

УДК 69.003.13:656.259.9

**С. В. Бушуев, канд. техн. наук**  
**А. Н. Попов, канд. техн. наук**  
**М. Л. Попова**

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»  
Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

### **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ СВОБОДНОСТИ УЧАСТКОВ ПУТИ**

Выполнен обзор используемых средств контроля состояния свободности участка пути на сети отечественных и зарубежных железных дорог. Отмечается, что основными средствами контроля состояния свободности участков пути на сети российских железных дорог являются рельсовые цепи, фиксирующие факт излома или изъятия рельса, т. е. выполняющие контрольный режим работы. В статье также отмечается, что системы счета осей на российских железных дорогах имеют ограниченное применение, что объясняется отсутствием возможности выявлять факт излома или изъятия рельса. Рассматривается проблема обеспечения рельсовыми цепями безопасности перевозочного процесса при выполнении контрольного режима работы: при контрольном режиме работы рельсовыми цепями отслеживается электрическая целостность рельса, но существующие повреждения на поверхности катания и в теле рельса не определяются, что создает непосредственную угрозу безопасности движения. На основе выполненного обзора использования систем счета осей на железных дорогах мира в качестве основных средств контроля состояния свободности участка пути и с учетом того факта, что существующие средства контроля состояния участка пути не выявляют остродефектных рельсов, предлагается выполнение частичной замены рельсовых цепей на датчики счета осей на станционных объектах ОАО «РЖД».

Выполнена оценка экономической эффективности на основе сравнения требуемых капитальных вложений и эксплуатационных расходов на обслуживание сравниваемых устройств, выявлены зависимости изменения капитальных вложений от параметров путевого развития станций.

капитальные вложения, эксплуатационные расходы, тональные рельсовые цепи, системы счета осей, трудоемкость обслуживания, остродефектные рельсы.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-202-220

## Введение

Функционирование систем железнодорожной автоматики и телемеханики основано на использовании датчиков контроля состояния участков пути. В качестве датчика контроля состояния пути на железных дорогах, линиях метрополитена и объектах промышленного транспорта используются рельсовые цепи и системы счета осей (ССО).

На отечественных железных дорогах основным датчиком, выполняющим функцию контроля состояния свободности или занятости путевого участка, являются рельсовые цепи [1]. В настоящее время на сети российских железных дорог используется около 270 тысяч рельсовых цепей и 3 тысячи датчиков счета осей. Число внедренных в эксплуатацию датчиков счета осей в сравнении с рельсовыми цепями незначительно, что объясняется существующей нормативной документацией, регламентирующей порядок проектирования устройств автоматики и телемеханики на объектах ОАО «РЖД». В соответствии с [2] ССО на сети российских железных дорог имеют ограниченное применение и могут использоваться в качестве основных или резервных средств (по отношению к рельсовым цепям) на участках с пониженным сопротивлением балласта, с металлическими шпалами и на подходах к металлическим мостам, а также при модернизации малодеятельных участков, ранее оборудованных полуавтоматической блокировкой (ПАБ).

Одна из причин ограниченного использования ССО заключается в том, что эти системы, в отличие от рельсовых цепей, не могут выявлять излом или изъятие рельса, т. е. не выполняют контрольный режим работы. При выполнении контрольного режима работы рельсовой цепью отслеживается электрическая целостность рельсовой линии, но дефекты, образующиеся при эксплуатации на поверхности катания и в теле рельса, не выявляются. По данным классификатора дефектов рельсов, представленного в документе [3], выделяют более 20 кодов дефектных и острodefектных рельсов, возникающих при эксплуатации. К острodefектным рельсам относятся рельсы с изломами, выколами и трещинами, выявляемыми при осмотре пути. Острodefектные рельсы из-за непредсказуемости разрушения создают угрозу безопасности движения, поэтому требуют немедленного их изъятия из использования. В свою очередь дефектные рельсы содержат внутренние дефекты, выявляемые при выполнении дефектоскопии пути. В большинстве случаев выявленные дефектные рельсы не требуют их немедленного изъятия и продолжают далее использоваться с наблюдением дальнейшего развития дефекта. Таким образом, рельсовая цепь позволяет выявлять излом и изъятие рельса, но острodefектные рельсы, создающие непосредственную угрозу безопасности движения, рельсовая цепь не выявляет. Несмотря на данный недостаток рельсовой цепи в существующей

нормативной документации при проектировании объектов ОАО «РЖД» рельсовая цепь является основным средством контроля состояния пути, рекомендуемым к использованию [2, 4].

При отсутствии возможности выполнять контрольный режим работы и выявлять остродефектные рельсы ССО на железных дорогах мира находят широкое применение и в отдельных странах используются в качестве основных средств контроля состояния путевого участка. К примеру, на железных дорогах Швейцарии, полностью построенных на металлических шпалах, используются только ССО. На железных дорогах Германии, оснащенных достаточно большим числом рельсовых цепей, при новом строительстве и модернизации существующих объектов в качестве основного датчика состояния пути рекомендуется использовать ССО. В Австрии в качестве датчика контроля состояния пути может использоваться как рельсовая цепь, так и датчики счета осей: выбор системы определяется условиями эксплуатации [5]. Таким образом, на сети зарубежных железных дорог ССО находят массовое использование, что объясняется рядом преимуществ этих систем при эксплуатации в сравнении с рельсовыми цепями.

В отличие от рельсовых цепей ССО оснащены встроенной самодиагностикой, могут использоваться при любом сопротивлении балласта, требуют меньших трудозатрат при эксплуатации [6–8]. Значительным преимуществом при проектировании ССО является отсутствие ограничения по длине контролируемого участка, что позволяет сократить затраты напольной аппаратуры при строительстве, а также снизить трудоемкость обслуживания при эксплуатации [9–12]. На зарубежных дорогах мира ССО зарекомендовали себя достаточно устойчивыми системами при эксплуатации [13].

На основе приведенного обзора использования ССО на железных дорогах мира, с учетом ряда преимуществ этих систем и того факта, что существующие датчики контроля состояния свободы участка пути не выявляют остродефектных рельсов, возникает вопрос о возможности выполнения на российских железных дорогах частичной замены существующих рельсовых цепей датчиками счета осей с обеспечением безопасности перевозочного процесса. Данный вопрос особенно актуален в рамках выполнения программы ресурсосбережения, являющейся приоритетным направлением развития ОАО «РЖД».

## **1. Описание структуры определения капитальных вложений строительства для ТРЦ и ССО**

Прежде чем заменять рельсовую цепь на датчики счета осей, необходимо оценить экономическую эффективность выполнения этого мероприятия. При оценке экономической эффективности выполняемых мероприятий в соответствии с [14] требуется сравнение капитальных (единовремен-

ных) вложений и эксплуатационных расходов для рассматриваемых устройств. Поскольку для сравниваемых устройств отсутствуют укрупненные показатели стоимости строительства, для ее оценки авторами статьи был выполнен анализ проектно-сметной документации для одного из существующих на российском рынке производителей ССО и тональных рельсовых цепей (ТРЦ), рекомендуемых к проектированию при новом строительстве и модернизации объектов ОАО «РЖД» [2, 4].

