

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БАЛЛАСТА, РЕЛЬСОВ И ШПАЛ НА ОСНОВЕ МОДЕРНИЗИРУЕМОГО СПЕЦИАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА



В.П. Сычев



А.А. Локтев

Обосновывается и приводится техническое решение по созданию информационно - управляющей системы перемещения балласта, рельсов и шпал на основе эксплуатируемого специального подвижного состава. Даны требования к его модернизации с целью их применимости в этой системе.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, балласт, рельсы, шпалы, железнодорожный путь

EDN: HRVEZE

При выполнении работ по текущему содержанию и ремонтам пути требуется выполнять большой объем работ по выгрузке и укладке балласта в путь. Выявленные отклонения от норм содержания рельсовой колеи устраняются, причем для этих целей используется балласт, который либо подсыпают в места отклонений, либо предварительно вырезают. Оптимальное расходование балласта является одной из приоритетных задач путевого хозяйства [1;2]. Проводить оптимизацию расходования балласта при использовании ныне эксплуатируемого специального подвижного состава (СПС) затруднительно. В

общем виде технология технического обслуживания железнодорожного пути может быть разделена на следующие взаимоувязанные операции: измерение геометрических очертаний рельсовой нити, перемещение рельсовых нитей и/или шпал в горизонтальной и вертикальной плоскостях, выправка и рихтовка, регулировка стыковых зазоров подъемка рельсовой нити: подсыпка или уборка излишнего балласта с поверхности балластной призмы и из-под подошвы рельсов, восстановление формы (оправка) балластной призмы, «прогροхотка» щебня в местах выплесков и т.п.

Сычев Вячеслав Петрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: создание новых технологий и технических средств для повышения эффективности технического обслуживания железнодорожного пути. Автор 155 научных работ. Имеет 20 патентов на изобретения.

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 187 научных работ, в том числе трех монографий.

Сычев Петр Вячеславович, кандидат технических наук, начальник отдела ООО «ВАГОНПУТЬМАШ». Область научных интересов: математическое моделирование и автоматизация технологических процессов и технических средств преимущественно для технического обслуживания железнодорожного пути. Автор 55 научных работ. Имеет 10 патентов на изобретения.

Цель исследования

Автоматизация процессов восстановления рельсовой колеи до нормативных значений ее содержания; создание информационно-управляющей системы перемещения балласта, рельсов и шпал первого этапа на основе модернизации эксплуатируемых технических средств.

Методы исследования

Выбор направлений и тенденций создания систем сплошного контроля рельсовой колеи на основе проводимого анализа отечественных и зарубежных средств диагностики показал, что наиболее используемыми ОАО «РЖД» являются следующие технические средства: путеизмерительные тележки; вагоны-путеизмерители типа КВЛ-П и ЦНИИ-4 разных модификаций; дефектоскопно-путеизмерительные автотрисы; диагностические комплексы контроля инфраструктуры «ЭРА» и «ИНТЕГРАЛ»; автоматические путеизмерительные модули на подвижном составе и др. [3–5]. Все эти средства оценивают геометрические отклонения рельсовой колеи в сечениях железнодорожного пути. Нормы содержания железнодорожного пути устанавливают допускаемые отступления геометрических параметров рельсовой колеи от нулевой линии. Превышение отступлений выше установленной нормы считают неисправностью железнодорожного пути, которая подлежит плановому или немедленному устранению.

Технологический процесс по устранению выявленных неисправностей пути в плане, продольном профиле и по уровню заключается в перемещении рельсовых нитей по уровню и в плане (выправка, рихтовка, подъемка) и подсыпке на путь или удалении с пути балласта с использованием соответствующих устройств, грузовых вагонов по перемещению балласта и путевых машин, в частности, выправочно-рихтовочных машин типа ВПР.

