

М.Д. Лутфулин, Р.С. Большаков, Е.В. Маловецкая

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. *Рассматриваются вопросы применения беспилотных летательных аппаратов для дистанционного мониторинга технического состояния объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Оцениваются возможности применения технологий технического зрения в привязке к видео-визуальными средствами беспилотных летательных аппаратов. Приведены общие сведения о важности проведения работ мониторинга и анализа железнодорожного полотна с изучением некоторых случаев недостаточного внимания к этим вопросам. Рассмотрены общие характеристики современных беспилотных летательных аппаратов, потенциал их использования, а также возможности видеокамер, оснащенных техническим зрением. Показан принцип работы системы мониторинга путем исследования им беспилотных летательных аппаратов, а также рассмотрены достоинства и недостатки такой системы.*

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, техническое зрение, искусственный интеллект, аэрофотосъемка, развитие Восточного полигона, квадрокоптеры.*

M.D. Lutfulin, R.S. Bolshakov, E.V. Malovetskaya

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

COMPARATIVE ANALYSIS OF ASSESSMENT METHODS TECHNICAL CONDITION OF INFRASTRUCTURE OBJECTS RAIL TRANSPOR

Abstract. *The issues of the use of unmanned aerial vehicles for remote monitoring of the technical condition of railway infrastructure facilities are considered. The possibilities of using technical vision technologies in connection with video-visual means of unmanned aerial vehicles are evaluated. General information is given on the importance of monitoring and analyzing the railway track with the study of some cases of insufficient attention to these issues. The general characteristics of modern unmanned aerial vehicles, the potential for their use, as well as the capabilities of video cameras equipped with technical vision are considered. The principle of operation of the monitoring system is shown by studying unmanned aerial vehicles, and the advantages and disadvantages of such a system are also considered.*

Keywords: *unmanned aerial vehicle, technical vision, artificial intelligence, aerial photography, development of the Eastern polygon, quadcopters.*

Введение

Для обеспечения бесперебойной эксплуатации железнодорожного транспорта необходимо наличие тесного взаимодействия между всем департаментами холдинга ОАО «РЖД», что способствует решению важнейших стратегических задач, стоящих на данном этапе развития перед железнодорожным транспортом. К ним можно отнести повышение уровня клиентоориентированности, улучшение работы пассажирского комплекса, увеличение основных показателей работы железнодорожного транспорта [1 – 3]. Можно также отметить необходимость контроля вагонопотоков [4] и обеспечение безопасности движения поездов [5]. Последнее тесно связано с применением различных систем мониторинга.

Системы мониторинга позволяют контролировать техническое состояние объектов различного назначения независимо от их габаритов, места нахождения или области применения [6 - 8]. Контроль технического состояния представляет собой сбор информации с различного рода датчиков, в том числе вибрационных, датчиков скорости, а также видео-визуальный учёт изменения различных видимых параметров рассматриваемого объекта. В некоторых случаях необходимо проведение оценки этих параметров на достаточно удалённых объектах, когда установка диагностической аппаратуры нецелесообразна. В этом случае возможен мониторинг с применением беспилотных летательных аппаратов.

Применительно к железнодорожному транспорту беспилотные летательные аппараты способны решать ряд достаточно злободневных вопросов, связанных с оценкой

функционирования удалённых объектов инфраструктуры, обеспечения безопасности железнодорожных станций, анализ состояний технических устройств [9, 10].

В предлагаемой статье рассматриваются вопросы применения на предприятиях железнодорожного транспорта беспилотных летательных аппаратов, оснащёнными техническим зрением.

I. Общие положения

Протяженность железных дорог России составляет свыше 85 тыс. км. Это один из самых больших показателей в мире. Но такая огромная длина железнодорожных путей имеет не только положительные моменты, такие как густота дорог в европейской части и связь Европы с дальним востоком, но и отрицательные. Наличие протяжённой рельсошпальной решётки шпал требует больших экономических вложений для осуществления её функционирования, а также наличия квалифицированных кадров. Для поддержания рабочего состояния железнодорожного полотна в условиях бесперебойной работы с установленными скоростями движения выделяются сотни триллионов рублей в год. Стоимость инвестиций для развития только одной Байкало-Амурской магистрали составляет более семисот млрд рублей. По этим цифрам не трудно представить себе объем работ и капитальных вложений для осуществления движения поездов.

