

ПРОБЛЕМЫ ПУТЕВЫХ МАШИН НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Локтев А.А., Королев В.В., Шишкина И.В.
Российский университет транспорта, Москва

Ключевые слова: железнодорожный путь, переходная кривая, парк машин, путевые машины, наземно-транспортные средства.

Аннотация. В статье проанализированы актуальные проблемы, связанные с эксплуатацией специальных наземно-транспортных средств для железнодорожного транспорта. В качестве примера для решения одной из задач рассмотрено подъемно-рихтующее устройство электробалластера в контексте его движения по прямой или круговой кривой, когда его ось совпадает с осью пути. Перечислены аспекты для улучшения качества и надежности машин за счет ряда мероприятий, ориентированных на их техническое обслуживание, модернизацию и инновационное развитие.

PROBLEMS OF TRACK MACHINES IN RAILWAY TRANSPORT

Loktev A.A., Korolev V.V., Shishkina I.V.
Russian University of Transport, Moscow

Keywords: railway track, transition curve, vehicle fleet, track machines, ground transport vehicles.

Abstract. The article analyzes current problems associated with the operation of special ground vehicles for rail transport. As an example for solving one of the problems, the lifting and straightening device of the electric ballaster is considered in the context of its movement along a straight or circular curve, when its axis coincides with the axis of the track. Aspects for improving the quality and reliability of machines through a number of measures aimed at their maintenance, modernization and innovative development are listed.

В современной железнодорожной отрасли путевые машины играют ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности передвижения поездов. Эти машины предназначены для строительства, ремонта и обслуживания железнодорожных путей, что позволяет поддерживать инфраструктуру в идеальном состоянии. Однако, за последние годы, отрасль столкнулась с рядом проблем, связанных как с эксплуатацией, так и с модернизацией этих специализированных машин.

Проблемы, с которыми сталкивается отрасль, многообразны и включают в себя износ оборудования, высокие затраты на обслуживание, нехватку квалифицированных специалистов и необходимость внедрения новых технологий. Эти факторы влияют не только на эффективность работы путевых машин, но и на безопасность железнодорожного транспорта в целом. Решение данных проблем потребует скоординированных усилий со стороны производителей оборудования, железнодорожных компаний и государственных регуляторов.

Анализ современных проблем в области путевых машин для железнодорожного транспорта выявляет ряд ключевых аспектов, требующих внимания [1]. Одной из основных задач является обеспечение высокого уровня безопасности движения. Путевые машины должны не только поддерживать

железнодорожное полотно в идеальном состоянии, но и предупреждать возможные аварии. Для этого необходимо оснащение машин современными системами контроля и диагностики, которые способны своевременно выявлять дефекты пути.

Эксплуатация путевых машин связана с рядом специфических трудностей. К таким трудностям относятся технические неисправности из-за высоких нагрузок и износа материалов, необходимость в постоянной модернизации для соответствия современным требованиям безопасности и эффективности. Сложность обслуживания и ремонта, а также нехватка квалифицированных специалистов усугубляют проблему [2].

Вдобавок, эксплуатационные расходы путевых машин составляют значительную часть бюджетов железнодорожных компаний. Расходы на топливо, запасные части, обслуживание и ремонт требуют эффективного управления и оптимизации. В условиях ограниченных ресурсов поиск баланса между стоимостью эксплуатации и уровнем безопасности становится особенно актуальным.

Проблема обновления парка путевых машин и внедрения новых технологий также стоит достаточно остро. Новые технологические решения позволяют значительно повысить эффективность и безопасность работ по обслуживанию пути, но их внедрение требует значительных капиталовложений [3]. Железнодорожные компании сталкиваются с необходимостью выбора между дорогостоящим обновлением парка и продолжением использования устаревшего оборудования, что сопряжено с рисками для безопасности и надежности транспортного процесса.

Также, необходимо учитывать увеличение требований к экологической безопасности. Эксплуатация путевых машин, особенно старых моделей, вносит существенный вклад в общее загрязнение окружающей среды. Это вынуждает производителей и операторов искать новые решения для снижения уровня выбросов и шума [4].

Другой проблемой является недостаточная адаптация к современным технологиям (рис. 1). Многие путевые машины не оснащены передовыми системами управления и диагностики, которые могли бы повысить их эффективность и безопасность эксплуатации. Отсутствие таких систем делает их менее способными к точной и своевременной диагностике неисправностей, а также к эффективному планированию и выполнению ремонтных работ [5, 6].

