



Контроль сохранности навалочных и насыпных грузов путём определения незаполненного объёма полувагона методом стереофотограмметрии



Максим Игоревич Малышев

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

✉ dicorus@mail.ru.

Максим МАЛЫШЕВ

АННОТАЦИЯ

Процесс формирования комплексных транспортных систем предполагает не только кардинальное изменение масштаба решаемых задач, но и применение эффективных методов и инструментов.

Объектом исследования является процесс контроля сохранности груза, перевозимого в открытом железнодорожном вагоне. Предметом исследования является рельеф верхней поверхности груза и незаполненное пространство полувагона. Актуальность исследования обусловлена растущими объемами перевозки и существенными потерями сыпучих грузов в процессе транспортировки, развитием информационных технологий и возможностью создания доступного инструмента контроля сохранности перевозимых грузов.

Целью настоящего исследования является описание интеллектуального инструмента контроля сохранности грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в открытых вагонах, и процесса его применения в режиме реального времени. В числе требований, предъявляемых к предложенному методу контроля, – передача функций оператора цифровому помощнику и минимизация необходимого для контроля оборудования. Контроль сохранности навалочных и насыпных грузов предложено осуществлять путём обработки свёрточной нейронной сетью изображения полувагона с грузом, получаемого с камер фото-видеофиксации, а вычисление объёма незаполненного грузом пространства выполнять, используя методы фотограмметрии.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, контроль сохранности грузов, незаполненный объём полувагона, рельеф поверхности груза, свёрточная нейронная сеть, фотограмметрия, стереофотограмметрия, цифровизация железнодорожного транспорта, интеллектуальные транспортные системы.

Для цитирования: Малышев М. И. Контроль сохранности навалочных и насыпных грузов путём определения незаполненного объёма полувагона методом стереофотограмметрии // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 135–141. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-15>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт обеспечивает бесперебойную работу всех секторов экономики, осуществляя транспортировку добытых полезных ископаемых, средств и продукции промышленного и обрабатывающего производства.

Для перевозки машин и оборудования, сыпучих и штучных, длинномерных и громоздких, крупнокузовых и других, не требующих защиты от атмосферных осадков грузов, используются универсальные полувагоны или специализированные платформы открытой конфигурации.

По данным Росстата основными видами грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в 2021 году, являлись каменный уголь (371 668,57 тысяч тонн или 29 % от общего объема погрузки основных видов грузов), строительные грузы (126 674,9 тысяч тонн или 10 % от общего объема), руда железная и марганцевая (119 983,0 тысяч тонн или 9 % от общего объема), а также кокс, руды цветных металлов, лом черных металлов и лесные грузы¹.

В открытых вагонах могут быть перевезены песок, щебень, глинозём и другие виды навалочных и насыпных грузов, содержащих мелкие фракции. В процессе такой перевозки в силу влияния внешних факторов неизбежны потери грузов.

Именно насыпные промышленные грузы, перевозимые в открытых и закрытых вагонах, имеют наибольшую долю потерь по массе груза в процессе транспортировки [1].

Причинами потери сыпучих грузов во время транспортировки могут быть неплотные внутренние зазоры и другие дефекты кузова вагона, появившиеся в результате давления толщи груза после погрузки, вибрация в движении или износ и деформации вагона в процессе эксплуатации. К потере груза приводит нарушение условий транспортировки и хранения, выдувание частиц груза потоком воздуха (пылеунос), осыпание верхушки навала груза за пределы борта кузова и действия злоумышленников. Причиной потери грузов может быть и нарушение технологии производства, например, отправка до завершения изменения физико-химических свойств. В силу внешних условий и собственных свойств груза может иметь место его естественная убыль. В результате количество груза в вагоне в пункте доставки будет отличаться от количества груза при отправке.

¹ Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. Министерство транспорта Российской Федерации. г. Москва. 2022 год.

Даже частичная утрата груза приводит к финансовым затратам и наступлению неблагоприятных последствий для всех лиц, заинтересованных в качественной перевозке. Грузополучатели сталкиваются с недополучением нужного объема необходимого товара. Грузоотправители, перевозчики и лица, ответственные за перевозку, могут получить претензии грузополучателей. Обнаружение потери грузополучателем при получении или уже при переработке груза может привести к сбоям в его бизнес-процессах [2]. Сложности определения места утраты груза и виновных организаций приводит к продолжительным спорам, потере доверия к грузоотправителям и снижению конкурентоспособности грузоперевозчиков на рынке.