Пути выделяется огромное значение, потому что именно путь является первостепенным звеном в организации движения. Не составит большого труда закупить новые локомотивы и вагоны, но они не имеют смысла, если им негде будет ездить.

Железнодорожное полотно каждый день сталкивается со многими факторами, которые негативно влияют на её рабочее состояние. Это и погодные условия, высокие и отрицательные температуры, лавинные сходы и др. Со всем этим приходится круглосуточно бороться работникам службы пути. Они постоянно проверяют и анализируют состояние пути и при необходимости устраняют возникшие неисправности. Если вовремя не успеть заметить и устранить такие неполадки, то может произойти выброс, просадка, вспучивание и многие другие нежелательные эффекты, но все это приводит к прогнозируемым последствиям – нарушение безопасности движения и в дальнейшем сходу подвижного состава, крушению или аварии. Намного выгоднее и проще должным образом и вовремя устранять неисправности, чем потом устранять их последствия.

Осмотр и проверка пути осуществляется как на станциях, так и на перегонах. Намного легче проводить осмотр на станциях, потому что зачастую их длина не превышает 10-ти км. Другое же дело, если такой осмотр требуется произвести на перегоне. Перегоны же в свою очередь могут быть достаточно протяженными и удаленными от мест базирования службы пути. Особенно сложно проводить такие работы в достаточном удалении от населенных пунктов, где рядом только сплошной лес и тайга, как в Сибири, что, в свою очередь, влияет на безопасность сотрудников. Все эти факторы вызывают потребность в дистанционном обследовании железнодорожного полотна. Такой осмотр возможно осуществить благодаря всем беспилотным летательным аппаратам (далее БПЛА), также известным как дроны и квадрокоптеры. Данные средства появились относительно недавно, но уже используются не только как средство развлечения, но и как рабочий инструмент. Квадрокоптер в сочетании с камерами и датчиками может стать удобным средством для обследования железнодорожных путей.

Предлагается объединить БПЛА с камерами, оснащёнными машинным зрением и искусственным интеллектом для проведения мониторинга состояния железнодорожной инфраструктуры: мостов, тоннелей железнодорожного полотна, включая рельсошпальную решетку, балластную призму и полосы отвода, а также инженерно-защитных сооружений таких как лавинорезы, волнорезы, дамбы, галереи, противообвальные сооружения и др.

Задачей исследования является проведение анализа возможностей использования беспилотных летательных аппаратов на железнодорожном транспорте совместно с технологиями технического зрения.

II. Оценка состояния объектов с использованием технологии технического зрения

Техническое зрение является совокупностью методов расшифровки и анализа изображений и видеоданных, получаемых с цифровых видеокамер, и используется в большинстве автоматизированных процессов, а также при оценке транспортных процессов, в

том числе при определении номеров автомобилей или учёте перевозимых пассажиров. Отметим, что ряд зарубежных компаний участвует в разработке систем автоматизированного визуального контроля состояния пути, технического состояния систем в режиме реального времени, автоматизации движения автономных локомотивов. Также использование технологий технического зрения важно для повышения безопасности движения поездов в контексте поддержки существующих систем сигнализации [11].

Для обеспечения безопасного управления поездом в автоматизированном или автоматическом режиме, а также для контроля за свободностью рельсового пути необходимо применять как бортовые (устанавливаемые на подвижной состав), так и инфраструктурные (расположенные на объектах инфраструктуры) системы технического зрения. Данные системы работают независимо друг от друга и осуществляют непрерывный обмен информацией с автоматизированной системой управления движением.

