

Акционерное общество
«Российская корпорация ракетно-космического
приборостроения и информационных систем»
(АО «Российские космические системы»)

Авиамоторная ул., д. 53, Москва, 111250
Тел.: (495) 673-95-19, факс: (495) 509-12-00, e-mail: contact@spacecorp.ru
ОКПО 11477389, ОГРН 1097746649681, ИНН 7722698789, КПП 774850001

24.03.2017 № И-249/482

На № _____ от _____

Отзыв

официального оппонента доктора технических наук, профессора
Кукушкина Сергея Сергеевича на диссертационную работу Якушева Д.А.,
выполненную на тему: «Автоматизация мониторинга состояния
инфраструктуры ж/д в высокоточном координатном пространстве по
данным мобильного лазерного сканирования» и представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.17 – «Теоретические основы информатики»

Отзыв основан на анализе рукописи диссертации, состоящей из введения, 3 глав, заключения, списка литературы и приложения, и автореферата, в котором дана общая характеристика работы, кратко изложено её основное содержание, приведены основные результаты, полученные автором. В конце автореферата указаны названия 11 работ автора, в которых опубликованы основные положения диссертации.

Актуальность.

Одно из перспективных направлений развития автоматизированных систем мониторинга состояния инфраструктуры на железной дороге связано с переходом к более точной координатной форме описания объектов, позволяющей с максимальной достоверностью идентифицировать критичные (с точки зрения безопасности перевозок) объекты, исходя из их фактического взаимоположения с учетом особенностей движения железнодорожного транспорта.

К числу объективных факторов, способствующих развитию указанного вида автоматизированных систем мониторинга, можно отнести широкое распространение методов дистанционного сбора информации о пространственном расположении критичных объектов, получившей название «пространственной информации», а также развитие цифровых моделей как наиболее совершенного способа ее описания. В диссертационной работе рассматриваются в качестве источников пространственной информации мобильное лазерное сканирование.

В работе на основе проведенного детального анализа показано, что к числу сдерживающих факторов, препятствующих расширенному внедрению в практику обеспечения безопасности транспортирования грузов и пассажиров на основе существующих технологий мобильного лазерного сканирования, относятся:

- высокая стоимость оборудования системы мобильного лазерного сканирования (МЛС) и необходимость наличия квалифицированного персонала для его обслуживания и последующей камеральной обработки результатов измерений;

- ошибки позиционирования, напрямую влияющие на точность измерений, которые появляются вследствие специфических особенностей самой железной дороги (прямолинейное движение без резких поворотов, что приводит к повышенным ошибкам позиционирования встроенной инерциальной системы), так и вследствие организации работ на ней (предоставление «рабочих окон» на проведение измерения без учета благоприятной спутниковой обстановки);

- отсутствие практики создания и использования трехмерной цифровой модели пути, а также прилегающих объектов железнодорожной инфраструктуры с точной навигационной привязкой, что актуально при проектировании, эксплуатации и модернизации железнодорожного пути и инфраструктуры.

Решение перечисленных задач составляет основу диссертационного исследования Якушева Д.А., что определяет актуальность и значимость диссертации.

Целью диссертации является разработка эффективной технологии обработки неоднородных (зашумленных, разновременных) данных, полученных методом мобильного лазерного сканирования и создания на их основе точной трехмерной цифровой модели. Это достигается проведением научно-обоснованной декомпозиции такого сложного объекта исследований, как современная железная дорога с ее информационной инфраструктурой, на наиболее значимые с точки зрения сформулированной темы исследований составные части. В результате этого были научно обоснованы следующие направления исследований:

классификация объектов инфраструктуры с точки зрения их влияния на показатели обеспечения безопасности перевозочного процесса, а также по степени востребованности предлагаемых диссертационных изысканий на этапах проектирования и эксплуатации автоматизированных систем мониторинга состояния инфраструктуры железной дороги (ж/д);

исследование источников, природы возникновения помех при измерениях и возможных вариантов их нивелирования, в том числе и организационными методами;

исследование различных методов автоматического распознавания сложных пространственных цифровых форм отображения данных по их точечному представлению (в облаке точек).

В ходе исследований автором были поставлены, теоретически обоснованы и решены следующие задачи:

- 1) разработаны теоретические подходы и практически реализованы алгоритмы, идентификации в облаке точек лазерного отражения местоположение опор контактной сети ж/д;

- 2) разработаны и программно реализованы методы «вписывания» геометрических (библиотечных) примитивов опор контактной сети в идентифицированное облако;
- 3) разработан алгоритм оценки точности векторизации рельсовой нити и определения оси пути;
- 4) определены организационные условия получения приемлемых для последующей обработки данных и правила их первичного анализа (экспресс- анализ);
- 5) определен состав объектов и разработан классификатор трехмерных пространственных данных объектов инфраструктуры ОАО «РЖД»;
- 6) разработаны алгоритмы автоматизированного построения поперечного профиля земляного полотна по результатам стохастической обработки точек лазерного сканирования.