На рис. 1 приведены геометрические очертания рельсовых нитей, измеряемые перечисленными выше

техническими средствами. На рис. 1,а приведена запись очертаний рельсовой колеи по уровню с пороговыми значениями норм содержания 20, 40 и 60 мм относительно нулевой линии, соответствующие второй, третьей и четвертой степеням отступлений. На рис. 1,б дана стилизованная запись $A(L)$ случайного процесса очертаний рельсовых нитей по уровню с нелинейным преобразованием $A \rightarrow 1(A-C)$ с детектором по C , соответствующим одному из степеней отступлений от норм содержания пути. Проведенный анализ технических возможностей вагонов-путеизмерителей, эксплуатируемых на железных дорогах России показывает, что наиболее подготовлен к автоматизации вагон-путеизмеритель ВПС ЦНИИ 4 [6;7]. Перемещение балласта, выгрузка и распределение на пути осуществляется с помощью специального подвижного состава, хоппер-дозаторов. Анализ их эксплуатации показал, что хоппер-дозаторы модели ЦНИИ ДВЗ М неприменимы для решения задачи автоматизации процессов распределения балласта по причине отсутствия возможности порционной выгрузки. Хоппер-дозатор модели ВПМ 770 пригоден для применения в системе автоматизации технического обслуживания [8].

Выправочно-подбивочно-отделочные работы на железных дорогах России выполняются машинами отечественного, зарубежного или совместного производства: ВПР-02 М, ВПРС-02, ВПРС-03: ВПРС-05, ВПР-04, Unimat, ПМА-1, ПМА-С, «Duomatic 09-32 CSM», «Dynamic Stophexpress 09-3X» и др. Распределение балласта осуществляется специальными вагонами грузового типа, преимущественно хоппер-дозаторами. На этих машинах установлены микропроцессорные системы управления (МС выправки), рассчитывающие стрелы изгиба рельсовой колеи по известным [9;10] алгоритмам, реализованным программным обеспечением. Наиболее известные и применяемые в алгоритмах методы расчета выправки кривых: метод разности эвольвент и метод последовательных приближений, который наиболее применим

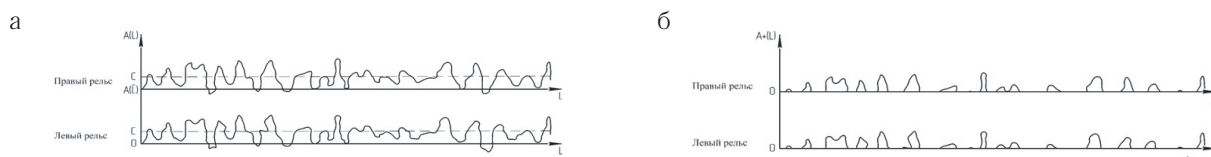


Рис. 1. Геометрические очертания рельсовых нитей

на практике. Метод последовательных приближений заключается в том, что при сдвиге пути в точке n стрела в этой точке изменяется на величину сдвижки, а в соседних точках $n-1$ и $n+1$ — на половину величины сдвижки в точке n .

Зависимость величин рассчитываемых стрел F_n в точке n от реально измеренных стрел f_n в точке n и сдвигов в смежных точках C_{n-1} , C_{n+1}

$$F_n = f_n + C_n - \frac{C_{n-1} + C_{n+1}}{2}. \quad (1)$$

Алгоритм следующий: в каждом сечении пути рассчитываются величины смещения в вертикальной и горизонтальной плоскости и сравниваются со значениями стрелы изгиба, установленными проектом.

МС выправки пути применяется при измерении фактического положения пути в плане, продольном и поперечном профиле; в расчетах координат эксплуатируемого пути в плане и профиле со стрелами изгиба асимметричных хорд СПС; при оптимизации пути в плане с учетом требований и ограничений в том числе по условиям эксплуатации; при управлении выправочно-подбивочно-риховочными работами с постановкой пути в заданное положение в плане, профилю в системе технического обслуживания и ремонтов железнодорожного пути; формированию и сопровождению баз данных по плану и профилю пути, оценку возвышения наружного рельса, фактических и допускаемых скоростей движения при паспортизации железнодорожного пути и обмену данными с другими подсистемами АСУ путевого хозяйства на разных уровнях управления. К числу недостатков можно отнести применение метода сглаживания, который снижает точность выправки.