Бортовая СТЗ – комплекс аппаратно-программных средств, устанавливаемых на борту локомотива (электропоезда) для обеспечения безопасного управления поездом как в автоматизированном, так и автоматическом режиме, за счет снижения человеческого фактора и повышения качества обнаружения объектов-препятствий в любых погодных условиях на прямых участках пути. Бортовые СТЗ можно разделить на подсистемы обнаружения препятствий, мониторинга и контроля состояния машиниста и технических систем поезда.

К основным функциям бортовой системы технического зрения можно отнести обнаружение пути следования, препятствий в габарите подвижного состава, видимых сигналов; обнаружение и распознавание объектов, представляющих потенциальную угрозу; выявление физического состояния машиниста и проверка его бдительности; контроль и мониторинг технического состояния бортовых систем, блоков и модулей; передача информации об обнаруженных неисправностях, препятствиях или сигналах в микропроцессорную систему управления и диагностики, систему безопасности локомотива и диспетчерам для принятия необходимых мер, включая снижение скорости, остановку или выполнению иных требований видимых сигналов и/или решений диспетчера или машиниста-оператора дистанционного управления [12].

III. Обзор способов оценки технического состояния объектов железнодорожного транспорта

БПЛА позволяет передвигаться вдоль железнодорожных путей для оценки их состояния. Продолжительность полета современных квадрокоптеров может составлять более получаса, а скорости движения свыше 100 км/ч. Дальность же полета превышают десятки километров. Камеры позволяют проводить оценку и состояние жд пути и сооружений. Также может применяться технология First Person View, которая позволяет в режиме реального времени следить за передвижениями беспилотных летательных аппаратов, а также наблюдать все то, что снимает камера. Это позволяет оперативно фиксировать имеющиеся неисправности на участке. При оснащении камер машинным зрением и искусственным интеллектом можно добиться глубокого анализа, которые позволит путем наложения цифровых маркеров на аэрофотоснимки каждой стереопары выполнять взаимное ориентирование аэрофотоснимков с определением элементов их внешнего ориентирования и дальнейшего изменения значений координат точек местности и их корреляцией с цифровыми аналогами, что позволит сформировать цифровую модель рассматриваемого участка с целью анализа и составления прогноза о развитии основных дефектов. Основным применением данного подхода является проведение оперативной оценки участка железнодорожного пути и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта в целях определения негабаритных объектов железнодорожной инфраструктуры и для диагностики состояния балластной призмы и основной площадки земляного полотна.

Также к подходам по контролю за техническим состоянием железнодорожного пути можно отнести использования совокупной информационной базы данных путеизмерительного вагона и соответствующей реперной системы, что необходимо для формирования цифровой модели верхнего строения пути.

Дистанционный мониторинг используется при оценке состояния газопровода и его инфраструктуры и представляет собой систему двух беспилотных летательных аппаратов для

формирования изображений двух маршрутов и построения высокоточного ортофотоплана местности с последующим формированием цифровой модели [13].

Наиболее рациональным техническим решением в данной области является способ построения карты экзогенных геологических процессов, протекающих на местности вдоль трассы пролегания магистрального нефтепровода. В указанном способе по данным цифровой аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования местности вдоль трассы магистрального нефтепровода с беспилотного летального аппарата, а также по данным от наземной навигационной системы, формируют цифровую модель рельефа и карту уклонов местности.

Несмотря на схожесть рассмотренных способов, они имеют ряд недостатков, в том числе отсутствие возможности получения цифровой формы нижнего строения пути, небольшую площадь покрытия, погрешность при определении координат.

