

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.212.5:681.5

В. В. БУРЧЕНКОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Вагони», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, Гомель, Республика Беларусь, 246653, тел. +37 (529) 53 03 784, эл. почта lenadva@tut.by, ORCID 0000-0002-3664-4655

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Цель. Основной целью этой работы является анализ действующих систем автоматического управления роспуском составов на сортировочных станциях, с определением их недостатков и обоснованием необходимости цифровой конкретизации координат положения вагонов и локомотивов на путях надвига и в сортировочном парке с учетом инвентарных номеров подвижных единиц. **Методика.** Исследованы принципы влияния низкочастотных физических воздействий на длину отраженной волны в волоконно-оптическом кабеле, уложенном вдоль рельсов. Обоснована принципиальная пригодность оптоволоконных технологий для распределенного акустического зондирования DAS (Distributed Acoustic Sensing). Дана оценка эффективности применения системы DAS для непрерывного слежения за перемещением вагонов и локомотивов, мониторинга свободности и занятости путей на сортировочных станциях. Использована методика моделирования и технологии настройки рефлектограмм для проведения измерений в волоконно-оптическом кабеле. Проанализировано использование координатно-временной информации для контроля местоположения горочного локомотива, обеспечивающей автоматическое позиционирование подвижных единиц. **Результаты.** Определение координат «окон» в сортировочном парке имеет важное значение для сокращения непроизводительных потерь времени по осаживанию или подтягиванию вагонов, а также излишнего перепробега горочных локомотивов. Полученную информацию от напольных датчиков системы DAS о количестве и типах вагонов в движущемся отцепе можно использовать для выявления «чужаков» на путях сортировочного парка. В этом случае непрерывное слежение за отцепом повысит достоверность информации в подсистеме управления прицельным торможением на спускной части сортировочной горки. Для автоматического определения инвентарных номеров вагонов с помощью специальной компьютерной программы обработки видеоизображений можно использовать автоматизированную систему контроля инвентарных номеров (АСКИН). Для этого программный аппаратный комплекс необходимо дополнить драйвером чтения и записи потоков информации с видеокамер при контроле поездов на входе в парк прибытия сортировочных станций. **Научная новизна.** Оснащение путей сортировочных станций волоконно-оптическими кабелями и аппаратурой системы DAS позволит повысить оперативность управления расформированием и формированием составов в режиме реального времени за счет точного определения координат нахождения локомотивов и вагонов на станционных путях. **Практическая значимость.** Комплексная система автоматического управления сортировочным процессом (КСАУ СП), дополненная системами DAS и идентификации инвентарных номеров вагонов, обеспечит ведение полноценной цифровой поездной и вагонной модели сортировочного процесса на надвигной и спускной частях горки и в сортировочном парке.

Ключевые слова: сортировочные станции; распределенное акустическое зондирование; оптоволоконные датчики; счетчики осей; волоконная брэгговская решетка; подвижной состав; маневровая работа

Введение

Для решения задач по выполнению требований к повышению безопасности работы сортировочных станций, с одновременным сокращением эксплуатационных затрат, необходимо применение эффективных цифровых систем управления горочными локомотивами с высокоточным определением местоположения подвижного состава на путях надвига и в сортировочных парках.

На многих сортировочных станциях внедрены различные устройства и системы автоматизации и централизации контроля и управления, например, комплексная система автоматического управления сортировочным процессом (КСАУ СП), горочная автоматическая локомотивная сигнализация с использованием радиосвязи (ГАЛС Р), горочная микропроцессорная централизация (ГМЦ–ГТСС), автоматизированная система управления сортировочной станцией (АСУ СС), а также ряд других систем контроля и диагностики [4, 7]. Однако к значительному росту производительности труда и перерабатывающей способности сортировочных станций это не привело из-за концентрации усилий большинства разработчиков на создании узкофункциональных систем управления, не интегрированных со смежными устройствами. Ни одна из указанных систем не формирует полноценную адекватную вагонную и поездную модель сортировочного процесса на станции в реальном масштабе времени. Это связано с крайне недостаточным количеством наземных датчиков, фиксирующих координаты размещения подвижных единиц на путях надвига и в сортировочном парке. Эффективная реализация концепции объединения систем в единый поточный комплекс переработки вагонов зависит также от возможности использования идентификаторов вагонов, в качестве которых применяют инвентарные номера подвижного состава [8, 9]. На это указывает опыт эксплуатации систем автоматизированного расформирования – формирования составов в Западной Европе и США, также использующих инвентарные номера вагонов для точного определения местонахождения каждого вагона на сортировочной станции [10]. В Северной Америке введена в эксплуатацию система ав-