Для устранения этого недостатка применяется следующий алгоритм. Измеряются стрелы изгиба (прогиба) пути относительно неподвижных координат, а выправку пути проводят по результату сравнения этого положения пути в пространстве, измерения стрел изгиба (прогиба) пути и возвышения одного рельса относительно другого. Информация накапливается на всем протяжении измеряемого участка пути, подлежащего выправке, а затем расчетным путем определяется положение пути в пространстве относительно неподвижных координат (начала и конца работы СПС).

Система линейных уравнений сглаженных значений выглядит следующим образом [9; 11].

$$q_1 = [1 - a/s] y_0 + y_1 - ay_3/s$$

$$q_2 = [1 - a/s] y_1 + y_2 - ay_4/s$$

$$\dots\dots\dots (2)$$

$$q_i = [1 - a/s] y_{i-1} + y_i - ay_{i+2}/s$$

$$\dots\dots\dots$$

$$q_n = [1 - a/s] y_{n-1} + y_n - ay_{n+2}/s,$$

где q_i — сглаженные значения стрелы в i -й точке; y_i — ордината неровности пути в i -й точке; y_{i-1} — ордината неровности пути, измеренная от задней концевой тележки; y_{i+2} — ордината неровности пути, измеренная от передней концевой тележки.

Ординаты вычисляются решением дифференциального уравнения:

$$\pm \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{1 + \left[\frac{dy}{dx} \right]^2}} = \frac{M(x)}{EJ}, \quad (3)$$

где x — текущее значение координаты; y — ордината неровности в точке « x »; $M(x)$ — изгибающий момент в точке « x »; EJ — жесткость путевой решетки.

Зависимость результатов решения от фактического положения пути в этом случае отсутствует.

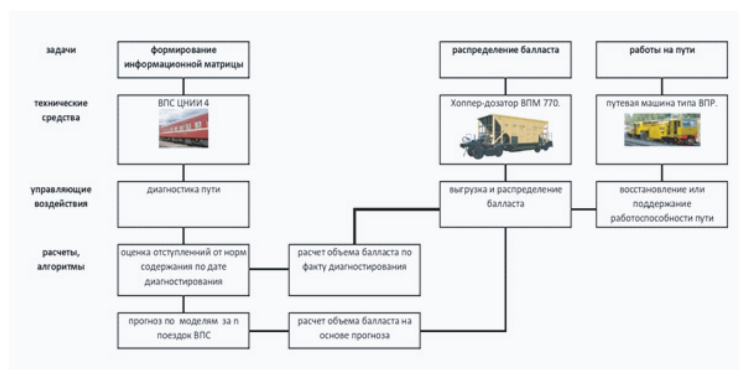
Таким образом, при использовании описанного выше алгоритма стандартная микропроцессорная система, устанавливаемая на выправочно-подбивочно-риховочные машины, может быть применена для автоматизации распределения балласта и перемещения рельсов.

На основе имеющихся на железных дорогах технических средств предлагается создать информационно-управляющую систему распределения и перемещения балласта, шпал и рельсов (ИУС) и сформировать первоочередные задачи ИУС, которые в схематичном виде представлены на рис. 2.

Результаты исследования

Разработаны требования к техническому обеспечению системы.

Система состоит из блоков управления рабочими органами (БУ), управляемыми по радиоканалу [12]. На каждом СПС установлены стационарные БУ, причем руководителю работ, обслуживающему СПС дополнительно выдаются переносной (ППУ) и дополнительный пульты управления (ДПУ). Конструкция системы обеспечивает ее работоспособность в условиях радиопомех от контактной сети в радиусе 300 м. БУ принимает радиосигналы от ППУ и ДПУ и управляет соответствующими электромагнитными клапанами, установленными на СПС. К БУ подключается датчик ГЛОНАСС, от которого сигнал о координатах



*Рис. 2. Первичные задачи ИУС
перемещения балласта, шпал и рельсов*

СПС передается на ДПУ. Для электропитания БУ и ДПУ применяются типовые аккумуляторные батареи (АКБ) напряжением 24 В.