Кроме того, существует проблема совместимости с современными железнодорожными путями, многие из которых оборудованы высокотехнологичными системами управления движением. Путевые машины, не соответствующие последним стандартам техники безопасности и эффективности, могут стать причиной снижения производительности работ и увеличения риска аварийных ситуаций.

Также следует отметить влияние технических недостатков на условия труда операторов путевых машин. Ненадлежащее техническое состояние оборудования не только увеличивает физические и психологические нагрузки на работников, но и повышает риск возникновения рабочих травм и профессиональных заболеваний.

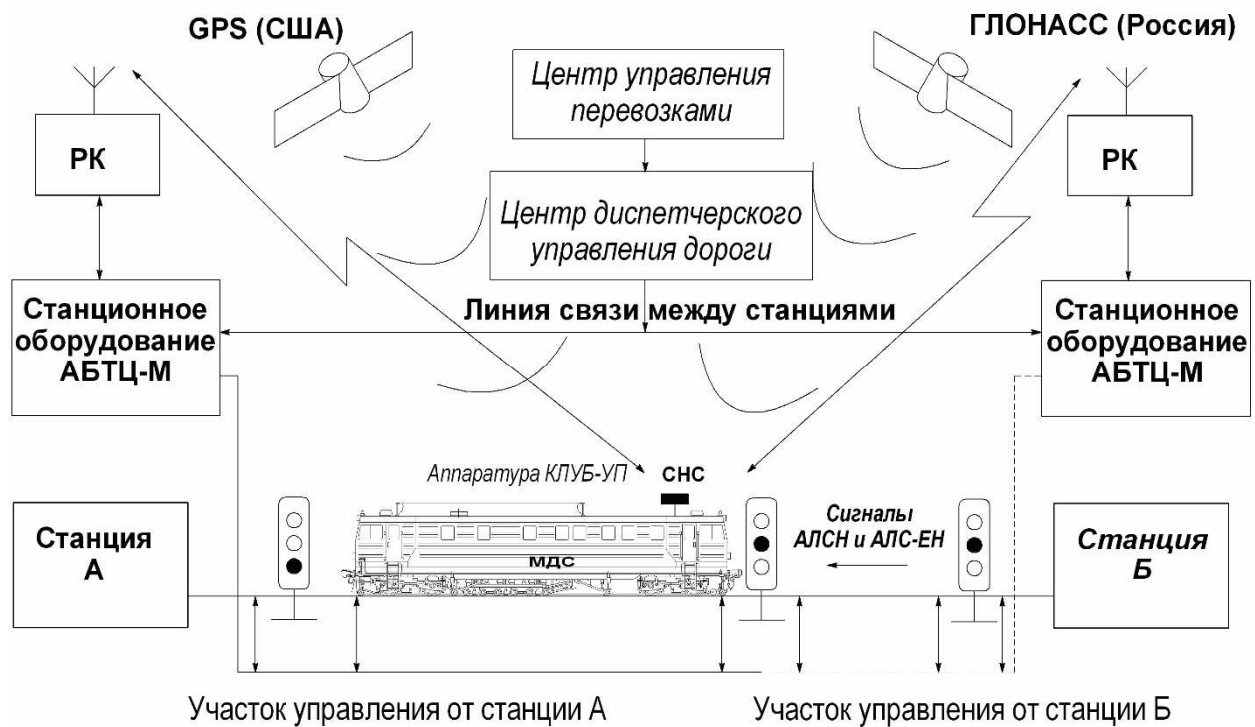


Рис. 1. Использование спутниковых навигационных систем обеспечения безопасности движения поездов: АБТЦ-М – система автоблокировки с централизованным размещением аппаратуры, тональными рельсовыми цепями и дублирующими каналами передачи данных (предназначена для обращения грузовых, пассажирских и высокоскоростных поездов); РК – цифровой радиоканал; АЛСН и АЛС-ЕН – автоматическая локомотивная система непрерывного тона и многозначная АЛ

В современном мире железнодорожный транспорт продолжает занимать ключевую позицию в транспортной системе многих стран, обеспечивая эффективное и экономичное перемещение больших объемов грузов и пассажиров. Это становится возможным благодаря непрерывному развитию и совершенствованию путевых машин, осуществляющих строительство, ремонт и обслуживание железнодорожного полотна. Перспективы развития в данной области тесно связаны со многими современными тенденциями, среди которых выделяются усилия по повышению эффективности, автоматизации процессов и сокращению воздействия на окружающую среду.