томатической радиочастотной идентификации вагонов Amtech стандарта ISO 10374. Систему выпускает компания Amtech Systems Division – подразделение корпорации Intermec Technologies (США). В 1991 г. Ассоциация американских железных дорог приняла решение об обязательной установке кодовых бортовых датчиков Amtech на всех без исключения железнодорожных вагонах и локомотивах. К концу 1997 г. кодовыми бортовыми датчиками Amtech было оборудовано 1,52 млн вагонов и 1 100 локомотивов, на сети установили 3 000 считывателей. В Европе для идентификации транспортных средств используют систему Dynicom – совместную разработку фирм Amtech и Alcatel. Она отличается от североамериканской системы рабочими характеристиками, местами расположения считывателя и датчика. На железнодорожном транспорте систему Dynicom используют во Франции, Швейцарии, Польше, Испании [9].

Цель

В связи с изложенным целью этой работы является анализ действующих систем автоматического управления роспуском составов на сортировочных станциях, с определением их недостатков и обоснованием необходимости цифровой конкретизации координат положения вагонов и локомотивов на путях надвига и в сортировочном парке с учетом инвентарных номеров подвижных единиц.

Методика

Исследованы принципы влияния низкочастотных физических воздействий на длину отраженной волны в волоконно-оптическом кабеле, уложенном вдоль рельсов. Обоснована принципиальная пригодность оптоволоконных технологий для распределенного акустического зондирования DAS (Distributed Acoustic Sensing). Дана оценка эффективности применения системы DAS для непрерывного слежения за перемещением вагонов и локомотивов, мониторинга свободности и занятости путей на сортировочных станциях. Использована методика моделирования и технологии настройки рефлектограмм для проведения измерений в волоконно-оптическом кабеле. Проанализи-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ровано использование координатно-временной информации для контроля местоположения горючего локомотива, обеспечивающей автоматическое позиционирование подвижных единиц.

Результаты

В настоящее время целый ряд развитых железных дорог уделяет повышенное внимание технологиям мониторинга, основанным на распределенных виртуальных акустических датчиках в оптоволокне. Применение технических решений на основе волоконной брэгговской решетки (Fibre Bragg Grating – FBG) подтвердило принципиальную пригодность оптоволоконных технологий для обнаружения прохода колес подвижного состава [5]. Технология FBG предусматривает формирование в оптоволокне посредством лазерного источника сигналов периодической структуры, обладающей свойствами отражателя для импульсов волны определенной длины. В волоконно-оптический кабель передаются световые импульсы высокой частоты с последующей оценкой отраженного сигнала. Звуковые колебания и вибрации влекут за собой изменение интенсивности сигнала обратного рассеяния в режиме реального времени (рис. 1).



Рис. 1. Принцип действия распределенного акустического зондирования

Fig. 1. The operation principle of distributed acoustic sounding

На длину отраженной волны λB оказывает влияние любая вариация физических или механических параметров брегговской решетки [2, 15]. Суть явления выражает известное равенство (1), где первое слагаемое в правой части показывает влияние растяжения на λB , а вторая часть – влияние температуры на λB .

$$\Delta\lambda B = \lambda B(1 - \rho\alpha)\Delta\varepsilon + \lambda B(\alpha + \xi)\Delta T, \quad (1)$$

где $\Delta\lambda B$ – изменение длины волны Брэгга; $\rho\alpha$, α и ξ – коэффициенты фотоупругости, термического расширения и термооптический коэффициент волокна соответственно; $\Delta\varepsilon$ – изменение натяжения; ΔT – изменение температуры.

Для обычных решеток, наблюдаемых в кварцевом волокне при $\lambda B \approx 1550$ нм, чувствительность к растяжению и температуре составляет приблизительно 1,2 пм/με и 10 pm/°C соответственно. Оба члена уравнения (1) независимы. Это значит, что волоконные решетки Брэгга можно использовать для измерения температуры, изолировав волокно от растяжения. Следовательно, зная температуру, можно проводить термокомпенсированные измерения растяжения, за это обычно отвечает вторая изолированная решетка Брэгга [11].