Обеспечивается возможность управления с ППУ как одной СПС, так и одновременно несколькими, задействованными в технологическом процессе ремонта пути. ДПУ подключается к персональному компьютеру (ПК) для компьютеризированного управления открытием клапанов и оснащен выносной антенной для двусторонней связи с БУ. Число одновременно управляемых единиц СПС — до 20.

Таким образом, ИУС содержит ряд функциональных модулей: измерение состояния железнодорожного пути (на базе ВПС ЦНИИ 4); распределение балласта на пути (хоппер-дозатор ВПМ 770); управление воздействием на путь путевыми машинами, реализующими комплексы технологических задач. К ним относятся: восстановления балластной призмы, постановка пути в проектное положение, замена загрязненного балласта на чистый, устранения отступлений от норм содержания рельсовой колес, замены шпал, изменение радиуса кривой, смещение рельсовых нитей, и т.д. К числу таких модулей можно отнести: модуль выработки управляющих воздействий на перемещение балласта железнодорожного пути; модуль выработки управляющих воздействий на перемещение рельсовых нитей и шпал; модуль, определяющий местоположение системы и формирующий цифровую карту участка железнодорожного пути.

ИУС содержит вычислительный комплекс, связанный каналами информационного обмена с системой обратной связи с производственными модулями: модулем измерения геометрических очертаний балластной призмы и системой информационно-управляемых блоков. Назначение этих блоков: преобразование сигналов от измерительных механизмов и сравнение результатов измерений, превышающих

пороговые значения и их ранжирование по числовым и качественным критериям; формирование информационной матрицы неисправностей пути и их местоположения, подлежащих немедленному и плановому устранению путем перемещения рельсовых нитей, шпал и балласта и матрицы неисправностей, расчет величин перемещений рельсовых нитей и шпал, объема перемещаемого балласта. Блоки двусторонне связаны между собой через коммутатор и блоками выработки управляющих воздействий на механизмы модуля перемещения балласта и управляющих воздействий на механизмы модуля перемещения рельсовых нитей и шпал, контроля измененного положения рельсовых нитей и перемещенного объема балласта на соответствие заданным значениям нормативно-справочной информации. Коммутатор выполнен как перекрестный переключатель с диодными ограничителями. Перемещение рельсовых нитей осуществляется совместно со шпалами, на которые рельсовые нити опираются, а модуль перемещения балласта содержит механизмы и устройства выгрузки и укладки балласта на железнодорожный путь, рыхления, уплотнения балласта, удаления балласта с железнодорожного пути.

В настоящее время производственные модули установлены на трех видах СПС, эксплуатируемых по своему функциональному назначению (путеизмерительная станция ВПС, хоппер-дозатор ВПМ 770 и путевая машина типа ВПР). Однако в перспективе производственные модули будут установлены на одну раму одного транспортного средства с разделением их по функциональному назначению, а именно: измерение, перемещение балласта, перемещение рельсов и шпал.

Блоки работают автономно, а выполнение технологических операций осуществляется с разделением времени. БУ соединены с пультом, позволяющим дис-

танционно управлять производственными модулями. Каждый из производственных модулей состоит из нескольких устройств, объединенных общим интерфейсом, например, модуль перемещения балласта состоит из устройств: выгрузки и укладки балласта на путь, удаления излишков балласта с пути, вырезки загрязненного балласта.

На рис. 3 приведена блок-схема ИУС.

ИУС работает следующим образом. Измерительный модуль 3 осуществляет измерение геометрических очертаний рельсовых нитей, как показано на рис. 4а, например по уровню. На рис. 4,б даны результаты измерений после работы ИУС. На рис. 4 нулевая линия положения рельсовых нитей 0, а C_1 и C_2 — пороговые значения, устанавливаемые нормативными документами как отступления от норм содержания рельсовой колеи. V_1 и V_2 , Π_1 и Π_2 — выбросы за

эталонные значения, которые подлежат плановому или немедленному устранению и считаются неисправностями пути, отфильтрованные по видам технологических операций по удалению излишков балласта, так называемой вырезки балласта V_1 и V_2 и подсыпке балласта Π_1 и Π_2 для приведения состояние пути к эталонным значениям [13–15].