Для улучшения одной из таких эффективностей было рассмотрено подъемно-рихтующее устройство (ПРУ) электробалластера в контексте его движения по прямой или круговой кривой, когда его ось совпадает с осью пути. Важно отметить, что при подъемке пути на круговой кривой происходит его смещение внутрь кривизны, поскольку в кривых наружная рельсовая нить расположена выше внутренней [7]. В результате подъемка пути ПРУ осуществляется по наклонной плоскости ab (рис. 2, a), а затем, после прохождения машины, рельсошпальная решетка (РШР) опускается по вертикали bc .

В результате этого происходит смещение оси пути на величину:

$$e_h = H \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где H – величина подъемки пути, мм; α – угол наклона пути к горизонту, град.

Для малых углов наклона пути к горизонту можно принять $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$, тогда $\sin \alpha = h / S_1$, а формулу (1) записать в виде:

$$e_h = hH / S_1, \quad (2)$$

где h – высота возвышения наружной рельсовой нити в кривой, мм; S_1 – расстояние между осями рельсовых нитей, равное 1600 мм.

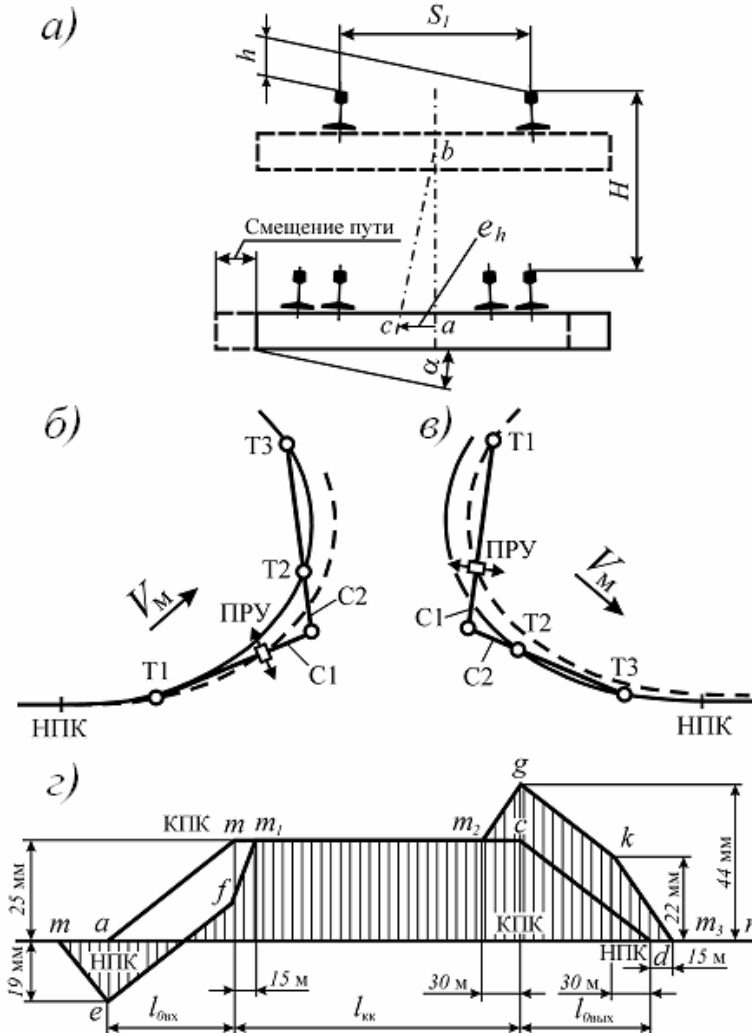


Рис. 2. Смещения пути при прохождении электробалластером: а) – круговой кривой: h – возвышение наружной рельсовой нити; H – высота подъемки пути; S_1 – расстояние между осями рельсовых нитей; α – угол наклона РШР к горизонту; б), в) – входной и выходной переходных кривых: $C1$, $C2$ – рабочая и направляющая секции; $T1$, $T2$, $T3$ – ходовые тележки; ПРУ – подъемно-рихтующее устройство; НПК – начало переходной кривой; г) – графики смещений подъемно-рихтующего устройства с оси пути: $L_{0вх}$, $L_{кк}$, $L_{0вых}$ – длины входной ПК, круговой кривой и выходной ПК; КПК – конец переходной кривой

Например, при $H = 400$ мм и $h = 150$ мм величина смещения оси пути в круговой кривой составляет $e = 37,5$ мм. Чтобы в процессе подъемки пути на круговой кривой не происходило смещение его внутрь кривой, необходимо при въезде на нее сместить механизм сдвига на величину e_h наружу кривой. Если не вводить корректировку в положение ПРУ на кривой, то при движении рабочей секции по поднятому пути, величина смещения накапливается и возрастает до величины $e = 1,5 e_h$. Для приведенного примера смещение достигает $e_h \sim 60$ мм.