Для того чтобы проследить характер изменения капитальных вложений в строительство сравниваемых устройств, использовалась проектно-сметная документация для станций с различным путевым развитием. С целью сохранения конфиденциальности информации в используемой документации названия станций были изменены на буквенные обозначения. Рассматриваемые станции различались по следующим параметрам: числу приемоотправочных путей, количеству рельсовых цепей (выделяемых участков), числу контролируемых ответвлений (датчиков счета осей), расстоянию между входными светофорами, числу стрелок.

В структуре капитальных вложений ( $K_B$ ) учитывались затраты: стоимость напольного оборудования без изолирующих стыков ( $C_{o.n}$ ), стоимость изолирующих стыков ( $C_{и.с}$ ), стоимость напольных монтажных работ без учета стоимости напольного кабеля ( $C_{м.н}$ ), стоимость постового оборудования без учета стоимости стативов ( $C_{o.п}$ ), стоимость стативов ( $C_{ст}$ ), стоимость монтажных работ на посту ( $C_{м.п}$ ):

$$K_B = C_{o.n} + C_{и.с} + C_{м.н} + C_{o.п} + C_{ст} + C_{м.п}.$$

В выделенных затратах не учитывалась стоимость разработки траншеи и укладки в нее кабеля, т. к. трасса прокладываемого кабеля для рассматриваемых устройств совпадает с траншеей напольных устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Стоимость пусконаладочных работ также не рассматривалась, т. к. она учитывается в составе наладки устройств электрической централизации (ЭЦ). Для исключения искажения результатов в структуре капитальных вложений затраты по используемому напольному кабелю не учитывались и рассмотрены далее. Капитальные вложения определялись в текущих ценах на первый квартал 2018 года.

Перечень номенклатуры, учитываемой в стоимости напольного и постового оборудования ( $C_{o.n}$ ,  $C_{o.п}$ ) для сравниваемых устройств, представлен в табл. 1.

До начала интерпретации полученных результатов капитальных вложений необходимо отметить условия эксплуатации для сравниваемых устройств, учтенные в проектной документации, поскольку они оказывают влияние на формирование номенклатуры используемого оборудования.

Таблица 1. Перечень учитываемой номенклатуры оборудования

Перечень	ТРЦ	ССО
Напольного оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ящик путевой герметизированный</li> <li>• Трансформатор ПОБС-2Г</li> <li>• Дроссель-трансформатор ДТ-0,2-1000, <math>n = 40</math></li> <li>• Выключатель тока низковольтный автоматического многократного действия АВМ-2</li> <li>• Резистор постоянный РП 1,1-200</li> <li>• Резистор постоянный низкоомный РПН</li> <li>• Выравниватель типа ВОЦН</li> <li>• Стык изолирующий рельсов типа Р65 с комбинированными (металлокомпозитными) накладками</li> <li>• Стрелочная изоляция</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Датчик путевой универсальный</li> <li>• Напольное счетное устройство</li> <li>• Коробка соединительная конечная</li> <li>• Коробка соединительная промежуточная</li> <li>• Муфта кабельная</li> <li>• ЗИП к напольной аппаратуре</li> </ul>
Постового оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Генератор путевой ГП 3С</li> <li>• Приемник путевой ПП 3С</li> <li>• Фильтр путевой ФПМ</li> <li>• Штепсельные реле</li> <li>• Статив релейный типа СРКМ-75</li> <li>• Трансформатор ПОБС-5МП</li> <li>• Выравниватель типа ВОЦН</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Станционный шкаф</li> <li>• ЗИП к станционному шкафу</li> </ul>

Все рассматриваемые станции с ТРЦ были оборудованы электротягой постоянного тока с использованием кодирования, поэтому в номенклатуре напольного оборудования учтены изолирующие стыки. Изолирующие стыки на станциях с ТРЦ используются для исключения зоны дополнительного шунтирования и ограничения растекания тока кодирования. Для обратного пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков используются дроссель-трансформаторы, также учтенные в номенклатуре [4, 15].

Для ССО использовалась проектная документация по станционным объектам промышленного транспорта с автономной тягой без использования кодирования на выделяемых участках. Поскольку в ССО питание к путевым датчикам передается с поста электрической централизации по напольному кабелю и в рассматриваемой проектной документации кодирование отсутствует, т. е. рельсы не используются для передачи энергии, установка изолирующих стыков по концам выделяемых участков не требуется.

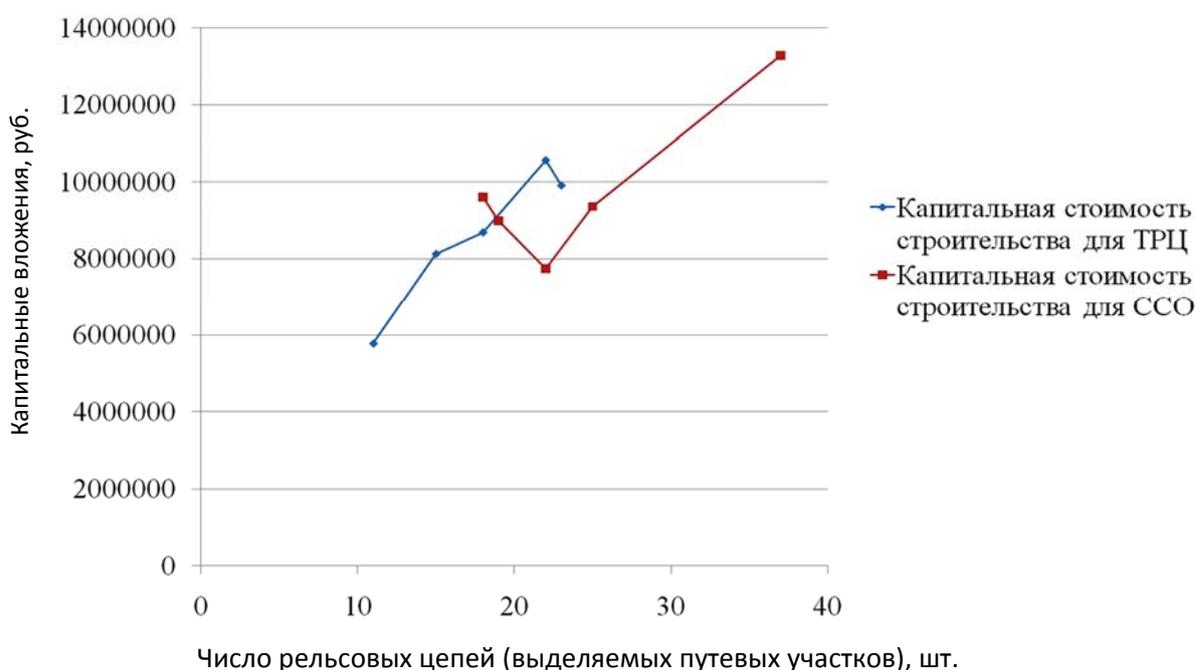
Следует также отметить, что при использовании ССО на станционных объектах ОАО «РЖД» взамен рельсовых цепей для исключения несанкционированного выезда поезда на установленный маршрут необходима организация передачи сигналов локомотивной сигнализации. При реализации кодирования для ограничения растекания тока по концам выделяемых участков потребуется установка изолирующих стыков, а при наличии электротяги – использование дроссель-трансформаторов.