Надёжность перевозки – одно из основных требований, предъявляемых к транспортным компаниям. Для снижения вероятности потери груза, своевременного обнаружения утраты и выявления узких мест цепи поставок предприятиям железнодорожного транспорта необходим современный инструмент контроля сохранности грузов, перевозимых в открытых вагонах. Контроль состояния грузов в процессе перевозки в режиме реального времени – эффективный процесс обеспечения надёжности перевозки.

В современных научных исследованиях в области управления перевозками и эксплуатации транспорта наблюдается устойчивая тенденция совершенствования процессов транспортировки путем применения цифровых инструментов и улучшения бизнес-процессов с помощью систем компьютерного зрения и искусственного интеллекта [2; 3].

Цель настоящей исследования заключается в описании интеллектуальной структуры контроля сохранности грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в открытых вагонах, и процесса его применения в режиме реального времени. В результате применения программного обеспечения функции оператора по визуальному контролю грузов на железнодорожном транспорте должны быть переданы цифровому инструменту с добавлением новых возможностей, увеличением объема и улучшением качества контроля.

В связи с тем, что технологии, доступные по стоимости, не требующие сложного процесса внедрения на предприятии и дополнительных навыков персонала, обладают более высокой степенью диффузии и скоростью распространения, в процессе исследования должны быть решены задачи минимального использования различных видов оборудования и просто-

ты эксплуатации инструмента контроля сохранности грузов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основываясь на результатах и успешной апробации ранее выполненного исследования о выявлении повреждённых грузов и упаковки в процессе транспортировки и складирования с помощью свёрточной нейронной сети, было принято решение развить технологию в приоритетных направлениях [2].

По результатам описания проблемы утраты навалочных и насыпных грузов в процессе перевозки в открытых железнодорожных вагонах были сделаны выводы об актуальности и поставлены цели исследования.

В результате анализа и систематизации существующих и перспективных методов контроля сохранности грузов в полувагонах выяснилось, что на данный момент не существует инструментов, отвечающих поставленным целям.

В процессе поиска инструментов и методов расчета неровной поверхности и мелких фракций некоего объекта выполнен анализ открытых источников информации, в том числе в российских и зарубежных реферативных базах данных ранее выполненных исследований, тематических изданиях, на сайтах технологических компаний, органов государственной власти и т. д. В результате выполненного поиска и анализа сделаны выводы, что цели исследования могут быть достигнуты в результате трансфера методов фотограмметрии.

Предложена экстраполяция стереофотограмметрии для формирования и расчета параметров рельефа верхней части груза в полувагоне.

Выполнено описательное и визуальное представление обработки изображения интеллектуальной компьютерно-программной информационной системой в процессе определения незаполненного объема полувагона методом фотограмметрии.

Основываясь на объективных данных научного прогноза, сделаны выводы о возможности применения предложенного метода для контроля сохранности навалочных и насыпных грузов в процессе перевозки.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Принципы обеспечения сохранности насыпных и навалочных грузов, перевозимых в открытых вагонах, отражены в соответствующих нормативных документах, предписывающих в целях исключения просыпания и выду-

вания очищать вагоны от остатков перевезенных ранее грузов и использовать исправные вагоны и разгрузочные люки [4]. Примером нормативного регулирования может быть Приказ Минтранса России от 14 января 2020 года № 9 «Об утверждении правил перевозок железнодорожным транспортом грузов в открытом подвижном составе»². Соблюдение норм и правил перевозки грузов в полувагонах позволяет исключить их утрату в процессе транспортировки свыше установленных норм.

Для обеспечения сохранности грузов, перевозимых в открытых вагонах, используют уплотнительные материалы для заделки дефектов кузова, в том числе футеровку вагонов [5]. Специальными инструментами и уплотнительным оборудованием разравнивают и статически уплотняют грузы в процессе погрузки. Укрывают грузы защитными материалами и связывают специальными пастами и пропитками. При необходимости выбирают для перевозки биг-бэги, контейнеры, используют вагонные вкладыши и другие приспособления, защищающие от утраты сыпучих грузов.

Контроль сохранности груза может осуществляться путём взвешивания загруженного подвижного состава на станции отправления и станции назначения [6]. При весовом контроле разница между массами отправленного и полученного груза, превышающая предел допустимого расхождения с учетом естественной убыли, указывает на утрату груза.