На переходных кривых (ПК), где радиус кривизны непрерывно изменяется от $\rho = \infty$ в начале переходной кривой (НПК) до $\rho = R$ на круговой кривой в точке конца переходной кривой (КПК), ось ПРУ не совпадает с осью пути. Вследствие этого при движении машины по ПК в направлении от НПК к КПК (входная ПК) подъемное устройство располагается снаружи кривой (рис. 2, б), а при движении машины по ПК от КПК к НПК (выходная ПК) подъемное устройство располагается внутри кривой (рис. 2, в). На схемах рисунках 2, б, в кривыми линиями показаны входные и выходные переходные кривые, а прямыми линиями секции электробалластер (ЭЛБ): С1 – рабочая и С2 – направляющая. Ходовые тележки обозначены Т1, Т2, Т3. Величина смещения $e_{\text{вх(вых)}}$ подъемного устройства с оси пути для входной и выходной ПК (балластер полностью находится на переходной кривой) равны между собой и для современных электробалластеров находятся по формуле, мм

$$e_{\text{вх(вых)}} = 1148(Rl_0) \cdot 1000, \quad (3)$$

где R – радиус круговой кривой, м; l_0 – длина переходной кривой, м.

Смещение по формуле (3) зависит только от величины радиуса круговой кривой, которую данная переходная кривая сопрягает с прямой, и длины переходной кривой. Существенное отличие смещения ПРУ на входной ПК от выходной заключается в том, что смещение на входной ПК направлено наружу кривой, а на выходной оно направлено внутрь кривой. При проходе сопряжений пути (НПК, КПК и др.) величины смещений непрерывно изменяются. Так, при въезде ЭЛБ на переходную кривую (рис. 2, б) смещение подъемного устройства с оси пути начинается еще на прямой перед НПК. В точке расположения на расстоянии, кратном 7,55 м перед НПК, смещение уже достигает половины того смещения, которое имеет место на ПК. При выходе машины с переходной кривой на прямую смещение уменьшается еще в пределах ПК, и в точке НПК оно уже практически равно нулю, однако полный проход сопряжения завершается на расстоянии 15 м за точкой НПК. Величину смещений при проходе сопряжений можно найти по методике.

При проходе сопряжения «прямая – круговая кривая» максимальное смещение ПРУ с оси пути $e_p = l^2 / (16R) \cdot 1000$, мм (где l – расстояние между ходовыми тележками Т2 и Т3, м; R – радиус круговой кривой, м).

Поскольку на ПК смещение ПРУ электробалластера с оси пути происходит по двум причинам: во-первых, из-за непрерывного изменения кривизны пути $e_{\text{вх(вых)}}$ и, во-вторых, из-за наличия возвышения наружного рельса e_h , суммарное смещение

$$e = e_h \pm e_{\text{вх(вых)}}, \quad (4)$$

где знак «–» относится к входной ПК, где $e_{\text{вх(вых)}}$ направлено наружу кривой, а знак «+» относится к выходной ПК, при $e_{\text{вх(вых)}}$ направленном также, как и e_h внутрь кривой.

Суммарный график смещений e ПРУ для кривой $R = 600$ м, $l_0 = 100$ м и $h = 100$ мм приведен на рисунке 2, г. На оси графика в продольном масштабе 1:200 (5 мм – 10 м) отложены $l_{0\text{вх}}$ и $l_{0\text{вых}}$ (точки НПК и КПК). Поскольку на круговой кривой ПРУ смещается на $e_h = hN / S_1 = 100 \cdot 400 / 1600 = 25$ мм внутрь