Помимо температуры и растяжения, волоконные решетки Брэгга можно использовать для измерений других физических величин, таких как давление, ускорение, смещение и т. п., встроив их в датчик. Применение технических решений на основе волоконной брэгговской решетки FBG подтвердило принципиальную пригодность оптоволоконных технологий для распределенного акустического зондирования DAS (Distributed Acoustic Sensing), основанного на выявлении изменений в отражениях световых сигналов, посылаемых в кабель лазерным источником. Эти изменения обусловлены воздействием на кабель внешних акустических сигналов низкой частоты. Когерентные световые импульсы заданной частоты посылаются лазерным источником в одномодовое волокно и частично отражаются под действием естественных внешних физических факторов. Интенсивность отраженного сигнала зависит от времени, прошедшего с момента отправки импульса, что позволяет сделать выводы о физических изменениях в определенных участках оптического волокна. Эти изменения могут быть обусловлены корпусным шумом и вибрациями вблизи волоконно-оптического кабеля. Специально разработанные алгоритмы позволяют классифицировать причины изменений, основываясь на выделении обратного рассеяния из отраженного сигнала. Благодаря этому

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

измеряемые сигнатуры могут быть преобразованы в полезную информацию [6].

На основе технологии DAS фирма Frauscher Sensortechnik GmbH (Austria) разработала систему акустического зондирования FAS (Frauscher Acoustic Sensing) (рис. 2). Структурная схема FAS состоит из: оптоволоконного кабеля (Optical Fibre), уложенного вдоль пути (Track); оптического блока (OPTI unit), посылающего высокочастотные световые импульсы в оптоволокно и измеряющего интенсивность обратного рассеяния; блока обработки (PROC unit), преобразующего сигналы в спектры мощности и классифицирующего зарегистрированные события; прикладного блока (APPL unit), определяющего координаты места события и передающего информационные пакеты в пользовательский интерфейс для отображения информации на мониторе (DISP unit) [2].

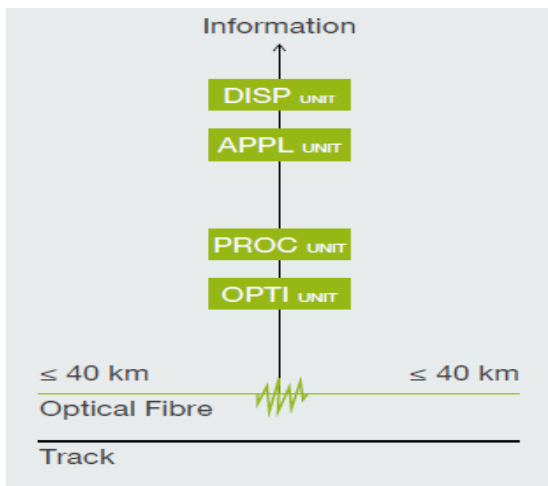


Рис. 2. Структурная схема системы акустического зондирования FAS

Fig. 2. The structural diagram of the acoustic sounding of system FAS

Посредством технологии DAS любое одно-модовое волокно преобразуется в серию последовательно расположенных виртуальных микрофонов. При размещении волоконно-оптических кабелей вдоль железнодорожных путей появляется возможность непрерывного слежения за движением поездов.

В режиме мониторинга технического состояния подвижного состава осуществляется непрерывный контроль излома оси колесной пары, осевой шейки или колеса, контроль дефек-

тов поверхности катания колес подвижного состава, фиксации изломов боковой рамы вагонной тележки, фиксации трещин в рельсах [5]. С помощью системы FAS можно измерять скорость движения поезда и осуществлять взвешивание вагонов на ходу поезда.

Следует отметить, что система FAS позволяет осуществлять как мониторинг технического состояния подвижного состава, так и контроль состояния компонентов пути – рельсов, рельсовых скреплений, балластных подушек. Нарботан опыт применения системы для контроля в целом железнодорожных путей и области вокруг них. Среди других назначений отмечено использование FAS в разных системах контроля и управления на железнодорожном транспорте [5].

На сортировочных станциях система FAS, после реконструкции, может быть применена в виде устройства DAS для непрерывного слежения за перемещением вагонов и локомотивов, мониторинга свободности и занятости путей.