Объем подсыпаемого или вырезаемого балласта рассчитывается, как произведение площади криволинейного участка (см. рис. 4), превышающего пороговые значения V_i и Π_i на длине неровности пути, соответствующей расстоянию между шпалами с экспериментально полученными коэффициентами. Датчик местоположения 1 связан блоком формирования цифровой карты контролируемого железнодорожного пути 2 и конструктивно выполнен в виде активных антенн, установленных на производственные модули,

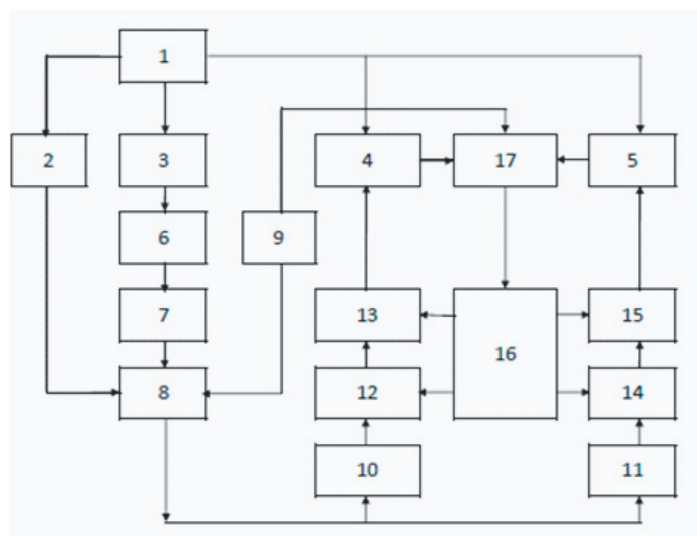


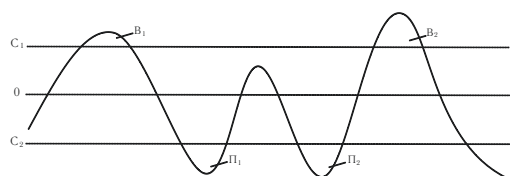
Рис. 3. Блок-схема ИУС:

1 – датчик местоположения; 2 – блок цифровой карты контролируемого железнодорожного пути; 3 – измерительный модуль; 4 – модуль выработки управляющих воздействий по перемещению рельсов и шпал; 5 – модуль выработки управляющих воздействий по перемещению балласта; 6 – блок преобразования сигналов от механизмов измерения; 7 – блок сравнения измеренных величин с задаваемыми пороговыми значениями; 8 – блок формирования матрицы измеренных величин, превышающих пороговые значения (неисправности пути) и выбора технологической операции для обеспечения возможности их устранения; 9 – блок формирования и поддержания нормативно-справочной и задаваемой информации; 10 – блок формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с последующей досыпкой балласта; 11 – блок формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с предварительной вырезкой балласта; 12 – блок расчета перемещений рельсовых нитей и/или шпал, необходимых для устранения неисправностей пути; 13 – блок управления перемещениями рельсов и шпал; 14 – блок расчета объема балласта для устранения неисправностей пути и закрепления пути в новом положении; 15 – блок управления перемещением балласта; 16 – коммутатор (перекрестный переключатель); 17 – блок контроля на соответствие установленным критериям измененного положения рельсовых нитей и оптимального объема перемещаемого балласта