Новизна результатов диссертационных исследований, выносимых на защиту, заключена в следующем.

1. Разработаны методы создания трехмерной цифровой модели инфраструктуры ж/д и технология их реализации, которые в отличие от существующих аналогов, учитывают условия и ограничения, присущие специфике получения исходных данных на железной дороге.

2. Разработан метод обнаружения опор контактной сети и оценивания параметров их пространственного положения, отличающийся от известных тем, что для повышения точностных характеристик и показателей достоверности получаемой пространственной информации использован вероятностный генетический алгоритм.

3. Разработан метод точного вписывания фигуры рельса в облако точек лазерного сканирования и алгоритма оценки точности ее векторизации, позволяющий повысить качество векторизации рельсовой нити.

4. Разработан алгоритм автоматического выделения элементов профиля земляного полотна, основанных на применении дискриминантной функции к кусочно-стационарному множеству случайных точек, отличающихся от

известных тем, что основой его реализации являются результаты лазерного сканирования полотна ж/д.

В первой главе доминирующей темой является координатное описание положения объектов и зарубежного опыта их использования.

При проведении диссертационных исследований автором проанализированы применяемые на железных дорогах системы координат и подробно рассмотрен алгоритм построения местных систем координат в применении к железным дорогам ОАО «РЖД». На основе анализа отечественного и мирового опыта показаны основные тенденции развития инфраструктуры ж/д, предполагающие применение цифровой модели пути (ЦМП) на транспорте для повышения безопасности движения железнодорожного транспорта. Рассмотрены основные источники повышения эффективности мониторинга инфраструктуры, в том числе и нетрадиционные, основанные на использовании данных мобильного лазерного сканирования и новых информационно-измерительных технологий обеспечения безопасности движения железнодорожного транспорта. При этом особое внимание для понимания целостности и объема выполненных работ уделено рассмотрению состава объектов ж/д инфраструктуры, входящих в цифровую модель пути и подлежащих автоматической обработке.

Вторая глава посвящена практическому анализу результатов использования аппаратуры мобильного лазерного сканирования на российских железных дорогах.

В ней подробно рассмотрены характеристики оборудования мобильного лазерного сканирования (МЛС) и сделан обоснованный выбор наиболее подходящей для создания ЦМП системы лазерного сканирования и обработки полученных результатов. При этом автором детально проработаны и на основе системного подхода структурированы организационные вопросы, которые необходимо решить до начала измерений. Показано, что такое решение является научно-обоснованным и имеет значительную практическую значимость. Эти положения, наиболее значимые для достижения требуемых

результатов часто упускают из виду, либо не обращают на них внимание, что приводит к излишним затратам на производство работ и даже к погрешностям измерений. На основе практического исследования результатов МЛС автором установлены причины возникновения неоднородностей в исходных данных, определены и систематизированы факторы, влияющие на их точность, и даны рекомендации по их устранению. Исходя из ограничений, вызванных особенностями движения сканирующей системы по железной дороге проанализированы факторы, влияющие на абсолютную точность получаемых измерений, введено понятие «экспресс-анализ» и разработаны основные его положения. Для оценки абсолютной точности измерений автором предложена оригинальная методика. Показано, что необходимость детальной проработки вопросов относительной и абсолютной точности измерений, продиктована жесткими требованиями, предъявляемыми к создаваемой ЦМП. Автору удалось определить условия минимизации как абсолютных, влияющих на пространственное расположение измеренного объекта на местности, так и относительных, оказывающих влияние на взаимное положение объектов, ошибок измерений. Это позволило сформировать требования к качеству ключевого объекта (репера), используемого для сведения (уравнивания) данных разных проходов между собой.

Третья глава, основываясь на проведенном в предыдущих главах анализе, освещает разработанную автором сквозную технологию обработки данных МЛС и автоматизации мониторинга инфраструктуры ж/д.

Для создания ЦМП автором разработана технологическая схема, включающая 6 формально описанных этапов работ, в сумме дающих искомый результат, заключающийся в построении трехмерной цифровой модели пути и прилегающей к нему инфраструктуры. При этом создание отдельных элементов этапа формирования трехмерных пространственных моделей в результате выполнения диссертационной работы было автоматизировано. В частности, для моделирования земляного полотна математически строго на основе представления в полярной системе координат модели кусочно-стационарного