Для удобства сравнения требуемых капитальных вложений затраты по реализации кодирования для рассматриваемых устройств авторами статьи были опущены и в последующем не учитывались. Но не стоит забывать, что использование ССО взамен рельсовых цепей позволяет в один выделяемый участок объединять несколько рельсовых цепей, тем самым обеспечивается сокращение стоимости постового и напольного оборудования, а также затрат на реализацию кодирования.

Рассмотрим полученные результаты анализа капитальных вложений при строительстве сравниваемых устройств.

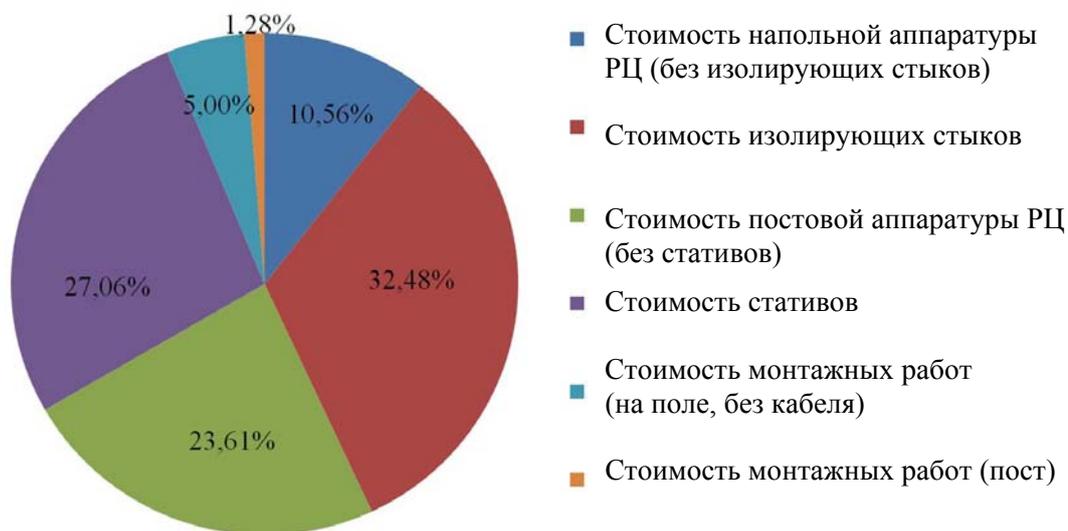
## 2. Результаты анализа капитальных вложений при строительстве сравниваемых устройств

По результатам капитальных вложений для сравниваемых устройств от числа рельсовых цепей (выделяемых участков) прослеживаются меньшие затраты при внедрении ССО (рис. 1), но т. к. в сметной документации для ССО не учитывалась стоимость изолирующих стыков, то нельзя утверждать о потребности меньших затрат при внедрении ССО на объектах ОАО «РЖД».



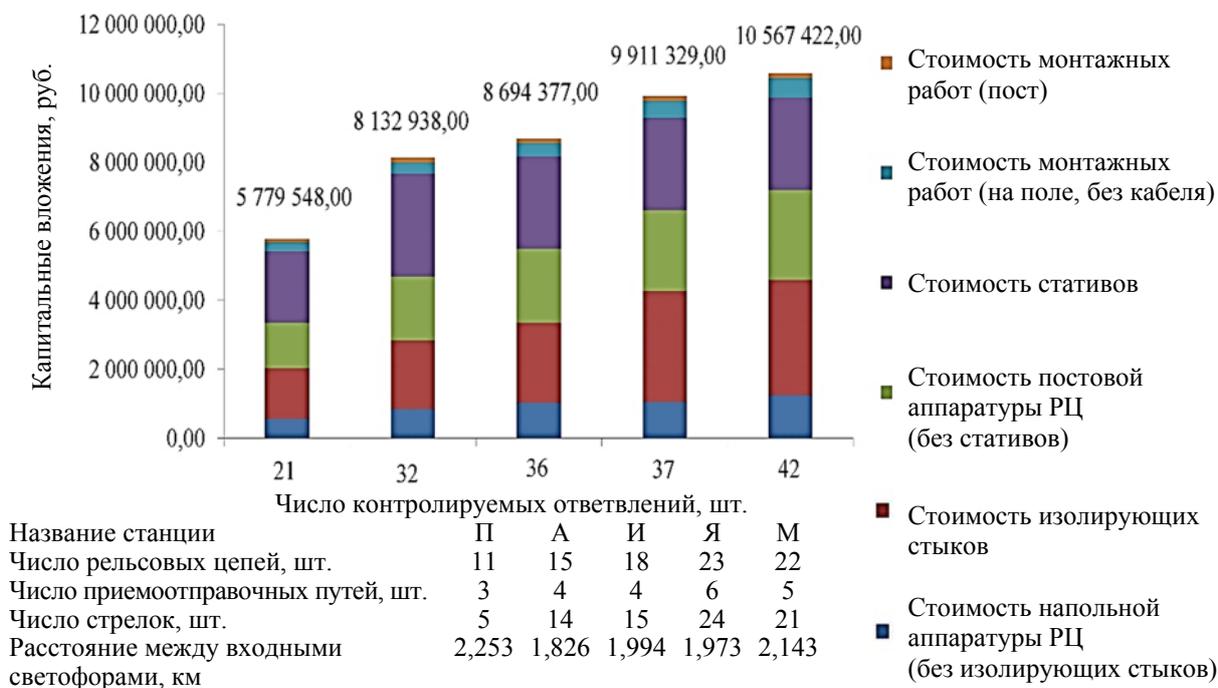
**Рис. 1.** Изменение капитальных вложений при оборудовании ТРЦ и ССО от числа рельсовых цепей (выделяемых участков)

Из круговой диаграммы распределения капитальных вложений по статьям затрат для ТРЦ (рис. 2) следует, что большая часть стоимости приходится на изолирующие стыки (32,48 %), постовую аппаратуру РЦ (без стативов) (23,61 %) и стативы в базовой комплектации (27,06 %).