а выходы антенн подключены к датчикам измерения очертаний рельсовых нитей, установленных на измерительном модуле 3, при этом обмен информации осуществляется через внешние носители. Модуль выработки управляющих воздействий по перемещению рельсов и шпал 4 перемещает одну или обе рельсовые нити вместе со шпалами при замене одной шпалы, старой на новую, при изменении радиуса кривой, уклона пути и т.д. Модуль по перемещению балласта 5 обеспечивает перемещение балласта из кузова хоппер-дозатора в железнодорожный путь или с железнодорожного пути при выполнении операции по удалению загрязненного балласта. Блок преобразования сигналов от механизмов измерения 6 преобразует аналоговые сигналы от механических устройств и датчиков, установленных на элементах подвижного состава, в цифровую форму. Блок 7 сравнивает измеренные величины с пороговыми значениями, задаваемыми в блоке 9 и принятыми в ИУС в качестве эталонных. Блок 8 формирует матрицу величин, превышающих пороговые значения, которые подлежат устранению подсыпкой или вырезкой балласта. Формирование матрицы возможно при неполной информации, например, сбое в работе механизмов измерения. В этом случае матрица формируется с предварительным цензурированием исходной информации [16–18], получаемой из блока 7 и данных из блока 9 как совокупности упорядоченных данных о технических характеристиках устройства измеряемых участков пути, элементов его конструкции, эксплуатационных характеристиках измеряемых участков пути, нормативных или задаваемых оператором, требуемых по условиям эксплуатации значений отступлений от геометрических параметров железнодорожного пути, выполненных работах в период между измерениями, прочей справочной информации, необходимой для адекватной интерпретации данных измерений и оценки состояния пути в соответствии с установленными нормативами.

Сформированные в блоке 8 неисправности пути распределяются по видам технологических операций, необходимых для их устранения. Блок 10 формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с последующей досыпкой балласта осуществляет подготовку информации для технологической операции по исправлению неисправностей пути с предварительным перемещением рельсовых нитей, а блок 11 формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с предварительной вырезкой балласта осуществляет подготовку информации для технологической операции по исправлению неисправностей пути с предварительным перемещением балласта. Блок 12 расчета перемещений рельсовых нитей рассчитывает величины этих перемещений, а блок 13 формирует управляющие воздействия по перемещению рельсовых нитей производственным модулем 4. В блоке 14 рассчитывается объем балласта для закрепления перемещаемого пути в заданное положение или вырезки загрязненного балласта с заменой на чистый, а блок 15 управляет этим перемещением. Блоки 12 и 14, 13 и 15 связаны друг с другом через коммутатор 16 и с блоком 17 контроля измененного положения рельсовых нитей на соответствие эталонным значениям из блока 9 и оценку объема балласта потребного для их закрепления. Контроль соответствия нового положения рельсовых нитей после их перемещения модулем 4 на соответствие эталонным значениям из блока 9 осуществляется на основе критериев, установленных получателем услуг по проведению ремонтных работ, введенных в блок 9 например, степень уплотнения балласта, форма балластной призмы, соответствие очертаний рельсовых нитей нормативным значениям и др. Предусмотрена возможность визуального контроля состояния железнодорожного пути после проведенных путевых работ с последующим вмешательством оператора в БУ перемещением балласта и рельсовых нитей, например, через пульт управления.

а



б

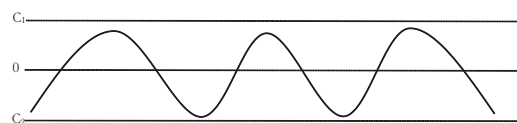


Рис. 4. Результаты измерения положения рельсовых нитей по уровню:
а – до работы ИУС; б – после работы ИУС

Заключение

По результатам исследований получен патент на изобретение [12].

Разработаны технические требования и проектные решения по созданию ИУС на базе эксплуатируемого СПС (ВПС ЦНИИ-4, хоппер-дозатор ВПМ 770 и путевая машина типа ВПР).

Проведен эксперимент по оценке работоспособности ИУС в рамках проведения выправочно-подбивочных работ на одной из железных дорог. Эффект за счет экономии балласта составил почти 50% от расхода балласта при его распределении традиционным способом [19].

Разработаны технические предложения по установке ИУС на одну раму одного транспортного средства, с разделением их по функциональному назначению, а именно: измерение, перемещение балласта, перемещение рельсов и шпал. 