Научная новизна и практическая значимость

Пространственное разрешение чувствительных элементов оптического волокна может быть равным 10 м при укладке оптоволоконного кабеля в грунт. Существенное повышение чувствительности до 0,2 м реализуется при фиксации оптоволоконного кабеля на пружинных элементах крепления рельса к шпалам. При непрерывной длине волокна порядка 1 250 м (равной длине станционного пути) обеспечивается действие примерно 6 250 независимых акустических датчиков, размещенных вдоль рельсовой линии. Фактически осуществляется непрерывный мониторинг всего станционного пути.

Определение порядкового номера вагона в поезде возможно при использовании метчиков прохода колес (датчиков колес подвижного состава) [8]. В отличие от рельсовых цепей, непосредственно устанавливающих свободность или занятость станционных путей, система счета осей конкретизирует сведения о контролируемом подвижном составе. Использование счетчиков импульсов, функционирующих по специальным алгоритмам, дает воз-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

можность осуществлять счет физических вагонов независимо от числа осей в них. Система регистрации прохода колес, построенная на счетчиках импульсов, позволяет однозначно фиксировать отдельные вагоны. Совместное действие устройства DAS, регистрирующего перемещение состава на конкретном пути, и системы регистрации прохода колес реализуют конкретную локализацию каждой подвижной единицы на определенной координате пути. На спускной части сортировочной горки локализация отцепов позволит точно управлять вагонными замедлителями для исключения нагонов отцепов и запуска «чужаков». Система пользовательского интерфейса отображает в удобном виде как данные, полученные непосредственно от системы DAS, так и информацию, сформированную при помощи комбинированных технических решений, включая дополнительно счетчики осей и систему регистрации прохода колес подвижного состава. Обнаруженные с помощью DAS и комбинированного технического решения события классифицируются, и полученная информация предоставляется в наглядном виде [12].

При моделировании и настроечных регулировках устройства DAS определен способ крепления оптоволоконного кабеля к рельсам, расчетным методом определены величина оконечных согласующих сопротивлений и параметры так называемых «мертвых зон» оптоволоконного кабеля. Осуществлена имитация отражающих событий с определением координат. На рис. 3 представлена рефлектограмма с отметками отражающих событий в левой части. Амплитуда сигналов составила -3 дБ. На конце волокна зафиксировано мощное отражающее событие помехи с амплитудой -8 дБ. Для предотвращения этого влияния и согласования параметров на конце волокна устанавливают специальный терминальный блок – аттенюатор (Terminator) [14, 16]. После подключения терминального блока рефлектограмма приобретает вид (рис. 4), подтверждающий готовность системы DAS к проведению измерений.

При регулировке системы DAS регистрируется контроль место нахождения локомотивов с измерением скорости и направления движения, а также длины подвижного состава.

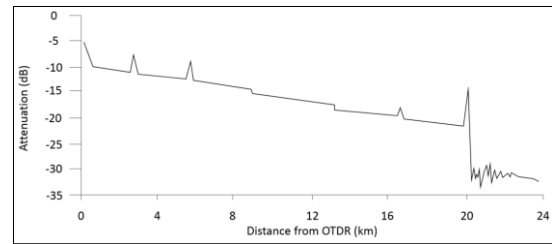


Рис. 3. Рефлектограмма для настройки системы DAS

Fig. 3. Reflectogram for setting the DAS system

В ходе испытаний, после аналого-цифрового преобразования и цифровой фильтрации, результаты контроля отображаются на главном мониторе системы [1, 13]. На рис. 5 приведено информационное окно системы DAS. Указана фактическая скорость движения поезда и время фиксации результатов контроля.

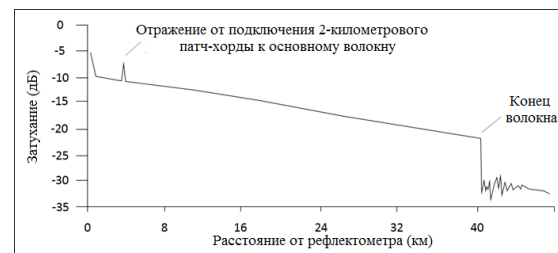


Рис. 4. Рефлектограмма системы DAS после регулировки

Fig. 4. Reflectogram after the DAS system adjustment

Использование опции GPS дает возможность указывать географические координаты местонахождения поезда.