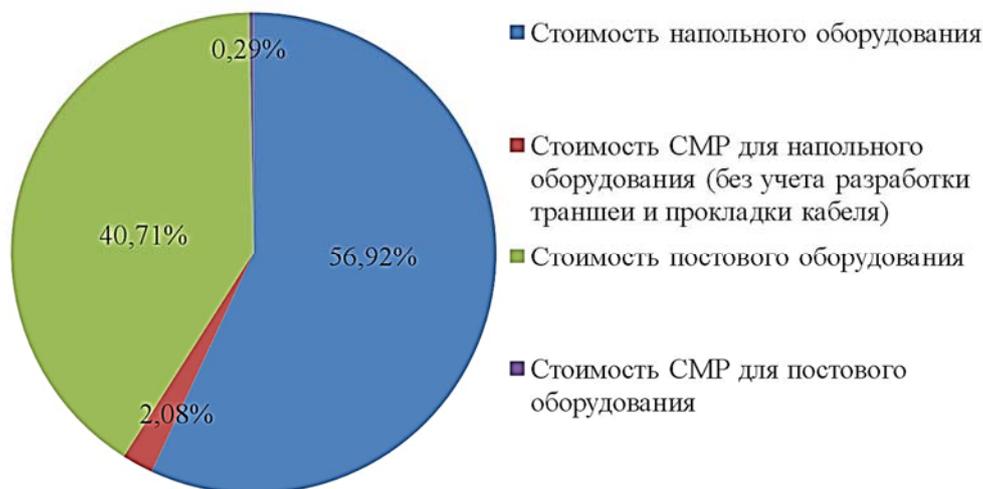
**Рис. 2.** Распределение капитальных вложений по статьям затрат при оборудовании ТРЦ

По распределению капитальных вложений при оборудовании ТРЦ виден рост всех затрат строительства с увеличением числа контролируемых ответвлений (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение капитальных вложений по статьям затрат при ТРЦ от числа контролируемых ответвлений

Из круговой диаграммы распределения капитальных вложений по статьям затрат при оборудовании станции ССО (рис. 4) следует, что большая часть стоимости приходится на напольное и постовое оборудование (97,63 %).



**Рис. 4.** Распределение капитальных вложений по статьям затрат при оборудовании ССО

При анализе распределения капитальных вложений по статьям затрат от числа используемых датчиков счета осей (рис. 5) установили зависимость удорожания стоимости напольного оборудования и строительно-монтажных работ, выполняемых на поле, при увеличении числа датчиков. Незначительный скачок стоимости напольного оборудования и полевых строительно-монтажных работ на станции Р, при большем числе датчиков, используемых на станции М, объясняется более вытянутым расположением станции Р, что определяется расстоянием между входными светофорами. Более вытянутое расположение станции Р требует установки дополнительных ретрансляционных устройств, необходимых для согласования постовой аппаратуры с напольной. Установка дополнительного оборудования влияет на увеличение общей стоимости напольного оборудования и затрат на выполнение полевых строительно-монтажных работ. Стоимость постового оборудования и строительно-монтажных работ на посту не изменяется, что объясняется одинаковым набором постовой аппаратуры для рассматриваемого числа датчиков.

Капитальные вложения по статьям затрат, приведенные на рельсовую цепь при ТРЦ, получились больше приведенных вложений на выделяемый участок при ССО (рис. 6).

Если учесть, что при использовании ССО на станционном объекте ОАО «РЖД» с реализацией кодирования потребуются установка изолирующих стыков, то к капитальным вложениям, приведенным на выделяемый

участок для ССО, необходимо прибавить стоимость изолирующих стыков, приведенную на рельсовую цепь. Итоговые капитальные вложения при оборудовании станции сравнимаемыми устройствами будут примерно одинаковые.

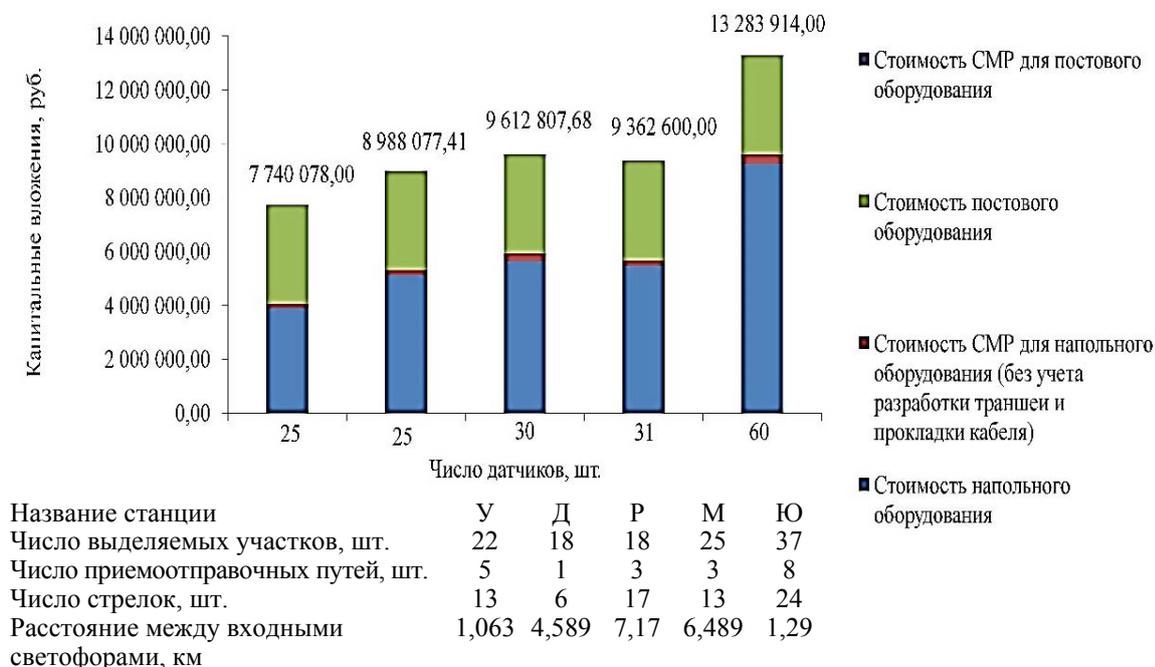


Рис. 5. Распределение капитальных вложений по статьям затрат при ССО от числа датчиков

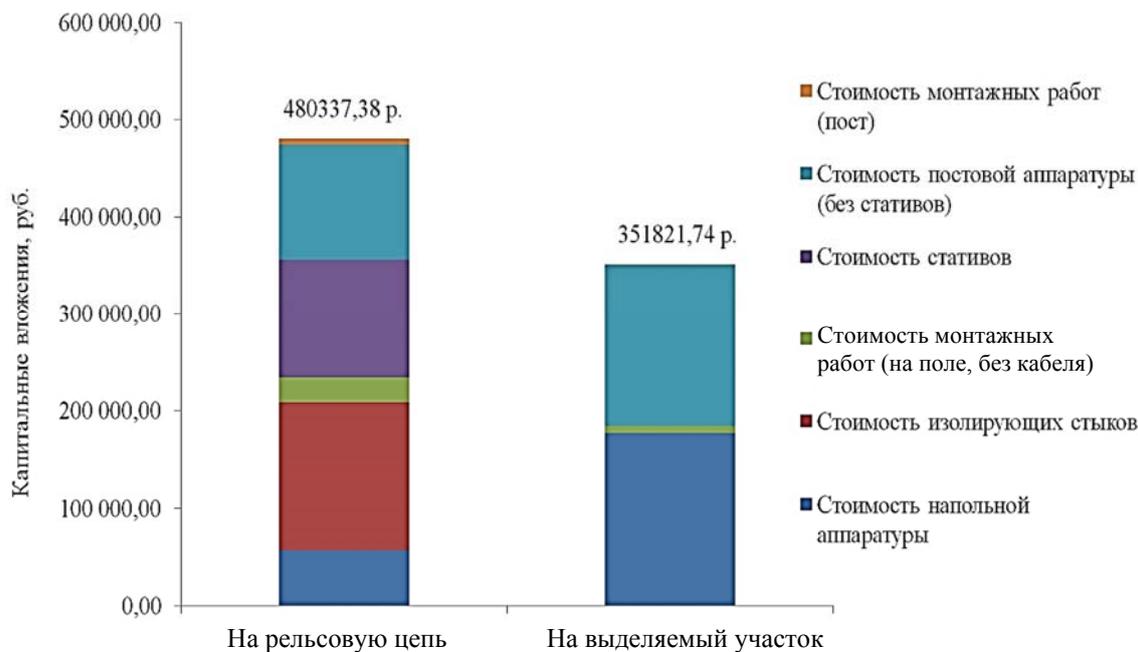


Рис. 6. Капитальные вложения по статьям затрат, приведенные на рельсовую цепь при ТРЦ и выделяемый участок при ССО