Разработаны и применяются автоматические системы коммерческого контроля на железнодорожном транспорте, позволяющие осуществлять осмотр рам, бортов, крыш, люков и контролировать очитку вагонов, визуально идентифицировать, регистрировать с помощью видеоаппаратуры, распознавать инвентарные номера, контролировать уровень налива цистерн, габариты вагонов, заполненность жидкими и сыпучими грузами, выявлять неоднородность грузов (например, воду в продуктах нефтепереработки), осуществлять динамическое и статическое подколесное взвешивание вагонов и фиксировать прохождение поезда.

Автоматические системы включают расположенную на путях стальную несущую конструкцию для монтажа средств контроля, телевизионную и тепловизионную системы, электронные ворота с инфракрасными и опти-

² Приказ Министерства транспорта РФ от 14 января 2020 г. № 9 «Об утверждении Правил перевозок железнодорожным транспортом грузов в открытом подвижном составе».



ческими датчиками негабаритности, блок счёта вагонов и датчики счёта колес, тензометрический рельс, световую и звуковую сигнализацию, системы освещения для наблюдения в темное время суток, линии связи и устройства для передачи сигналов без помех в условиях электромагнитных излучений. Такие автоматические системы предполагают наличие оборудованного рабочего места оператора наблюдателя.

Инфракрасные лучевые датчики формируют зону габаритности, пересечение которой (перекрытие луча) свидетельствует о превышении допустимого объёма загрузки подвижного состава [7].

Контроль равномерности и уровня загрузки вагонов жидкими и сыпучими грузами обеспечивается визуальным наблюдением оператора непосредственно за погрузкой или за видеопотоком, получаемым с видеокамер, установленных на раме электронных габаритных ворот.

Для дистанционного и бесконтактного контроля уровня налива цистерн и заполненности вагонов жидкими и сыпучими грузами используются тепловизионные комплексы [8]. На термографическом изображении оператором распознается сформированная разными цветами граница налива или насыпи груза и делаются выводы о фактическом заполнении вагона.

Расчёт массы груза по информации о фактическом уровне, полученной от тепловизионной камеры, осуществляется в ручном или автоматическом режиме исходя из калибровочных параметров кузова в соответствии с его инвентарным номером, а также плотности и температуре груза.

Инструмент, использующий бесконтактное лазерное (3D) сканирование, может быть применен для сканирования периметра, геометрии и верхней части кузова каждого вагона, выполняемого до отправки и по прибытию в пункт назначения, даёт возможность определять разницу в объеме груза в вагоне и выявлять факт утраты [9].

Работа большинства лазерных 3D-сканеров основана на принципе триангуляции, нахождения луча на поверхности объекта и измерении расстояния до него, либо измерении времени отклика луча от поверхности объекта. По облаку точек геометрических образцов, имеющих координаты в пространстве, строится 3D-модель.

С помощью промышленного 3D-сканирования формируется трехмерная модель кузова

с грузом в метрической системе координат. Полученный 3D-скан-профиль математически разбивается на элементарные объёмные кубы, объёмы которых определяются исходя из параметров кузова в соответствии с его инвентарным номером [10].

После расчёта объёмов простейших тел, все вычисленные объёмы суммируются. В результате по фактическим размерам формируется объёмная 3D-модель вагона. Разность цифровых двойников кузова в пунктах отправления и назначения, уже выраженная в единицах объёма, в случае превышения допустимых норм убыли будет указывать на утрату груза.

Перечисленные современные и перспективные инструменты контроля сохранности грузов предполагают установку дополнительного, необходимого для выполнения только этих задач, оборудования и привлечение персонала.

Использование дополнительного оборудования и материалов усложняет и удорожает транспортный процесс, при этом не исключая утрату грузов, например, из-за злого умысла третьих лиц. Контроль сохранности грузов с использованием автоматических систем коммерческого контроля также требует установку дорогостоящего оборудования непосредственно в месте контроля и привлечение оператора для осуществления непрерывного мониторинга в каждой контрольной точке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

К системам сканирования, нуждающимся в наименее затратном оборудовании, можно отнести системы, использующие пассивные сканеры, не имеющие собственного излучения, а обнаруживающие видимый свет, отражённый от окружающего пространства.

С довольно точным лазерным трёхмерным сканированием можно сравнить метод автоматических цифровых моделей, основанный на фотограмметрических инструментах [11].

Стереоскопические системы пассивного сканирования по фотометрической технологии предусматривают использование одной или двух 2D-камер, расположенных в разных местах и в одном направлении [12].