кривой, то в точках КПК в масштабе 1:1 отложены вверх точки b и c на расстоянии 25 мм от горизонтальной линии $m-d$, затем прямыми линиями соединены точки a, b, c, d . Ординаты полученной трапеции отражают величины смещения наружной рельсовой нити. На ПК смещение меняется также, как и возвышение, по закону прямой наклонной линии, а на КК оно остается постоянным. Смещение подъемного устройства на ПК для принятых значений находим по формуле (2): $e_{ex(былх)} = 1148(600 \cdot 100) \cdot 1000 = 19$ мм. На входной ПК смещение направлено наружу кривой и начинается на расстоянии примерно 30 м перед НПК и достигает почти полного значения $e_{ex(былх)}$. При выходе на КК смещение продолжается после КПК на расстоянии 15 м. На графике от НПК в масштабе отложено расстояние начального смещения пути – точка m , в самой точке НПК отложена ордината ae смещения $e_{ex(былх)} = 19$ мм в масштабе 1:1. Из точки e проводим линию, параллельную ab (в целях суммирования графиков) до точки f , расположенной на расстоянии 15 м за точкой НПК, и соединяем точки f и m_1 прямой. Аналогично производится построение графика $e_{ex(вых)}$ и для выходной ПК. Здесь учитывается, что смещение $e_{ex(былх)}$ направлено внутрь колеи и отображается графиком m_2, g, k, m_3, a, c , наложенным на график смещений e_h . Ординаты заштрихованной площади графика, относительно горизонтальной линии $m-n$, представляют собой суммарные ординаты $e = e_h \pm e_{ex(былх)}$. Из графика видно, что в рассматриваемом конкретном примере практически можно на протяжении входной переходной кривой не вносить коррективы в положение ПРУ на машине, так как смещение его не превышает 19 мм. Но перед выездом на круговую кривую необходимо этот механизм сместить относительно продольной оси машины наружу кривой на 25 мм, затем при подходе к КПК это смещение увеличить до 44 мм и затем на протяжении всей выходной ПК уменьшить смещение до 19 мм перед НПК, а в самой точке НПК, смещение свести до нуля. Если такое смещение ПРУ относительно продольной оси машины не выполнить, то на протяжении всей круговой кривой путь сместится внутрь на 40 мм, а в конце ее на 60 мм. Описанный процесс управления смещением ПРУ на рабочем ходу электробалластера – трудно выполняемая задача. Современные электробалластеры оснащаются контрольно-измерительной системой рихтовки пути, что упрощает управление в ручном режиме, а также дает возможность реализовать автоматизированные методы работы по расчету с предварительной записью положения пути в плане.

Одним из основных направлений развития путевых машин является увеличение их производительности и многофункциональности. Современные путевые машины становятся комплексами, способными выполнять несколько видов работ в автоматическом режиме. Интеграция дополнительных функций и систем обработки данных позволяет значительно уменьшить время на строительство и ремонт путей, а также сократить количество необходимой техники и рабочего персонала на участке работы. Такое развитие способствует не только экономии ресурсов, но и повышению безопасности железнодорожного транспорта за счет более качественного и своевременного обслуживания путей [8].

Автоматизация управления путевыми машинами становится еще одной ключевой тенденцией. Применение систем дистанционного управления и искусственного интеллекта позволяет значительно повысить точность и качество выполнения работ, уменьшить человеческий фактор и, как следствие, минимизировать вероятность ошибок и несчастных случаев. По мере внедрения автоматических систем управления, машины смогут самостоятельно анализировать состояние железнодорожного полотна, обнаруживать дефекты и предлагать оптимальные способы их устранения [9].

Технологические инновации также расширяют возможности по обучению и подготовке специалистов [10]. Современные симуляторы и виртуальная реальность позволяют кадрам пройти обучение и наработать практические навыки в безопасной и контролируемой среде, что является ключевым для предотвращения ошибок в будущем.

Таким образом, перспективы развития путевых машин для железнодорожного транспорта обещают значительное повышение производительности, безопасности и экологической эффективности. Учитывая текущие тенденции, можно предположить, что будущее индустрии будет сфокусировано на дальнейшей автоматизации и интеграции новейших технологических разработок, призванных облегчить и улучшить процессы обслуживания и эксплуатации железнодорожных путей.

Для обеспечения эффективности и безопасности железнодорожного транспорта крайне важно поддерживать путевые машины в оптимальном техническом состоянии. Улучшение качества и надежности этих машин возможно за счет ряда мероприятий, которые ориентированы на их техническое обслуживание, модернизацию и инновационное развитие. Важно уделить внимание следующим аспектам.

Первое и основное – это усиление контроля за техническим обслуживанием и ремонтами. Организации, использующие путевые машины, должны строго соблюдать графики технических осмотров и ремонтных работ, предписанные производителями. Разработка усовершенствованных систем диагностики, позволяющих своевременно выявлять неисправности и изнашивание компонентов, существенно повысит производительность и надежность машин. Внедрение технологий дистанционного мониторинга состояния машин позволит оперативно реагировать на возникающие проблемы, минимизируя время их простоя.