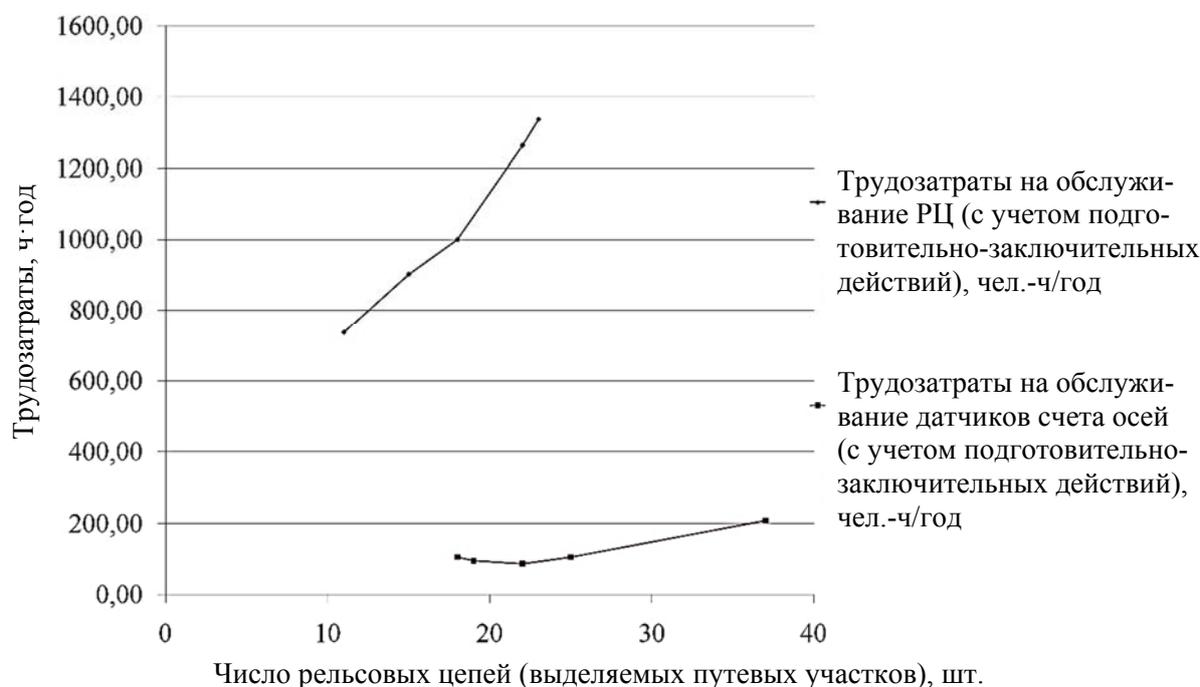
Для сравнения эксплуатационных расходов был выполнен анализ нормативной трудоемкости, требуемой для обслуживания устройств в течение года на рассматриваемых станциях. Нормативная трудоемкость определялась с использованием технологических карт, содержащих перечень выполняемых работ, и установленных норм времени на техническое обслуживание устройств автоматики и телемеханики, представленных в документах [16–18]. Учитываемый перечень технологических карт представлен в табл. 2.

**Таблица 2.** Перечень учитываемых технологических карт

Номер карты	Наименование технологической карты
ТРС	
3.1	Проверка на станции состояния изолирующих элементов рельсовых цепей, стыковых соединителей и перемычек
3.3	Проверка станционных рельсовых цепей на шунтовую чувствительность: двухниточных рельсовых цепей неразветвленных и разветвленных, параллельные ответвления которых контролируются путевыми реле
3.4	Проверка соединителей 3300 мм с применением шунта сопротивлением 0,06 Ом и индикатора тока рельсовой цепи (не обтекаемые сигнальным током)
3.6	Измерение напряжения на обмотках путевого реле и/или на входе путевого приемника
3.7	Измерение остаточного напряжения при шунтовом режиме рельсовой цепи: на входе путевого приемника ТРС
3.8	Проверка в станционных рельсовых цепях тональной частоты: работы схемы контроля очередности занятия ответвлений рельсовой цепи (при наличии схемы логического контроля занятия ответвлений); работы схемы контроля замыкания изолирующих стыков
3.9	Проверка правильности чередования полярности напряжений, фаз напряжений или последовательности импульсных посылок в смежных рельсовых цепях, а также работы схем контроля замыкания изолирующих стыков.
3.10	Проверка клеммных соединителей кабеля в кабельных стойках, путевых ящиках, дроссель-трансформаторов
3.11	Наружная покраска кабельных стоек и муфт, путевых ящиков, дроссель-трансформаторов
3.13	Измерение сопротивления изоляции рельсовой линии (балласта) в рельсовых цепях длиной более 300 м
5.12	Проверка соответствия действующих устройств СЦБ утвержденной технической документации
6.1	Проверка состояния приборов и штепсельных розеток со стороны монтажа. Проверка состояния выравнителей и разрядников.
10.1.3	Измерение сопротивления изоляции кабельных линий по отношению к земле с минимальным отключением монтажа (в том числе запасных жил кабеля)
11.1.2	Внешний осмотр, проверка состояния и чистка элементов питающей установки
11.1.4	Проверка степени нагрева коммутационных элементов, обмоток трансформаторов силовых цепей устройств электропитания и предохранителей номиналом выше 20 А. Проверка работы схемы контроля предохранителей питающей установки

Номер карты	Наименование технологической карты
3168р п. 53	Приварка рельсовых соединителей
№ 256 от 19.06.16 г.	Проверка сборных изолированных стыков после их разборки и замены с составлением акта
3168р табл. 1	Выполнение работ по текущему ремонту, техническому обслуживанию устройств СЦБ, выполняемых по состоянию и сопровождению работ работниками смежных служб (№ 42, 43, 47,48, 49, 50,51, 52, 54, 55, 56, 57, 72, 74, 75)
ССО	
16.1.1	Внешний осмотр путевых ящиков, содержащих напольное оборудование ССО. Проверка крепления и очистка датчиков. Проверка состояния отводов кабелей.
16.1.2	Проверка внутреннего состояния путевых ящиков, надежности крепления кабельных жил
16.1.3	Просмотр и анализ архивных файлов и устранение отклонений в работе устройств
16.1.4	Проверка функционирования путевых датчиков счета осей имитатором колеса

Требуемая нормативная трудоемкость для обслуживания сравниваемых устройств на станциях с различным путевым развитием представлена на рис. 7.



