the adjacent territory.

Volume deformations can be associated with deformations of the roadbed, the parameters of the irregularities changing with the growth of the handled

tonnage. Obviously, monitoring the parameters of long irregularities can serve as an important means of diagnosing the state of the roadbed when it is under the influence of cars with increased axial load and heavy trains.

Remote sensing technology helps to identify the depressions of the railway track with the subsequent refinement of control points by leveling (Pic. 8). At the same time, it becomes possible to construct the dependence of the entire section's depression on the handled tonnage and reach the economic parameters of operation.

Conclusions. The conducted observations and the results of research of the state of the railway track under increased axial loads using global satellite monitoring methods made it possible to make the following generalizations:

1. When introducing a new rolling stock with increased axial loads, it is necessary to evaluate it not only by the strength indicators of the track superstructure elements, but also by the deformability of the track as a whole.

2. The increase in axial loads leads to an increase in the deformations of the track, especially on humid soils (revealed by the analysis of space monitoring data of adjacent territories and depressions of the track).

3. It is advisable to use cars with increased axial loads on closed routes in specialized turntables for the possibility of periodic analysis of the state of the track and adjacent territories based on remote sensing data.

4. The developed monitoring systems for potentially hazardous sections of the railway track using the UAV (quadrocopter-drones) are effective and low-cost means of detecting volumetric deformations. Aerial photography from low altitudes provides operational data on the state of the track and the dynamics of changes in its geometric parameters both in the horizontal plane and in the vertical plane.

REFERENCES

1. Pevzner, V.O., Nadezhin, S.S., Anisin, A.V., Tretyakov, V. V. Evaluation of the deformability of the track in places of disorders and possible changes in the timing of straightening with increasing axial load of freight cars [Ocenka deformativnosti puti v mestah rasstrojstv i vozmozhnyh izmenenij v srokah vypravki pri povyshenii oseoiv nagruzki gruzovyh vagonov]. *Vestnik VNIIZhT*, 2013, Iss. 4, pp. 44–48.

2. Zheleznov, M. M. About the concept of information and technological improvement of the track maintenance system based on innovative technologies, including satellite ones [O koncepcii informacionno-tehnologicheskogo sovershenstvovaniya sistemy vedeniya putevogo hojzajstva na osnove innovacionnyh tehnologij, v tom chisle sputnikovyyh]. *Bjulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO «RZD»*, 2012, Iss. 5, pp. 1–7.

3. Zheleznov, M. M. The main directions of research in the field of monitoring and maintenance of the railway track on the basis of satellite technologies [Osnovnye napravlenija issledovanij v oblasti monitoringa i tehničeskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnogo puti na osnove

sputnikovyyh tehnologij]. *Vestnik transporta Povolzh'ja*, 2011, Iss. 6, pp. 59–64.

4. Constantini, M., Trillo, F., Vechiolli, F., Vasileisky, A. Ground deformation monitoring by persistent scatterer pairs (PSP) SAR interferometry. *Proceedings of the 8th All-Russian Open Conference «Earth from Space – the Most Effective Solutions»*. Moscow, IKI RAS publ., 2010, pp. 243–244.

5. Roghaei, M., Zabiholah, A. An Efficient and Reliable Structural Health Monitoring System for Buildings after Earthquake. *APCBEE Rrocedia*, 2014, Vol. 9, pp. 309–316.

6. Shariff, F., Rahim, N. A., Hew, W. P. Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system. *Expert System with Application*, 2015, Vol. 42, Iss. 3, pp. 1730–1742.

7. Samadi, A., Amiri-Tolkadany, E., Davoudi, M.H., Darby, S. E. Experimental and numerical investigation of stability of overhanging riverbanks. *Geomorfology*, 2013, Vol. 184, pp. 1–19.

8. Wang, M. L., Lynch, J. P., Sohn, H. Sensor Technologies for Civil Infrastructures. *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 2014, Vol. 55, pp. 159–178.

9. Shen, H., Klapperich, H., Abbas, S. M., Ibrahim, A. Slope stability analysis based on the integration of GIS and numerical simulation. *Automation in Construction*, 2012, Vol. 26, pp. 46–53.

10. Zheleznov, M. M., Pevzner, V. O., Vasilevsky, A. S. [et al]. The concept of monitoring macroterritorial deformations of the railway track using space technologies [Koncepcija monitoringa makroterritorial'nyh deformacij zheleznodorozhnogo puti s ispol'zovaniem kosmicheskikh tehnologij]. *Scientific support of innovative development and increasing the efficiency of railway transport: Collective monograph of members and scientific partners of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. Ed. by B. M. Lapidus. Moscow, Mittel Press publ., 2014, pp. 97–111.

11. Zheleznov, M. M. Aerospace remote sensing based determination of track geometry characteristics. *Vniizht Bulletin*, 2012, Iss. 5, pp. 1–7.

12. Zheleznov, M. M. Developing innovative technologies to be implemented with the track maintenance IT system. *Vniizht Bulletin*, 2013, Iss. 1, pp. 15–18.

13. Vasilevsky, A. S., Zheleznov, M. M., Makarov, A. Yu. Monitoring of potentially dangerous effects on the railway infrastructure using space RS systems [Monitoring potencial'no opasnyh vozdeystvij na zheleznodorozhnuju infrastrukturu s ispol'zovaniem kosmicheskikh sistem DZZ]. *Vestnik VNIIZhT*, 2010, Iss. 6, pp. 16–19.

14. Ponomarev, V. M., Shevchenko, A. I. Improvement of the system for preventing and eliminating emergencies on railway transport [Sovershenstvovanie sistemy preduprezhdenija i likvidacii chrezvyčajnyh situacij na zheleznodorozhnom transporte]. *Nauka i tehnika transporta*, 2005, Iss. 3, pp. 8–15.

15. Zheleznov, M. M., Ponomarev, V. M. Aerospace emergency monitoring methods. *World of Transport and Transportation*, Vol. 15, 2017, Iss. 4, pp. 214–227. ●

Information about the authors:

Zheleznov, Maxim M. – Ph.D. (Eng), associate professor, deputy head of the department of scientific work of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, m.zheleznov@mail.ru.

Pevzner, Viktor O. – D.Sc. (Eng), professor, senior researcher of JSC VNIIZhT, Moscow, Russia, vpevzner@list.ru.

Ponomarev, Valentine M. – D.Sc. (Eng), professor, head of the department of MIIT, Moscow, Russia, ponomarev.valentin@inbox.ru.

Article received 10.11.2017, accepted 24.12.2017.

The work was carried out within the framework of the grant of JSC Russian Railways for the development of scientific and pedagogical schools in the field of railway transport.