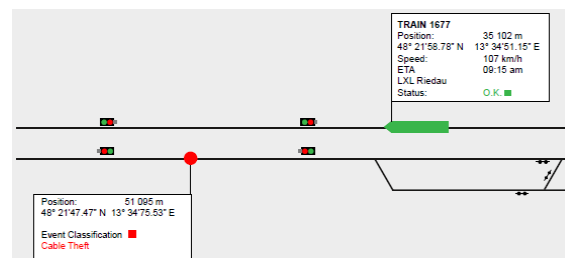


Рис. 5. Пример информационного окна системы DAS

Fig. 5. Example of the information window of the DAS system

Для автоматической идентификации инвентарных номеров вагонов с помощью специальной компьютерной программы обработки видеоизображений можно использовать систему

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

відеоконтроля бокових стенок и крыши подвижных единиц. Сокращение финансовых издержек возможно при использовании видеокамер и программных продуктов автоматизированной системы коммерческого осмотра поездов и вагонов АСКО ПВ. Для универсализации систем АСКО ПВ и идентификации номеров вагонов программно-аппаратный комплекс (ПАК) необходимо дополнить драйвером чтения и записи потоков информации с видеокамер при контроле поездов на входе в парки прибытия сортировочных станций, драйвером контроля базы данных натуральных листов, а также автоматического поиска и присоединения ТГНЛ к выходным базам данных с фактическими инвентарными номерами вагонов [3].

Качество изображений, формируемых цветными IP-видеокамерами с разрешением 2М (1 920×1 080 пикселей) и кодеком H.264/H.265, позволит детально рассмотреть конструкции вагонов и надписи на их стенках с детализацией изображений не более 2–4 мм на один пиксель. Для надежности считывания инвентарных номеров вагонов освещенность участков видеосъемки должна быть не менее 50 лк.

Процент распознавания при списывании цифр с двух сторон вагона и последующей сравнительной обработке должен быть не менее 99 % от числа номеров, нанесенных по стандарту [12]. Затем осуществляется автоматическое сравнение с номерами вагонов из ТГНЛ и восстановление нераспознанных цифр по ТГНЛ. Программный модуль определяет тип и физическую длину вагона на основании инвентарного номера. При необходимости вычислительный комплекс запрашивает отсутствующие сведения из банка данных технической конторы, в которой предполагается наличие терминала по автоматизированной обработке натуральных листов на прибывающие поезда. Сформированный таким образом пакет данных на прибывший поезд с инвентарными номерами вагонов автоматиче-

ски передается в АСУСС для составления плана расформирования составов.

Один кабельный распределенный акустический сенсор заменяет собой тысячи точечных датчиков и снижает потребность в дополнительных системах для мониторинга передвижений локомотивов и вагонов по станционным путям. Существенно повышается оперативность управления расформированием составов в режиме реального времени за счет точного определения место нахождения влияющих событий вдоль волоконно-оптического кабеля.

Горочный комплекс КСАУ СП, дополненный системами DAS и идентификации инвентарных номеров вагонов, обеспечит ведение полноценной цифровой поездной и вагонной модели сортировочного процесса на надвигной и спускной частях горки и в сортировочном парке. При этом «привязка» инвентарного номера к конкретной подвижной единице существенно сократит количество ручных операций по управлению горочными локомотивами и обеспечит полную автоматизацию управления вагонными замедлителями.

Выводы

Исследование процессов физического воздействия влияющих событий на изменение длины отраженной волны в волоконно-оптическом кабеле показало принципиальную пригодность оптоволоконных технологий для распределенного акустического зондирования. Использование этой технологии на железнодорожных путях сортировочных станций обеспечит точное позиционирование подвижных единиц в координатно-временной системе расформирования и формирования составов, что позволит реализовать полноценную цифровую модель сортировочного процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов Л. А. Оценки погрешности и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования в системах автоматического контроля и управления. *Электротехника*. 2017. № 9. С. 29–36.
2. Бахтиярова Е. А., Чигамбаев Т. О., Сансызбай К. М. Технология будущего: распределенное акустическое зондирование DAS в режиме реального времени. *Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика* : материалы XLI Междунар. науч.-практ. конф. Алматы : КазАТК им. М. Тынышпаева, 2017. С. 49–54.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