**Рис. 7.** Нормативная трудоемкость обслуживания, приведенная к рельсовой цепи (выделяемому участку)

По характеру изменения нормативной трудоемкости для ТРЦ наблюдается стремительный рост при увеличении числа рельсовых цепей (выделяемых участков).

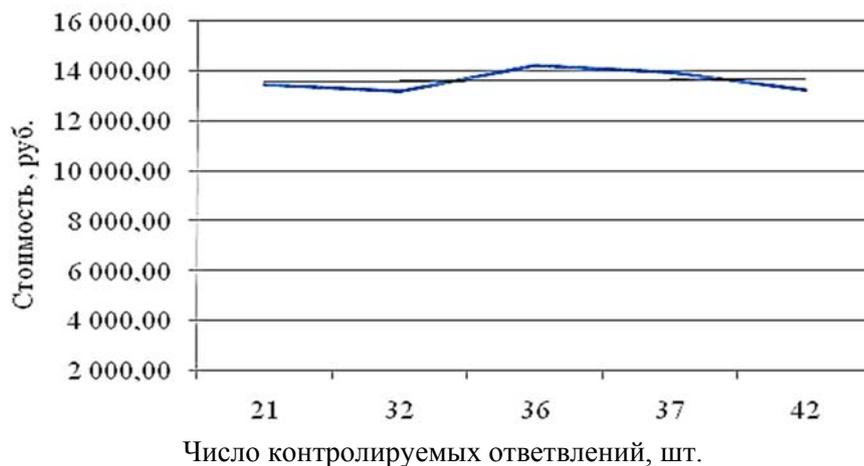
Нормативная трудоемкость при использовании ССО плавно увеличивается в небольшом диапазоне от 100 до 200 ч·год для рассматриваемого числа выделяемых участков. Для станции с 23 выделяемыми участками наблюдается меньшее значение требуемой трудоемкости обслуживания в отличие от станции с 18 выделяемыми участками, что объясняется меньшей разветвленностью выделяемых участков на рассматриваемой станции. При сравнении требуемых нормативных трудоемкостей наблюдается сокращение трудозатрат от 9 до 13 раз при использовании ССО.

Анализ зависимости изменения общей длины напольного кабеля от параметров путевого развития станций, оборудованных ТРЦ, выявил увеличение длины напольного кабеля при увеличении числа контролируемых ответвлений, числа рельсовых цепей и количества приемоотправочных путей. Зависимость изменения длины напольного кабеля от числа контролируемых ответвлений близка к линейной. Было установлено, что общая длина напольного кабеля не зависит от расстояния между входными светофорами, т. е. от длины магистральной траншеи. Отсутствие зависимости общей длины напольного кабеля от расстояния между входными светофорами объясняется поперечным расположением рассматриваемых станций. Рассматриваемые станции различаются по числу приемоотправочных путей, и расстояния между входными светофорами различаются незначительно (см. рис. 3). При поперечном расположении большая часть напольного кабеля прокладывается не в магистральной траншее, а в дополнительных траншеях, разрабатываемых от нее к точкам подключения аппаратуры питающих и релейных трансформаторов приемоотправочных путей.

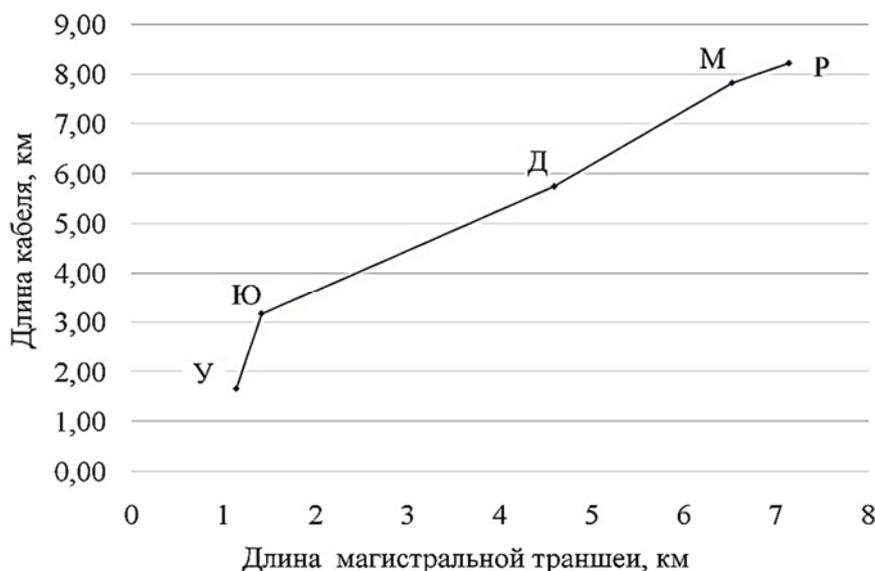
Следует отметить, что в ТРЦ не разрешается в одном кабеле совмещать прямые и обратные жилы для питающего и релейного конца, т. е. к каждой точке подключения аппаратуры прокладывается по два кабеля. Используемый напольный кабель в ТРЦ в пределах станции имеет разную жильность, и требуемый тип кабеля определяется составлением кабельной сети питающих и релейных трансформаторов [4, 15]. Данные особенности оказывают влияние на увеличение общей длины и стоимости напольного кабеля.

Стоимость напольного кабеля, приведенная на одно контролируемое ответвление для рассматриваемых станций с ТРЦ, практически не изменяется, что видно из результатов, представленных на рис. 8.

Анализ зависимости изменения общей длины напольного кабеля от параметров путевого развития станций, оборудованных ССО (рис. 9), выявил увеличение длины напольного кабеля при увеличении длины магистральной траншеи (расстояния между входными светофорами).



**Рис. 8.** Изменение стоимости кабеля при ТРЦ, приведенной на контролируемое ответвление



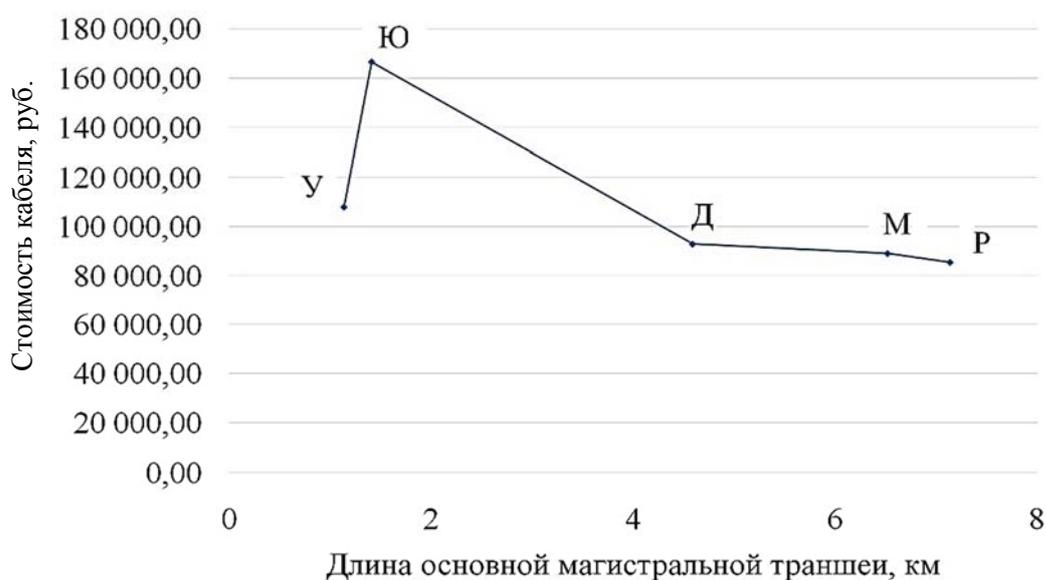
**Рис. 9.** Зависимость изменения длины напольного кабеля при ССО от длины магистральной траншеи