Второй важный аспект – это модернизация существующего парка путевых машин. Учитывая постоянное развитие технологий, необходимо регулярно обновлять оборудование, внедряя в машины новые функции и улучшения. Это могут быть усовершенствованные системы управления и навигации, более эффективные и экологичные двигатели, передовые материалы для увеличения долговечности и снижения рабочего износа. Особенное внимание следует уделить повышению энергоэффективности машин, что не только снизит затраты на топливо, но и сократит влияние на окружающую среду.

Третий направляющий пункт – обучение персонала. Для максимальной эффективности и надежности путевых машин необходим

высококвалифицированный персонал, имеющий глубокие знания и навыки в области эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. Организация регулярного обучения и повышения квалификации специалистов, а также разведение программы менторства и обмена опытом внутри и между предприятиями значительно увеличат эффективность работы путевых машин.

Четвертое – внедрение инноваций и исследовательская деятельность. Инвестирование в научные исследования и разработку новых технологий в сфере путевых машин способствует повышению их качества и надежности. Сотрудничество с учебными и научно-исследовательскими учреждениями позволит привлекать в проекты молодых специалистов и инновационные идеи, что, в свою очередь, приведет к созданию более совершенных и адаптированных к современным условиям машин.

Пятое – улучшение логистики запасных частей. Оптимизация процессов поставки запасных частей и компонентов сыграет значительную роль в поддержании бесперебойной работы путевых машин. Создание централизованных складов и использование IT-технологий для управления запасами обеспечит оперативный доступ к необходимым материалам, сократит время на ремонт и техническое обслуживание.

В заключение, современные проблемы в области путевых машин для железнодорожного транспорта многогранны и требуют комплексного подхода к их решению. Важными направлениями являются обновление парка машин, внедрение новых технологий, повышение квалификации персонала, а также оптимизация эксплуатационных расходов и снижение экологического воздействия. Это потребует значительных усилий со стороны государства, железнодорожных операторов и производителей путевого оборудования.

Комплексный подход к улучшению качества и надежности путевых машин, включая строгое соблюдение графиков обслуживания, модернизацию парка, подготовку квалифицированного персонала, внедрение инноваций и оптимизацию логистических процессов, позволит значительно увеличить эффективность работы железнодорожного транспорта, снижать операционные риски и способствовать повышению общей безопасности на железнодорожном транспорте.

Список литературы

1. Кравникова А.П. Осуществление деятельности предприятия по техническому обслуживанию и ремонту специального подвижного состава: Учебное пособие. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. – 104 с.
2. Фокин С.В., Бунаков П.Ю. Надежность работы железнодорожных путевых машин: проблемы и пути решения // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2014. – Т. 4, № 1. – С. 57-60.
3. Юсупов Т.Р., Шайдуллин Р.Р., Елизарьев А.Н. Статистический анализ причин аварийности на железнодорожном транспорте // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2015. – № 12-1. – С. 189-192.
4. Колоев К.В., Потапова С.О. Экологические аспекты железнодорожного транспорта // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1, № 9. – С. 410-417.
5. Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: Труды XXIV Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 25-27 ноября 2020 года. Том 1. –

Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Иркутский государственный университет путей сообщения", 2020. – 240 с.

6. Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 03 ноября 2022 года. Том 1. – Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Иркутский государственный университет путей сообщения", 2022. – 253 с.
7. Фокин С.В. Контроль качества уплотнения балласта: обзор исследований // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 4. – С. 292-302. – DOI: 10.36652/0042-4633-2023-102-4-292-302.
8. Фокин С.В., Бучкин С.М. Обработка сигнала тахометра путевой машины // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2015. – № 2(30). – С. 66-71.
9. Локтев А.А., Локтев Д.А., Королев В.В., Кузнецов А.А. Алгоритм определения параметров основания зданий и сооружений с помощью обработки георадиолокационных изображений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. – № 4. – С. 11-17. – DOI: 10.25791/prigor.4.2022.1331.
10. Локтев Д.А., Локтев А.А., Королев В.В., Меркелов М.В. Метод стабилизации видео с использованием параметров движения транспортного средства // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2024. – № 7. – С. 28-36.

Сведения об авторах:

Локтев Алексей Алексеевич – д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство»;

Королев Вадим Вадимович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспортное строительство»;

Шишкина Ирина Викторовна – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспортное строительство».