Заключение

Таким образом, можно сказать, что подходы к оценке состояния объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта в области создания систем мониторинга и анализа достаточно перспективны и не уступают по качеству уже используемым системам, что позволит добиться экономического эффекта путем оптимизации данного процесса, к тому же, при обследовании инфраструктуры железнодорожного транспорта не требуется закрывать движение по перегону, снижать скорость или увеличивать интервалы времени между поездами, что тоже дает существенный экономический прирост. Несмотря на все достоинства данной системы, все же присутствуют существенные недостатки, такие как невозможность работы в тяжелых погодных условиях (дождь, снег) и дороговизна оборудования на начальном этапе. Тем не менее, пилотные запуски можно производить на отдельных участках железных дорог, таких как Красноярская железная дорога или Восточно-Сибирская железная дорога, которые относятся к активно развивающемуся Восточному полигону так что данные мероприятия точно не ухудшат уже имеющиеся технологические процессы. Пилотные запуски можно производить исключительно в теплое время года и в хорошую солнечную погоду, откуда уже на практике точно станут известны слабые места данной системы, для их последующего устранения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р.
2. Скроба, М. В. К вопросу об изменении длины гарантийных плеч участков / М. В. Скроба, Е. В. Маловецкая // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта : материалы международной студенческой научно-практической конференции: в 2 частях, Нижний Новгород, 10 апреля 2019 года / Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Нижнем Новгороде. – Нижний Новгород: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "21 век", 2019. – С. 255-258. – EDN JRSNGA.
3. Маловецкая, Е. В. Особенности применения временных рядов для оценки колебаний вагонопотоков по стыковым пунктам железных дорог / Е. В. Маловецкая, Р. С. Большаков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15. – № 1. – С. 35-40. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-1-35-40.
4. Мышкин, И. И. Организация эксплуатационной работы по твердым ниткам графика в увязке с локомотивным парком / И. И. Мышкин, Е. В. Маловецкая // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта : материалы международной студенческой научно-практической конференции: в 2 частях, Нижний Новгород, 10 апреля 2019 года / Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Нижнем Новгороде. – Нижний Новгород: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "21 век", 2019. – С. 202-208. – EDN LSGFJK.
5. Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies / E. V. Malovetskaya, R. S. Bolshakov, A. V. Dimov, A. A. Byshlyago // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019, Moscow, 21–24 мая 2019 года. – Moscow: Institute of Physics Publishing,

2020. – P. 012041. – DOI 10.1088/1757-899X/760/1/012041.

6. Карташов, О. О. Система позиционирования и управления беспилотными летательными аппаратами, используемыми для мониторинга на железнодорожном транспорте / О. О. Карташов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 4. – С. 39-42.

7. Потапов, Г. Ю. Возможности использования технологий беспилотных летательных аппаратов на Восточно-сибирской железной дороге / Г. Ю. Потапов, А. В. Софин, Р. С. Большаков // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 1(11). – С. 169-175.

8. Дагльдиян, Г. Д. Применение систем технического зрения на железнодорожном транспорте / Г. Д. Дагльдиян, Ю. В. Давыдов // Сборник научных трудов "транспорт: наука, образование, производство" : Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 17–20 апреля 2018 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2018. – С. 55-59.

9. Минаков, В. А. Технология машинного зрения на локомотивах для идентификации путевых сигналов / В. А. Минаков, В. К. Фоменко // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 6(85). – С. 62-72. – DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-62-72.

10. Каргина, Л. А. Применение цифровых технологий при реализации проектов умного транспорта / Л. А. Каргина, Т. М. Дмитриева // Экономика железных дорог. – 2020. – № 10. – С. 59-65.

11. Применение алгоритмов машинного обучения для поиска рельсовой колеи / Н. М. Гаврилова, И. А. Дейлид, С. А. Молодяков [и др.] // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2018. – Т. 2. – С. 139-142.

12. Охотников, А. Л. Виды систем технического зрения, применяемые на железнодорожном транспорте / А. Л. Охотников // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – Т. 4. – № 4(16). – С. 77-87.

13. Патент № 2726256 С1 Российская Федерация, МПК G01C 11/02. Способ построения трехмерной модели местности вдоль полотна железнодорожного пути : № 2020109110 : заявл. 01.03.2020 : опубл. 10.07.2020 / Д. А. Рошин.

REFERENCES

1. The strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 was approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated June 17, 2008 No. 877-r.