Зависимость общей длины напольного кабеля от расстояния между входными светофорами (длины магистральной траншеи) объясняется особенностями прокладки кабельной сети для датчиков счета осей на станциях с различным геометрическим расположением. Для рассматриваемых станций с ССО прослеживаются два типа расположения: поперечное и продольное. Для станций с меньшим числом приемоотправочных путей (см. рис. 5, станции Д, Р, М) прослеживается продольное расположение с удаленными расстояниями между входными светофорами и наличием длинных выделяемых участков в горловинах станций. Для станций с большим числом приемоотправочных путей прослеживается поперечное расположение (см. рис. 5, станции У, Ю) с незначительными расстояниями меж-

ду входными светофорами и небольшими длинами выделяемых участков в горловинах станций.

В ССО подключение датчиков счета осей выполняется последовательно в соответствии с их расположением на схематическом плане станции, и на длинных выделяемых участках с целью сокращения выполнения земляных работ трасса прохождения напольного кабеля от подключенного датчика к следующему возвращается по ранее разработанной дополнительной траншее к магистральной траншее. Следует отметить, что использование в ССО унифицированного кабеля, совмещающего в себе жилы для питания и опроса состояния датчиков, позволяет сократить длину и стоимость напольного кабеля.

Приведенная стоимость напольного кабеля для ССО на один километр магистральной траншеи (рис. 10) практически не изменяется и находится в диапазоне от 85 до 110 тысяч рублей. Наблюдаемый скачок изменения приведенной стоимости напольного кабеля для станции Ю объясняется тем, что рассматриваемая станция имеет поперечное расположение (см. рис. 5, 10).



**Рис. 10.** Изменение приведенной стоимости напольного кабеля при ССО на 1 км магистральной траншеи

## Заключение

Получены следующие результаты:

– определены численные оценки требуемых капитальных вложений для ТРЦ и ССО, приведенные к рельсовой цепи (выделяемому участку). Установлено, что при оборудовании станционных объектов сравниваемы-

ми устройствами с реализацией кодирования потребуются примерно одинаковые затраты;

– выявлен характер изменения нормативной трудоемкости для сравниваемых устройств. Наблюдается стремительный рост нормативной трудоемкости для ТРЦ при увеличении числа рельсовых цепей (выделяемых участков). При этом для ССО нормативная трудоемкость плавно увеличивается в небольшом диапазоне. Для рассматриваемых станций с числом рельсовых цепей (выделяемых участков) от 16 до 25 достигается сокращение трудоемкости обслуживания при использовании ССО в 9–13 раз;

– полученные оценки капитальных вложений и эксплуатационных затрат позволяют заключить, что при равных капитальных вложениях для сравниваемых устройств наибольший экономический эффект от использования будет наблюдаться для ССО за счет сокращения эксплуатационных расходов на обслуживание устройств;

– выявлена зависимость изменения длины напольного кабеля для рассматриваемых устройств от параметров путевого развития станций. Установлено, что для ССО присутствует зависимость длины напольного кабеля от длины магистральной траншеи (расстояния между входными светофорами), а для ТРЦ – зависимость от числа рельсовых цепей и количества приемоотправочных путей.

Существенный недостаток при выполнении анализа капитальных вложений для сравниваемых устройств заключается в ограниченной выборке рассматриваемых станций, имеющих схожее путевое развитие. Для выявления параметров путевого развития станций, оказывающих наибольшее влияние на капитальные вложения, необходимо расширить набор исследуемых станций с различным путевым развитием. Выявленные параметры путевого развития станций, оказывающие наибольшее влияние на формирование капитальных вложений, в дальнейшем позволят обосновывать выбор средств контроля состояния свободности участков пути на станциях в зависимости от их типа путевого развития и назначения использования.

## Библиографический список

1. Аркатов В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.
2. СП 235.1326000.2015. Железнодорожная автоматика и телемеханика. Правила проектирования.
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 23.10.2014 г. Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов.
4. Типовые материалы проектирования двухниточных планов станций с электрическими рельсовыми цепями 410104-ТМП, 2001.

5. Теег Г. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / пер. с англ. ; под ред. Г. Теega, С. Власенко. – М. : Интекст, 2010. – 496 с.
6. Бушуев С. В., Попов А. Н., Гундырев К. В. Особенности измерений сигналов тональных рельсовых цепей // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 94–97.
7. Бушуев С. В., Попов А. Н. Обеспечение сходимости и воспроизводимости измерений сигналов тональных рельсовых цепей // Транспорт Урала. – 2012. – № 3. – С. 38–42.
8. Типовые материалы по проектированию. Устройства контроля состояния свободности станционных участков пути методом счета осей подвижного состава КССП «Урал» УЖДА-12-45 ТМП, 2013.
9. Типовые материалы по проектированию. Устройства контроля свободности путевых участков методом счета осей с использованием аппаратуры ЭССО в системах железнодорожной автоматики и телемеханики 421413-01-ТМП, 2010.
10. Тильк И. Г. Новые устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта. – Екатеринбург : УрГУПС, 2010. – 168 с.
11. Щиголов С. А. Путевые датчики для устройств железнодорожной автоматики / С. А. Щиголов, А. В. Кондакова, Д. Е. Соболев // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 11. – С. 23–24.
12. Щиголов С. А. Микропроцессорная полуавтоматическая блокировка. – Екатеринбург : Быстрая типография, 2016. – 144 с.
13. Rosenberger, M. Перспективы датчиков колес и систем счета осей. Ч. I. Датчики колес // Железные дороги мира. – 2012. – № 6. – С. 51–57.
14. Рачек С. В. Экономическое обоснование технических решений : метод. рекомендации / С. В. Рачек и [др.]. – Екатеринбург : УрГУПС, 2018. – 79 с.
15. Воронин В. А. Техническое обслуживание тональных рельсовых цепей : учеб. пособие. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 93 с.
16. Распоряжение ОАО «РЖД» от 30.12.2015 г. № 3168р «Об утверждении инструкции по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки».
17. Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.07.2014 г. № 1678р «Об утверждении норм времени на техническое обслуживание устройств автоматики и телемеханики».
18. Распоряжение ОАО «РЖД» от 29.12.2015 г. № 3114р «О внесении изменений в нормы времени на техническое обслуживание устройств автоматики и телемеханики».