3. Бурченков В. В., Холодилов О. В. Техническая диагностики состояния подвижного состава и перспективы ее развития в Западной Европе и США. *Вестник БелГУТа : Наука и транспорт*. 2017. № 1 (34). С. 5–9.
4. Гапанович В. А., Шабельников А. Н. Системы безопасности в управлении технологическим процессом сортировочных станций. *Автомат., связь, информат.* 2014. № 11. С. 2–5.
5. Розенберг Е. Н., Озеров А. В. Построение систем управления и обеспечения безопасности движения поездов на ВСМ. *Железнодорожный транспорт*. 2018. № 3. С. 34–41.
6. Розенбергер М., Халл А. Распределенное акустическое зондирование как основа для железнодорожных приложений. *Железные дороги мира*. 2016. № 12. С. 57–65.
7. Савицкий А. Г., Шурдак А. В., Мошкин И. В. Инновационный подход к управлению движением на станциях. *Автомат., связь, информат.* 2016. № 3. С. 24–27; № 4. С. 36–38; № 5. С. 25–28.
8. Андерс Э., Берндт Т. *Системы автоматизации и телемеханики на железных дорогах мира* : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / пер. с англ.; под ред. Г. Тега, С. Власенко. Москва : Интекст, 2010. 496 с.
9. Шабельников А. Н., Иванченко В. Н. Зарубежные системы автоматизации сортировочных горок. *Автомат., связь, информат.* 2014. № 1. С. 30–33. № 3. С. 45–48.
10. Шобель А. Напольные системы мониторинга подвижного состава. *Железные дороги мира*. 2014. № 3. С. 51–59.
11. Бурдин А. В. Василец А. А., Бурдин В. А., Морозов О. Г., Кузнецов А. А., Нуреев И. И., Фасхутдинов Л. И., Кафарова А. М., Минаева А. Ю., Севрук Н. Л. Результаты экспериментальных исследований маломодовых режимов волоконных брэгговских решеток на многомодовых световодах. *Infokommunikacionnye tehnologii*. 2016. Vol. 14. № 1. С. 19–33. DOI: <https://doi.org/10.18469/ikt.2016.14.1.03>
12. Burchenkov V. V. Decision making based on the results of automatic diagnostics of parts and assemblies of rolling stock. *World of Transport and Transportation*. 2019. Vol. 17. Iss. 4. P. 232–243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-232-243>
13. Kong F., Li W., Yao J. Transverse load sensing based on a dual-frequency optoelectronic oscillator. *Optics Letters*. 2013. Vol. 38. Iss. 14. P. 2611–2613. DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.38.002611>
14. Ogawa K., Koyama S., Haseda Y., Fujita K., Ishizawa H., Fujimoto K. Wireless, portable fiber grating interrogation system employing optical edge filter. *Sensors*. 2019. Vol. 19 (14). P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19143222>
15. Willis M. E., Barfoot D., Ellmauthaler A., Wu X., Barrios O., Erdemir C., Quinn D. Quantitative quality of distributed acoustic sensing vertical seismic profile data. *The Leading Edge*. 2016. Vol. 35. Iss. 7. P. 562–648. DOI: <https://doi.org/10.1190/tle35070605.1>
16. Yao J. P. Microwave photonics for high resolution and high speed interrogation of fiber Bragg grating sensors. *International Photonics and Optoelectronics Meetings*. 2015. Vol. 34. P. 230–242. DOI: <https://doi.org/10.1364/oedi.2014.oth2c.1>

В. В. БУРЧЕНКОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Вагони», Білоруський державний університет транспорту, вул. Кірова, 34, Гомель, Республіка Білорусь, 246653, тел. +37 (529) 53 03 784, ел. пошта lenadva@tut.by, ORCID 0000-0002-3664-4655

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ДИСТАНЦІЙНОГО АКУСТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ

Мета. Основною метою цієї роботи є аналіз наявних систем автоматичного управління розпуском составів на сортувальних станціях, із визначенням їх недоліків та обґрунтуванням необхідності цифрової конкретизації координат знаходження вагонів і локомотивів на коліях насування і в сортувальному парку з урахуванням інвентарних номерів рухомих одиниць. **Методика.** Досліджено принципи дії низькочастотних фізичних впливів на довжину відбитої хвилі у волоконно-оптичному кабелі, укладеному вздовж рейок. Обґрунтовано принципову придатність оптоволоконних технологій для розподіленого акустичного зондування DAS (Distributed Acoustic Sensing). Оцінено ефективність застосування системи DAS для безперервного стеження за переміщенням вагонів і локомотивів, моніторингу вільності і зайнятості колій на сортувальних станціях. Застосовано методику моделювання та технології налаштування рефлектограм для проведення вимірювань у волоконно-оптичному кабелі. Проаналізовано використання координатно-часової інформації для контролю місця