случайного процесса, отличающегося тем, что изменение его информационных свойств происходит скачком. На ее методической базе разработан алгоритм определения точек нарушения стационарности с применением метода максимального правдоподобия. Для исключения необходимости перебора всех возможных положений точек переключения, предложена идея предварительного обнаружения и локализации участков, содержащих «нестационарные» точки, т.е. точки, в которых происходит изменение статистических характеристик случайной последовательности. На множестве независимых наблюдений вводится дискриминантная функция, позволяющая судить о стационарности случайной последовательности в произвольной точке. Обосновано основное требование, которое предъявляется к дискриминантной функции. Показано, что оно заключается в том, что дискриминантная функция должна принимать максимальные значения в областях изменения свойств последовательности независимых случайных величин. При этом минимальные появляются там, где эти свойства относительно неизменны или подчинены регулярной зависимости, т.е. внутри параметризованных участков. По априорным сведениям о возможной длине и отличительных свойствах параметризованного участка делаются правдоподобные предположения о поведении этой функции. После этого определение таких участков сведено к задаче кластеризации нестационарных точек и определению точек разладки. Также на базе обобщенного преобразования Хафа и аналитической функции расстояния предложен алгоритм автоматического распознавания опор контактной сети. Основная идея предложенного подхода заключается в поиску в облаке точек прямых линий, перпендикулярных поверхности земли. Задача распознавания точек, принадлежащих опоре, решается путем проведения плоскости, проходящей через ось вращения найденной линии и интересующей нас точки, и оценки расстояния. Функция расстояния является аналитической, т.к. ее можно представить в качестве суперпозиции элементарных функций (по отношению к объектам описанных с помощью конечного множества отрезков прямых).

Практическая ценность полученных в диссертации результатов заключается в том, что разработанные методы и алгоритмы адаптированы к существующему техническому оснащению и условиям применения новых информационно-измерительных технологий, предназначенных для обеспечения безопасности железнодорожных перевозок. Они учитывают особенности технологических процессов ОАО «РЖД» и поэтому достаточно хорошо вписываются в существующую инфраструктуру ж/д, о чем свидетельствует их использование в процессе создания ЦМП на 8887км железнодорожного пути. Полученные при этом прогнозируемые положительные результаты подтверждаются соответствующими актами о внедрении новых методов и технологий от таких организаций как АО «Транспутьстрой» и ОАО «НИИАС». Новизна и практическая значимость полученных результатов также подтверждается патентом на изобретение № 2579606 «Способ позиционирования подвижного рельсового транспортного средства на железнодорожном пути». Применение разработанной технологии позволило сократить сроки работ по созданию цифровых моделей пути более чем в 2 раза.

Достоверность и обоснованность научных положений и теоретических выкладок, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается математическими и аналитическими доказательствами, проведением вычислительных экспериментов, результатами численного моделирования и практического внедрения, а также апробацией на международных, всероссийских и региональных конференциях. При этом полученные результаты экспериментальных исследований не отличаются от теоретических, в том числе и полученных с использованием известных методов не более, чем на 5%.

Основные теоретические положения и результаты исследований автора прошли апробацию в России и за рубежом в форме докладов на конференциях.

Применение результатов исследования в различных производственных задачах ОАО «РЖД» подтверждает эффективность выполненной диссертантом работы.

Приведенные в списке 11 работ, опубликованных автором, соответствуют теме диссертации. Диссертация написана технически грамотным языком, хорошо оформлена и иллюстрирована. Содержание автореферата достаточно полно раскрывает содержание и основные идеи диссертационной работы.

Вместе с тем отмечаю, что в диссертационной работе имеют место следующие недостатки:

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Недостаточно полно раскрыты вопросы обработки пространственных данных при частичном отсутствии информации.
2. Алгоритм идентификации опор контактной сети определяет ее в облаке точек, однако при этом его использование не обеспечивает автоматический выбор подходящего для решения различных задач пространственного позиционирования типа опоры из существующего перечня или библиотеки пространственных элементов.
3. Не приведены результаты автоматического определения профиля земляного полотна по реальным данным.

Отмеченные недостатки диссертации не изменяют ее общую положительную оценку.

Автором выполнены важные и необходимые исследования в современном и перспективном научном направлении – автоматизации мониторинга состояния инфраструктуры с использованием данных, полученных по результатам мобильного лазерного сканирования. Результаты исследований и в части разработки технологии обработки пространственных данных и в части автоматизации создания цифровой модели пути представляют большой научно-технический интерес в транспортной сфере.

Вывод. Диссертационная работа на тему «Автоматизация мониторинга состояния инфраструктуры ж/д в высокоточном координатном пространстве по

данным мобильного лазерного сканирования» представляет собой законченное научное исследование и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики», а ее автор, Якушев Дмитрий Алексеевич, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Заместитель начальника отдела АО «Российские космические системы»
доктор технических наук, профессор,
заслуженный изобретатель Российской Федерации

С.С. Кукушкин

«24» марта 2017 года

Личные данные:

паспорт 46 99 №358852, выдан ОВД

г.Юбилейного, Московской обл.,

22.02.2000г.,

прописан и проживаю по адресу:

141090, г.Королев, Московской обл.,

микрорайон Болшево, ул. Пушкинская

д. 21, кв. 176.

Тел. 8(905)- 539 – 46 -26,

Эл. почта: adaptermetod@mail.ru

Подпись официального оппонента, заместителя начальника отдела АО «Российские космические системы», доктора технических наук, профессора, заслуженного изобретателя Российской Федерации Кукушкина Сергея Сергеевича удостоверяю

**Ученый секретарь диссертационного совета ДС 403.012.01
при АО «Российские космические системы»**

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

«24» марта 2017 года



С.А.Федотов