*Sergey V. Bushuev*

*Anton N. Popov*

*Maria L. Popova*

«Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport» department  
Ural State University of Railway Transport

### **Evaluation of the economic efficiency of track occupation monitoring means**

The article provides an overview of the means used to monitor the state of a track section occupation along a network of domestic and foreign railways. It is noted that the main means of monitoring of track sections occupation along the network of Russian railways are track circuits that detect the fact of a break or removal of the rail, i. e.

performing integrity monitoring mode. The article also notes that axle counting systems on Russian railways are of limited use, which is explained by the lack of the ability to detect the fact of a break or removal of a rail. The problem of ensuring the safety of the transportation process by the rail circuits during the integrity monitoring mode is considered: during the integrity monitoring mode of the rail circuits, the electrical integrity of the rail is monitored, but existing damage on the rolling surface and in the rail body is not detected, which poses a direct threat to traffic safety. Based on the review of the use of axle counting systems on foreign railways as the main means of monitoring the track section occupation state and taking into account the fact that existing means of monitoring the condition of the track section do not reveal highly defective rails, the article proposes the partial replacement of track circuits to axle count sensors at the station facilities of Russian Railways.

The economic efficiency was estimated based on a comparison of the required capital investments and operating costs for servicing the compared devices, and the dependences of the change in capital investments on the parameters of the stations' track development were revealed.

capital investments; operating expenses; tonal track circuits; axle counting systems; the complexity of the service; highly defective rails.

## References

1. Arkatov V. S., Kravtsov Yu. A., Stepenskij B. M. (1990) Track circuits. Operation analysis and maintenance [Relsovyje tsepi Analiz raboty i tekhnicheskoe obsluzhivanie]. Moscow, Transport. – Pp. 95.
2. Code of Practice 235. 1326000.2015 Railway automation and telemechanics. Design rules [Zelezodorozhnaya avtomatika i telemekhanika Pravila proektirovaniya].
3. Directive of JSC «Russian Railways» of 23.10.2014. Rails defects. Classification, catalogue and parameters of cropped and defective rails [Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 23.10.2014 g. Defekty relsov Klassifikatsiya katalog i parametry defektnyh i ostrodefektnyh relsov].
4. The standard design materials of stations double plans with electrical track circuits, 2001 [Tipovye materialy proektirovaniya dvuhnitochnyh planov stantsij s ehlektricheskimi relsovyymi tsepyami 410104]. – TMP, 2001.
5. Teeg G. (2010) Automation and telemechanics systems on the world's railways: a textbook for railway transport universities [Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznyh dorogah mira], translated from English; ed. G. Teeg, S. Vlasenko. Moscow, Intekst. – 496 p.
6. Bushuev S. V., Popov A. N., Gundyrev K. V. (2014) Gyndyrev Features of measuring the tone of the track circuit [Osobennosti izmerenij signalov tonalnyh relsovyh tsepej], Transport Bulletin of the Volga region [Vestnik transporta Povolzhya]. – No 5. – Pp. 94–97.
7. Bushuev S. V., Popov A. N. (2012) Ensuring the convergence and reproducibility of measurements of the signals of the tone track circuits [Obespechenie skhodimosti i vosproizvodimosti izmerenij signalov tonalnyh relsovyh tsepej], Transport of the Urals [Transport, Urala]. – No 3. – Pp. 38–42.

8. Devices of monitoring station track vacancy by method of rolling stock «Ural» axle counting [Ustrojstva kontrolya sostoyaniya svobodnosti stantsionnyh uchastkov puti metodom scheta osey podvizhnogo sostava].
9. Devices of monitoring track vacancy by axle counting method with use of electronic axle counting system equipment in systems of railway automation and telemechanics. [Ustrojstva kontrolya svobodnosti putevyh uchastkov metodom scheta osey s ispolzovaniem apparatury EHSSO v sistemah zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki] Albums 1–2.
10. Tilk I. G. (2010) New devices of railway transport automation and telemechanics. – Ekaterinburg [Novye ustrojstva avtomatiki i telemekhaniki zheleznodorozhnogo transporta]. – Ekaterinburg, UrGUPS. – 168 p.
11. Tschigolev S. A., Kondakova A. V., Sobol D. E. (2013) Track sensors for railway automation devices [Putevye datchiki dlya ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki], Automation, connection, information technologies [Avtomatika svyaz informatika]. – No 11. – Pp. 23–24.
12. Tschigolev S. A. (2016) Microprocessor semi-automatic blocking [Mikroprotsessornaya poluavtomaticheskaya blokirovka]. – Ekaterinburg, Bystraya tipografiya. – 144 p.
13. Rosenberger M. (2012) Perspectives of wheel- and axle counting system sensors. Part I: Wheel sensors [Perspektivy datchikov koles i sistem scheta osey CH I Datchiki koles], Railways of the world [ZHeleznnye dorogi mira]. – No 6. – Pp. 51–57.
14. Rachek S. V. (2018) Financial justification of engineering solutions: method and recommendations [Ekonomicheskoe obosnovanie tekhnicheskikh reshenij metod rekomendatsii]. – Ekaterinburg, UrGUPS. – 79 p.
15. Voronin V. A. (2007) Maintenance of audio frequency track circuits: study-guide [Tekhnicheskoe obsluzhivanie tonalnyh relsovyh tsepej], study-guide. Moscow, GOU Federal State Educational Institution «Training and Methodology Centre for Railway Transport» [Uchebno metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte]. – 93 p.
16. Directive of JSC «Russian Railways» of 30.12.2015 «On instruction approval of signaling arrangement maintenance and repair» [Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 30.12.2015 g. 3168r «Ob utverzhdenii instruktsii po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu ustrojstv i sistem signalizatsii tsentralizatsii i blokirovki»].
17. Directive of JSC «Russian Railways» of 17.07.2014 «On approval of time standards for maintenance of automation and telemechanics devices» [Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 17.07.2014 g. 1678r «Ob utverzhdenii norm vremeni na tekhnicheskoe obsluzhivanie ustrojstv avtomatiki i telemekhaniki»].
18. Directive of JSC «Russian Railways» of 29.12.2015 «On Amendments to the standard time for maintenance of automation and telemechanics devicts» [Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 29.12.2015 g. 3114r «O vnesenii izmenenij v normy vremeni na tekhnicheskoe obsluzhivanie ustrojstv avtomatiki i telemekhaniki»].

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным  
Поступила в редакцию 14.01.2019, принята к публикации 18.02.2019*

---

*БУШУЕВ Сергей Валентинович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», проректор по научной работе Уральского государственного университета путей сообщения;

e-mail: SBushuev@usurt.ru

*ПОПОВ Антон Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения;

e-mail: ANPopov@usurt.ru

*ПОПОВА Мария Леонидовна* – инженер НИЛ «Компьютерные системы автоматизи» Уральского государственного университета путей сообщения;

e-mail: mariyausko@gmail.com

© Бушуев С. В., Попов А. Н., Попова М. Л., 2019