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: <https://doi.org/10.15802/stp2020/199482>

© В. В. Бурченков, 2020

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

знаходження гіркового локомотива, що забезпечує автоматичне позиціонування рухомих одиниць. **Результат.** Визначення координат «вікон» у сортувальному парку має важливе значення для скорочення непродуктивних утрат часу з осаджування або підтягування вагонів, а також зайвого перепробігу гіркових локомотивів. Отриману інформацію від підлогових датчиків системи DAS про кількість і типи вагонів у рухомому відчепі можна використовувати для виявлення «чужинців» на коліях сортувального парку. У цьому випадку безперервне стеження за відчепом підвищить достовірність інформації в підсистемі управління прицільним гальмуванням на спускній частині сортувальної гірки. Для автоматичного визначення інвентарних номерів вагонів із допомогою спеціальної комп'ютерної програми обробки відеозображень можна використати автоматизовану систему контролю інвентарних номерів (АСКІН). Для цього програмний апаратний комплекс необхідно доповнити драйвером читання і запису потоків інформації з відеокамер під час контролю поїздів на вході в парк прибуття сортувальних станцій. **Наукова новизна.** Оснащення колій сортувальних станцій волоконно-оптичними кабелями й апаратурою системи DAS дозволить підвищити оперативність управління розформуванням й формуванням поїздів у режимі реального часу за рахунок точного визначення координат перебування локомотивів і вагонів на станційних коліях. **Практична значимість.** Комплексна система автоматичного управління сортувальним процесом (КСАУ СП), доповнена системами DAS та ідентифікації інвентарних номерів вагонів, забезпечить ведення повноцінної цифрової поїзної і вагонної моделі сортувального процесу на насувній та спускній частині гірки і в сортувальному парку.

Ключові слова: сортувальні станції; розподілене акустичне зондування; оптоволоконні датчики; лічильники осей; волоконна бреггівська решітка; рухомий склад; маневрова робота

V. V. BURCHENKOV^{1*}

^{1*}Dep. «Cars», Belarusian State Transport University, Kirova St., 34, Gomel, 246653, Republic of Belarus, tel. +37 (529) 53 03 784, e-mail lenadva@tut.by, ORCID 0000-0002-3664-4655

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF WORK OF MARSHALLING YARDS BASED ON REMOTE ACOUSTIC SOUNDING

Purpose. The article analyzes the automatic control systems for train sorting at marshalling yards. It indicates their shortcomings and substantiates the need for digital specification of the coordinates of cars and locomotives position on humping tracks and in the marshalling yard, taking into account inventory numbers of rolling units. **Methodology.** The principles of influence of low-frequency physical effects on the reflected wavelength in a fiber-optic cable laid along the rails are studied. The fundamental suitability of fiber-optic technologies for distributed acoustic sounding DAS (Distributed Acoustic Sensing) is substantiated. The use efficiency of the DAS system at marshalling yards for continuous monitoring the movement of cars and locomotives and track vacancy and occupancy at sorting stations was assessed. The simulation methodology and reflectogram setting technology for measurements in a fiber-optic cable were used. The use of coordinate-time information to control the location of the hump locomotive, which ensures the automatic positioning of rolling units, is analyzed. **Findings.** Of great importance is the coordinate determination of the «gaps» at the classification yard in order to reduce unproductive time losses for backup shunting or pulling of cars. The information received from the DAS floor sensors about the number and type of cars in the moving cut can be used to identify «outsiders» at the classification yard. In this case, continuous tracking of the cut will increase the information reliability in the target braking control subsystem at the descending part of the marshalling yard. For automatic determining the inventory numbers of cars using a special computer program for processing video images, it is possible to use the automatic control system of inventory numbers of cars ASKIN. To do this, the software and hardware complex must be supplemented with a driver for reading and writing information flows from video cameras when monitoring trains at the entrance of the receiving tracks of marshalling yards. **Originality.** Equipment of sorting station tracks with fiber-optic cables and DAS system equipment will make it possible to increase the management efficiency of train making and breaking-up in real time by accurately determining the coordinates of locomotives and cars on station tracks. **Practical value.** The comprehensive automatic control system of sorting process, supplemented by the DAS systems and the identification of inventory numbers of cars, will ensure maintenance of a complete digital train and car model of the sorting process at the humping and descending parts of the hump and in the sorting yard.