Создание трёхмерной модели и определение размера, формы, положения и других характеристик объектов осуществляется на основе фотографий, сделанных под разным углом, и выполняется с помощью фотограмметрии или стереофотограмметрии. Обработка изображения осуществляется с использованием специального программного обеспечения.

С целью получения видеоряда изображения в местах осуществления контроля сохранности грузов необходима установка видеокамер. В нейросеть загружается полученное из видеоряда визуальное 2D изображение реального мира (полувагона с грузом). Разрешение изображения определяется разрешением камеры. Для детализации объекта контроля разрешение изображения должно быть достаточным для распознавания границ кузова вагона, загрязнений вагона и контуров рельефа верхней части груза. Чем выше детализация изображения, тем выше точность расчета незаполненного объема полувагона за счет корректного распознавания деталей контура поверхности груза.

В результате фотограмметрического анализа полученных и загруженных в компьютерную программу цветных цифровых изображений открытого вагона с находящимся внутри грузом возможно получить метрические данные о форме, размере, расстояниях между элементами и других параметрах выбранного объекта (рис. 1).

В рамках настоящего исследования объектом, выбранным для получения метрических данных, является незаполненное грузом пространство в верхней части полувагона.

В нейронную сеть загружаются полученные с камер видеофиксации и разбитые на пиксели изображения. Для унификации входных данных перед загрузкой в нейронную сеть изображения могут быть преобразованы в 1D-массив фиксированного размера.

Используя алгоритм семантической сегментации, по уникальным признакам обнаруживается и выделяется из изображения полувагон с грузом и незаполненным пространством.

Для создания трёхмерной модели выбранного объекта необходимо загрузить фотографии, сделанные под разным углом. Чтобы снимки было возможно объединить, каждый следующий кадр должен пересекаться с предыдущим на 30 % [13].

На полученной модели по границам цветов (изменению яркости пикселей) рассеивается облако точек. Количество точек влияет на точность измерений. Максимальная точность достигается при максимальном количестве точек. По облаку точек осуществляется построение текстуры поверхности груза, состоящей из простых геометрических фигур.

Для вычисления объемов простых фигур необходимо сориентировать программу в метрической системе, обозначив маркеры точек. Для этого необходимо сопоставить точки

с метрической линейкой, по шкале которой будут рассчитываться все расстояния.

Объём незаполненного в полувагоне пространства определяется независимо от рельефа поверхности груза.

В качестве метрической линейки могут быть использованы борта кузова вагона, параметры которых известны из технических характеристик каждой модели вагона. Технические характеристики моделей вагонов включают объём кузова в кубических метрах и внутренние размеры в миллиметрах, в том числе высоту от пола до конца стенок, длину и ширину по полу.

Модель вагона зашифрована в уникальном восьмизначном инвентарном номере, нанесённом на боковой стенке и на хребтовой балке рамы. Для идентификации модели вагона интеллектуальную экспертную систему контроля сохранности грузов необходимо дополнить блоком с камерами видеофиксации номеров вагонов и совместимым инструментом автоматического распознавания и расшифровки бортовых номеров в движении.

Системы технического зрения позволяют распознать инвентарный номер вагона в движении [14].

Альтернативой использованию бортов кузова в качестве метрической линейки может быть установка в точках контроля измерительных линеек как дополнительного оборудования.

ОБСУЖДЕНИЕ

Независимо от причины потери, объём и вес груза в вагоне уменьшается. При уменьшении объема сыпучего груза в вагоне в большинстве случаев груз проседает, и его уровень по отношению к верхним бортам кузова снижается. Пространство между поверхностью груза и плоскостью по верхней части бортов вагона (свободное пространство) увеличивается. Таким образом, увеличение свободного пространства может свидетельствовать о потере груза, а сопоставление объема свободного пространства в начале перевозки и объема свободного пространства в контрольной точке на выбранном этапе перевозки позволит зафиксировать факт потери и определить объем утраченного груза.

Использование изображений, полученных с камер фото- и видеофиксации, позволяет распознавать определенные объекты [3].

Методы фотограмметрии позволяют построить измеряемую модель загруженного полувагона [15].



В ночное время суток, при неблагоприятной погодной-климатической обстановке, и в других, сложных для получения четкого изображения условиях, а также при сокрытии в процессе транспортировки поверхности груза, например, снежным покровом, качество контроля сохранности грузов может значительно ухудшиться или вообще не представляться возможным.