2. Skroba, M. V. On the issue of changing the length of the guarantee arms of the sections / M. V. Skroba, E. V. Malovetskaya // Infrastructure and operation of land transport: materials of the international student scientific and practical conference: in 2 parts, Nizhny Novgorod, April 10, 2019 / Branch of the Samara State University of Railway Transport in Nizhny Novgorod. - Nizhny Novgorod: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center "21st Century", 2019. - pp. 255-258.

3. Malovetskaya, E.V., Bolshakov, R.S., Features of the use of time series for assessing the fluctuations of car flows at railway junction points, T-Comm: Telecommunications and transport. - 2021. - T. 15. - No. 1. - pp. 35-40. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-1-35-40.

4. Myshkin, I. I. Organization of operational work on hard lines of the schedule in conjunction with the locomotive fleet / I. I. Myshkin, E. V. Malovetskaya // Infrastructure and operation of land transport: materials of the international student scientific and practical conference: in 2 parts, Nizhny Novgorod, April 10, 2019 / Branch of the Samara State University of Communications in Nizhny Novgorod. - Nizhny Novgorod: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center "21st Century", 2019. - pp. 202-208.

5. Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies / E. V. Malovetskaya, R. S. Bolshakov, A. V. Dimov, A. A. Byshlyago // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019, Moscow, 21–24 мая 2019 года. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012041. – DOI 10.1088/1757-899X/760/1/012041. – EDN DUKRFZ.

6. Kartashov, O. O. Positioning and control system for unmanned aerial vehicles used for monitoring in railway transport / O. O. Kartashov // Proceedings of the Rostov State University of Communications. - 2014. - No. 4. - pp. 39-42.
7. Potapov, G. Yu. Possibilities of using unmanned aerial vehicle technologies on the East Siberian Railway / G. Yu. Potapov, A. V. Sofin, RS Bolshakov // Young Science of Siberia. - 2021. - No. 1(11). – pp. 169-175.
8. Daghldiyan, G. D. Application of technical vision systems in railway transport / G. D. Daghldiyan, Yu. V. Davydov // Collection of scientific papers "transport: science, education, production": Collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, April 17–20, 2018. - Rostov-on-Don: Rostov State University of Communications, 2018. - pp. 55-59.
9. Minakov, V. A. Machine vision technology on locomotives for identification of track signals / V. A. Minakov, V. K. Fomenko // World of Transport. - 2019. - T. 17. - No. 6 (85). - pp. 62-72. – DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-62-72.
10. Kargina, L. A. The use of digital technologies in the implementation of smart transport projects / L. A. Kargina, T. M. Dmitrieva // Economics of Railways. - 2020. - No. 10. - pp. 59-65.
11. N. M. Gavrilova, I. A. Deilid, S. A. Molodyakov [et al.] Application of machine learning algorithms to search for a rail track // International Conference on Soft Computing and Measurements. - 2018. - T. 2. - pp. 139-142.
12. Okhotnikov, A. L. Types of technical vision systems used in railway transport / A. L. Okhotnikov // Science and technology of railways. - 2020. - T. 4. - No. 4 (16). - pp. 77-87.
13. Patent №. 2726256 C1 Russian Federation, IPC G01C 11/02. Method for constructing a three-dimensional terrain model along the railway track: No. 2020109110: Appl. 03/01/2020: publ. 07/10/2020 / D. A. Roshchin.

Информация об авторах

Лутфулин Марат Данисович – студент 4 курса, специальность – Магистральный транспорт, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: marat66lutfulin@mail.ru

Большаков Роман Сергеевич - к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Bolshakov_rs@mail.ru

Маловецкая Екатерина Викторовна - к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: katerina8119@mail.ru

Information about the author

Lutfulin Marat Danisovich - 4th year student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: marat66lutfulin@mail.ru

Bolshakov Roman Sergeevich - Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, the Subdepartment of "Operational Work Management", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Bolshakov_rs@mail.ru

Malovetskaya Ekaterina Viktorovna - Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, the Subdepartment of "Operational Work Management", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: katerina8119@mail.ru