Keywords: marshalling yards; distributed acoustic sounding; fiber-optic sensors; axis counters; fiber Bragg grating; rolling stock; shunting operation

REFERENCES

1. Baranov, L. A. (2017). Estimation of error and noise immunity of the analog-to-digital conversion path in automatic control and control systems. *Electrical engineering*, 9, 29-36. (in Russian)
2. Bakhtiyarova, Ye. A., Chigambaev, T. O., & Sansyzbay, K. M. (2017). Tekhnologiya budushchego: raspredelennoe akusticheskoe zondirovanie DAS v rezhime realnogo vremeni. *Innovative technologies in transport: education, science, and practice: materials of the XLI International science-practice. conf.* Almaty: KazATK im. M. Tynyshpaev, 49-54. (in Russian)
3. Burchenkov, V. V., & Kholodilov, O. V. (2017). Technical diagnostics of the state of rolling stock and prospects for its development in Western Europe and the USA. *Bulletin of BelGUT: Science and Transport*, 1(34), 5-9. (in Russian)
4. Gapanovich, V. A., & Shabelnikov, A. N. (2014). Sistemy bezopasnosti v upravlenii tekhnologicheskim protsessom sortirovochnykh stantsiy. *Automation, communication and Informatics*, 11, 2-5. (in Russian)
5. Rozenberg, Ye. N., Ozerov, A. V. (2018). Postroenie sistem upravleniya i obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov na VSM. *Zhelezнодороzhnyy transport*, 3, 34-41. (in Russian)
6. Rozenberger, M., & Khall, A. (2016). Raspredelennoe akusticheskoe zondirovanie kak osnova dlya zhelezнодороzhnykh prilozheniy. *Zheleznye dorogi mira*, 12, 57-65. (in Russian)
7. Savitskiy, A. G., Shurdak, A. V., & Moshkin, I. V. (2016). Innovatsionnyy podkhod k upravleniyu dvizheniem na stantsiyakh. *Automation, communication and Informatics*, 3, 24-27; 4, 36-38; 5, 25-28. (in Russian)
8. Anders, E., & Berndt, T. (2010). *Systems of automatics and telemechanics on the Railways of the world: textbook for universities*. By G. Teega, S. Vlasenko. Moscow: Intext. (in Russian)
9. Shabelnikov, A. N., & Ivanchenko, V. N. (2014). Zarubezhnye sistemy avtomatizatsii sortirovochnykh gorok. *Automation, communication and Informatics*, 1, 30-33; 3, 45-48. (in Russian)
10. Shobel, A. (2014). Napolnye sistemy monitoringa podvizhnogo sostava. *Zheleznye dorogi mira*, 3, 51-59. (in Russian)
11. Bourdine, A. V., Vasilets, A. A., Bourdin, V. A., Morozov, O. G., ... & Kafarova, A. M. (2016). Results of experimental studies of multimode fiber Bragg gratings on multimode fibers. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 14(1), 19-33. DOI: <https://doi.org/10.18469/ikt.2016.14.1.03> (in Russian)
12. Burchenkov, V. V. (2019). Decision making based on the results of automatic diagnostics of parts and assemblies of rolling stock. *World of Transport and Transportation*, 17(4), 232-243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-232-243> (in Russian and English)
13. Kong, F., Li, W., & Yao, J. (2013). Transverse load sensing based on a dual-frequency optoelectronic oscillator. *Optics Letters*, 38(14), 2611-2613. DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.38.002611> (in English)
14. Ogawa, K., Koyama, S., Haseda, Y., Fujita, K., Ishizawa, H., & Fujimoto, K. (2019). Wireless, Portable Fiber Bragg Grating Interrogation System Employing Optical Edge Filter. *Sensors*, 19(14), 1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19143222> (in English)
15. Willis, M. E., Barfoot, D., Ellmauthaler, A., Wu, X., Barrios, O., Erdemir, C., ... & Quinn, D. (2016). Quantitative quality of distributed acoustic sensing vertical seismic profile data. *The Leading Edge*, 35(7), 562-648. DOI: <https://doi.org/10.1190/tle35070605.1> (in English)
16. Yao, J. (2015). Microwave photonics for high resolution and high speed interrogation of fiber Bragg grating sensors. *International Photonics and OptoElectronics Meetings*, 34, 230-242. DOI: <https://doi.org/10.1364/oedi.2014.oth2c.1> (in English)

Поступила в редколлегию: 01.10.2019

Принята в печать: 30.01.2020