Минимизировать влияние природных явлений и других внешних факторов на процесс получения достаточно четкого изображения и результат его обработки возможно с помощью дополнительных устройств, сооружений, технологий, обеспечивающих максимально равномерное освещение без жестких теней и бликов, выполнение съемки более высокого разрешения, защиту участка контроля от попадания осадков, а также и используя компьютерные программы, применяющие сверхразрешающий алгоритм распознавания изображения и сверточные нейронные сети.

Преимуществом использования метода обработки изображения с помощью сверточной нейронной сети и стереофотограмметрии является минимальное количество необходимого оборудования на железнодорожном пути, в основном видеонаблюдения, и отсутствие необходимости привлечения человека для обработки информации в процессе контроля сохранности грузов.

Предложенный метод позволяет увеличить вероятность обнаружения утраты груза в полувагоне до выдачи грузополучателю и автоматизировать рутинные операции за счет передачи функций выявления факта утраты от специалиста к интеллектуальному программно-компьютерному помощнику, основанному на распознавании утраты с помощью сверточной нейронной сети и стереофотограмметрии.

Использование предложенного метода решает проблему своевременного выявления, фотофиксации и оформления факта утраты насыпных и навалочных грузов. Решаются проблемы вовлечения сотрудников в процесс разбирательства, поиска ответственного, администрирования, потери времени и дополнительных затрат, снижения уровня клиентской удовлетворенности и накопительного отрицательного экономического эффекта. Данный метод может быть полезен средним и крупным предприятиям, осуществляющим перевозку и переработку грузовых потоков на железнодорожном транспорте.

Управление на транспорте всё больше переходит от эвристического к автоматизированному и интеллектуальному [16]. Интеллектуальная железная дорога представляет собой взаимосвязанную с цифровой экономической сложную технико-технологическую систему [17].

В современных экономических условиях, ориентированных на технологическое превосходство, и с учетом особенностей транспортной отрасли, нуждающейся в опережающем развитии, важным фактором является возможность диффузии и обслуживания внедряемых технологий [18].

Возможность реализации предложенного метода без установки дополнительного оборудования соответствует требованиям к инновационным технологиям на железнодорожном транспорте.

Дальнейшее развитие технологии контроля сохранности грузов в полувагонах с помощью стереофотограмметрии заключается в создании жизнеспособного продукта и реализации технологии в реальных условиях.

ВЫВОДЫ

Интеллектуализация контроля сохранности грузов и информационных процессов соответствует требованиям и является важнейшим направлением развития железнодорожного транспорта³ [19].

В результате настоящего исследования дано описание интеллектуальной компьютерно-программной структуры контроля сохранности насыпных и навалочных грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в открытых вагонах. Контроль сохранности грузов осуществляется в режиме реального времени с применением методов стереофотограмметрии. Функции визуального контроля переданы сверточной нейронной сети.

По результатам описания существующих методов контроля можно сделать вывод, что предложенный инструмент наиболее доступен по стоимости для транспортных компаний, не предполагает сложного процесса внедрения и не требует дополнительных навыков от персонала. Предложенный метод обладает более высокой степенью диффузии и скоростью распространения в транспортном производстве.

³ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (в ред. распоряжения Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р). – М.: Правительство РФ, 2021.

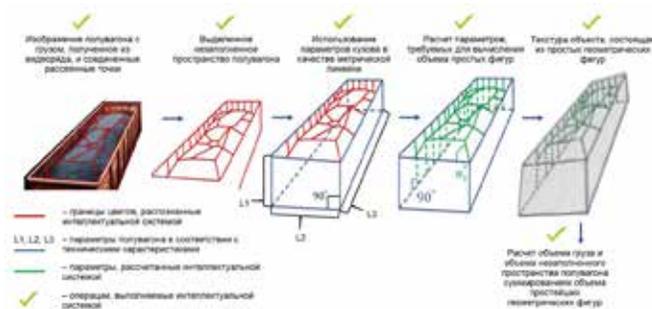


Рис 1. Обработка изображения интеллектуальной компьютерно-программной информационной системой в процессе определения незаполненного объема полувагона методом фотограмметрии [выполнено автором].