Литература

1. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути: ЦПТ-53 / ОАО «РЖД». — Москва: ИКЦ «Академкнига», 2004. — 183 с. — Текст: непосредственный.
2. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288 р с изменениями от 19.10.2021 № 2246/р.
3. Кулешов, П.Н. Скоростные путеобследовательские станции ЦНИИ-4 / П.Н.Кулешов. — Текст: непосредственный // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. — 2013. — №2 (6). — С. 32–33.
4. Совершенствование методов и средств диагностики пути / Б.В. Зензинов. — Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт на современном этапе: Сборник трудов ученых ОАО «ВНИИЖТ». 70 лет аспирантуре ОАО «ВНИИЖТ»; редактор: Б.М. Липидус, Г.В. Гогричани. — Москва: ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», 2014. — С. 227–239.
5. Научно-исследовательский отчет АО «ВНИИЖТ». Шифр работы: 2.042.Р, договор № 1033/12/371, этап 1.
6. Руководство по эксплуатации вагона-путеобследовательской станции ЦНИИ-4МД. — Москва: ПИК ПРОГРЕСС, 2002.
7. Мазов, Ю.Н. Ресурсосберегающая технология контроля пути мобильными средствами диагностики / Ю.Н. Мазов, В.И. Шишкин, В.П. Сычев. — Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. — 2018. — №7. — С. 7–9.
8. Сычев, В.П. Современные и перспективные конструкции хоппер-дозаторов / В.П. Сычев. — Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. — 2010. — №4. — С. 17–19.
9. Петуховский, С.В. Оптимизация сдвигов при рихтовке железнодорожного пути: специальность 05.22.06: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Петуховский Сергей Вячеславович. — Москва, 2003. — 129 с. — Текст: непосредственный.
10. Качанов А.Я., Самме Г.В., Сычев В.П. Автоматизация работ по выправке и рихтовке железнодорожного пути в системе его технического обслуживания // Депонированная рукопись ВИНТИ № 528-В2007 16.05.2007.
11. Петуховский, С.В. Расчет кривизны рельсовой нити по стрелам несимметричной измерительной хорды / С.В. Петуховский. — Текст: непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2018. — Т.15, №1. — С. 82–89.
12. Патент №273826 Российская Федерация. Информационно-управляющая система перемещения рельсов, шпал и балласта для обеспечения работоспособности железнодорожного пути по заданным критериям : № 2020112391 от 26.03. 2020 / П.В. Сычев.
13. Тихонов, В.И. Выбросы траекторий случайных процессов / В.И. Тихонов, В.И. Хименко; Отв. ред. В.И. Сифоров; АН СССР, Ин-т радиотехники и электроники. — Москва: Наука, 1987. — 304. — Текст: непосредственный.
14. Сычев, В.П. Методы оценивания железнодорожного пути характеристиками случайных процессов / В.П. Сычев. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2007. — №3. — С. 84–88.

15. Loktev A.A., Sychev P.V., Dmitriev V.G., Egorova O.V., Komkov V.A., Boytsov B.V. Analysis of methods for restoring the density distribution of random variables of assessing the condition of the railroad track according to the indicated values of the track recording car Asia Life Sciences. 2019. Т. 28. №1. С. 111–124.
16. РД50-690-89. Руководящий документ по стандартизации. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. — взамен ГОСТ 27.201-81; ГОСТ 27.502-83; ГОСТ 27.503-81; ГОСТ 27.504-84: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30.10.89 №3259: дата введения 1991-01-01. — Москва: Издательство стандартов, 1990. — 132 с. — Текст: непосредственный.
17. Loktev A.A., Stepanov R.N., Gridasova E.A., Sycheva A.V. Simulation of the railway under dynamic loading. Part 2. Splicing method of the wave and contact solutions// Contemporary Engineering Sciences. 2015Т. 8. №21. —С. 955–962.
18. О нормативно-техническом обеспечении диагностики и мониторинга объектов путевой инфраструктуры/ А.Б.Косарев, А.В. Макаров, Б.Н. Зензинов, В.О. Певзнер. —Текст: непосредственный.// Путь и путевое хозяйство. —2015. —№4. —С. 28–29.
19. Сычев, П.В. Автоматизация дозированной выгрузки щебня/ П.В. Сычев, А.Н. Юдин. —Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. —2020. —№3. —С. 23–25.