

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 Ошеревич — 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 телесъёмки с помощью беспилотника (квадрокоптера-дрона).

Ключевые слова: железная дорога, повышенная осевая нагрузка, аэротелесъёмка, 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.

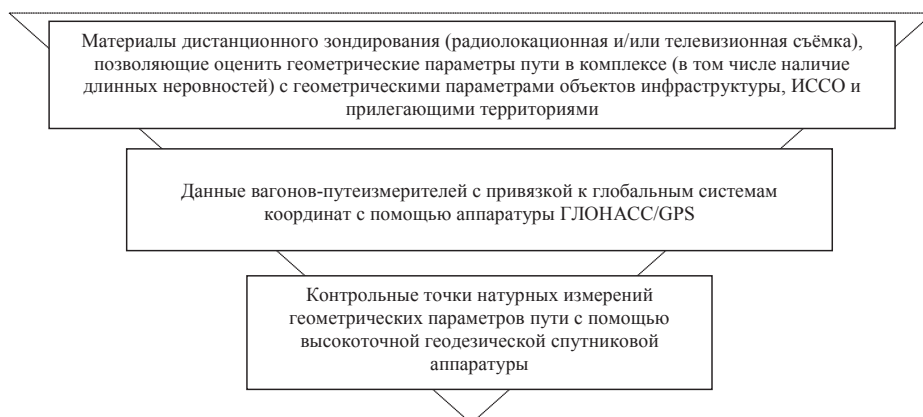


Рис. 2. Технологическая схема мониторинга.

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 тяжёлового 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

Таблица 1

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

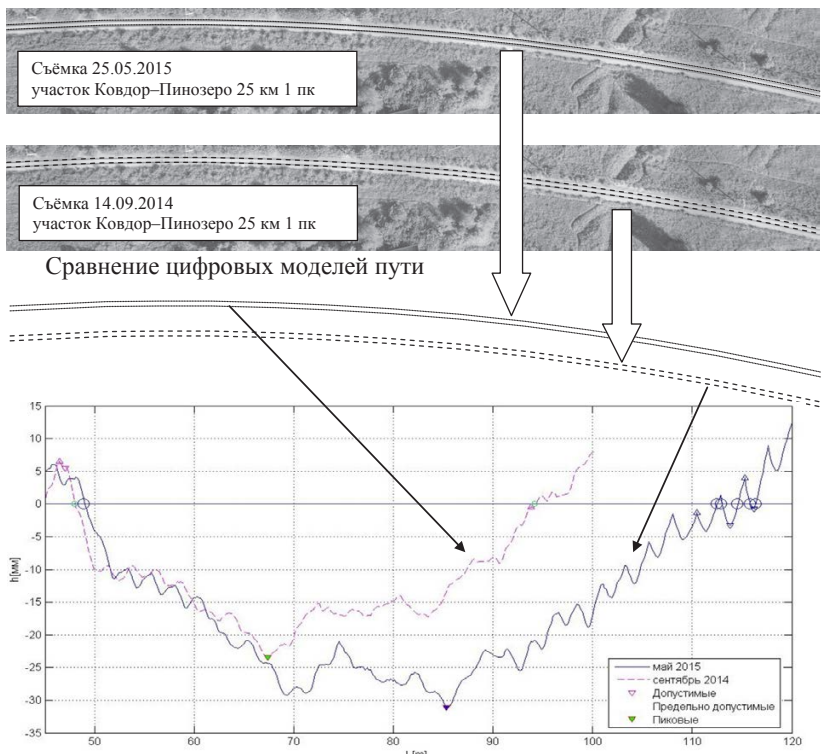


Рис. 5. Рост натурной неровности за период с сентября 2014 года по май 2015 года на 25-м км участка Ковдор–Пинозеро.

мониторинга и математического моделирования.

В качестве оперативного и низкозатратного способа мониторинга геометрических параметров железнодорожного пути на участках тяжеловесного движения применили съёмки 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.





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

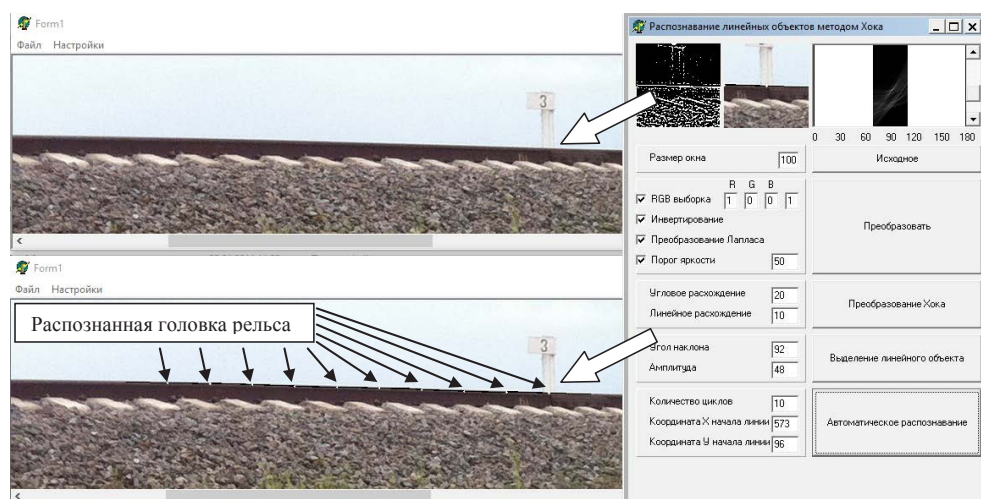


Рис. 7. Распознавание головки рельса по методу Хока.

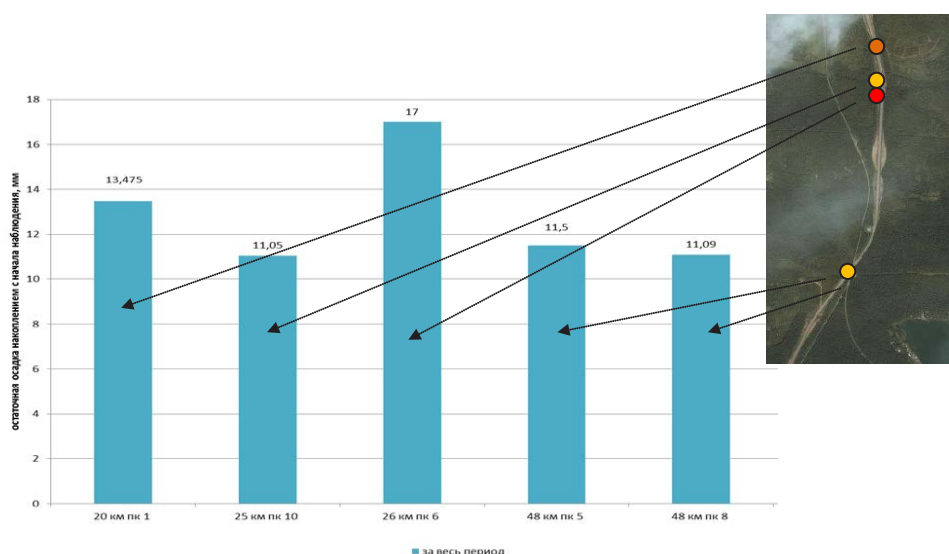


Рис. 8. Уточнение контрольных точек нивелировки для дистанционного зондирования.

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. Лапидуса.— 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.