В процессе исследования решены задачи минимального использования различных видов оборудования и простоты эксплуатации инструмента контроля сохранности грузов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Смехов А. А., Малов А. Д., Островский А. М. и др. Грузоведение, сохранность и крепление грузов / Под ред. А. А. Смехова. – М.: Транспорт, 1989. – 247 с. ISBN 5-277-00365-7.
- Мальшев М. И. Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 4 (101). – С. 61–72. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-4-5.
- Zhou Yun, Yilin Pei, Ziwei Li, Liang Fang, Yu Zhao, Weijian Yi. Vehicle weight identification system for spatiotemporal load distribution on bridges based on non-contact machine vision technology and deep learning algorithms. *Measurement*, 2020, Vol. 159, 107801. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.107801.
- Баукин В. Г. Источники правового регулирования деятельности железнодорожного транспорта // Известия высших учебных заведений. Правоведение. – 2004. – № 2 (253). – С. 76–90. EDN: TKSREB.
- Чепурченко И. В., Носырев Д. Я., Коркина С. В. Использование теории оптимального проектирования для усовершенствования конструкции кузова глуходонного полувагона // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 3 (69). – С. 28–32. EDN: YASFVR.
- Pintão, B., Mosleh, A., Vale, C., Montenegro, P. A., Costa, P. A. Development and Validation of a Weigh-in-Motion Methodology for Railway Tracks. *Sensors*, 2022, Vol. 22, 1976. DOI: 10.3390/s22051976.
- Запускалов В. Г., Редькин В. И., Егиазарян А. В. [и др.] Патент № 2066282 С1 Российская Федерация, МПК В61К 9/02. устройство для контроля негабаритности груза подвижного состава: № 95113376/11: заявл. 28.07.1995: опубл. 10.09.1996 / заявитель Забайкальская железная дорога. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2066282C1_19960910. Доступ 04.09.2023.
- Бородин К. Роснефть внедряет тепловизионный мониторинг для увеличения загрузки цистерн с темными нефтепродуктами // Энергобюнос. – 2014. [Электронный ресурс]: <http://energo-news.ru/archives/120823>. Доступ 04.09.2023.
- Dhital, D., Lee, J. R. A fully non-contact ultrasonic propagation imaging system for closed surface crack evaluation. *Experimental mechanics*, 2012, Vol. 52, pp. 1111–1122. DOI: 10.1007/s11340-011-9567-z.
- Шилов И. Г. Система лазерного 3D измерения и расчёта объёма насыпного груза в периметре кузова самосвала LaseTVM // Золото и технологии. – 2017. – № 4 (38). – С. 56–57. EDN: YBMEDR.
- Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., Negreiros, J. Off-the-shelf laser scanning and close-range digital photogrammetry for measuring agricultural soils microrelief. *Biosystems engineering*, 2009, Vol. 103, Iss. 4, pp. 504–517. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.02.010.
- Bernardini, F., Rushmeier, H. *The 3D Model Acquisition Pipeline*. Computer Graphics Forum. Oxford, UK: Blackwell Publishers Ltd, 2002, Vol. 21, Iss. 2, pp. 149–172. DOI: 10.1111/1467-8659.00574.
- Грушин С. П., Сосновский И. А. Фотограмметрия в археологии-методика и перспективы // Теория и практика археологических исследований. – 2018. – № 1 (21). – С. 99–105. EDN: YSDASI.
- Вологовский С. Г., Казанский Н. Л., Попов С. Б., Хмелев Р. В. Система технического зрения для распознавания номеров железнодорожных цистерн с использованием модифицированного коррелятора в метрике Хаусдорфа // Компьютерная оптика. – 2005. – № 27. – С. 177–184. EDN: HYQGBZ.
- Михайлов А. П., Чибуничев А. Г. Фотограмметрия: Учебник / Под общ. ред. А. Г. Чибуничева. – М.: Изд-во МИИТаик, 2016. – 294 с. ISBN 978-5-91188-070-5.
- Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 6 (73). – С. 20–30. EDN: YTBSCN.
- Левин Б. А., Цветков В. Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 3 (76). – С. 50–61. EDN: XVYKXJ.
- Мальшев М. Управление распространением цифровых информационных технологий в транспортных системах // Логистика. – 2023. – № 1 (193). – С. 35–40. DOI: 10.54959/22197222_2023_01_35.
- Лапидус Б. М. О влиянии цифровизации и Индустрии 4.0 на перспективы развития железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2018. – № 1. – С. 1–8. EDN: YSLAKR. ●

Информация об авторе:

Мальшев Максим Игорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, dicorus@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.07.2023, одобрена после рецензирования 23.09.2023, принята к публикации 27.09.2023.

