

С. В. БИБИКОВ, М. Е. МАРКИСОНОВ, С. А. ПАНАСЮК

## СОВРЕМЕННАЯ МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ О ПРИБЛИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ

Проанализированы системы оповещения работников путевых бригад о приближении подвижного состава. Проведен сравнительный анализ предложенной авторами мобильной системы оповещения и зарубежных систем.

*Ключевые слова:* системы оповещения, приближение поезда, виброакустические колебания.

При возросшей скорости подвижного состава и сокращающихся межпоездных интервалах существующие системы оповещения о приближении поезда не могут надежно решить задачу безопасности рабочих, занятых текущим ремонтом пути.

Рассмотренные в [1, 2] системы оповещения, в том числе „Сирена“, разработанная ООО „НИИАС“, являются вспомогательными системами обеспечения безопасности, так как сохраняют существующий порядок ограждения места производства работ сигнальщиками, работают по сигналам сигнализации, централизации, блокировки (СЦБ) и не являются средствами персонального оповещения.

На железных дорогах Японии применяются системы мультимедийной мобильной связи, в которой объединены проводные линии связи и радиосвязь [3]. Местоположение подвижного состава фиксируется с помощью сигнала передатчика, установленного на локомотиве, или на посту СЦБ, поступающего на приемник ретранслятора, который, в свою очередь, посылает сигнал по радиоканалу на портативное устройство. Каждый работник снабжен таким устройством и может оперативно получить всю информацию по обстановке.

Семейство независимых от сигналов СЦБ систем оповещения представляют Minime1 95, разработанная компанией Schweizer Electronic (Швейцария) [4], и система оповещения на основе радиосвязи Autoprowa® фирмы ZÖLLNER — Signal System Technologies [5]. Minime1 95 может быть сконфигурирована как полностью автоматическая, полуавтоматическая, управляемая сигналами или вручную. Модули системы Autoprowa® могут соединяться кабелями либо обмениваться сигналами по радиоканалу. В результате испытаний системы Autoprowa® на Октябрьской железной дороге были выявлены следующие недостатки: система не обеспечивает оповещение операторов дефектоскопных тележек [6]; использование системы малочисленной ремонтной бригадой затруднительно; датчики срабатывают только в момент

проезда поезда мимо них, что приводит к необходимости ограждения на большом расстоянии от участка работ.

По своим свойствам наиболее близок к системам, не зависящим от СЦБ, отечественный комплекс „КОБРА“ (разработка группы компаний „ТВЕМА“ [7]), но вопросы сертификации его надежности и безопасности пока не решены.

В настоящее время специалистами ОАО „НИИАС“ разработана координатная система контроля и оповещения на основе спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS [8]. Источником информации о приближении подвижной единицы к месту работ является бортовой оповещатель. В качестве канала передачи данных используется GSM. Преимуществом системы является автономность от сигналов СЦБ. Недостатками — необходимость наличия сети GSM, а также оснащения локомотивного парка и специального самоходного подвижного состава бортовыми оповещателями.

С 2009 г. в ООО „ЦРТ“ ведется разработка переносного сигнализатора для оповещения работников путевых бригад о приближении поезда. Разработано автономное переносное устройство оповещения „Сигнализатор П“, в котором используется принцип анализа виброакустических колебаний, создаваемых в рельсах приближающимся поездом. Устройство не зависит ни от сигналов СЦБ, ни от наличия оповещателя на приближающемся поезде. „Сигнализатор П“ прошел опытную эксплуатацию на Октябрьской железной дороге в 2011 г. Устройство устойчиво обнаруживает приближающийся поезд на бесстыковом пути за 90—120 с до его проезда по месту установки. Но если между поездом и местом установки устройства имеются неоднородности пути (мосты, эстакады либо стрелочные переводы), виброакустический сигнал значительно ослабевает. Интервал времени от момента обнаружения приближающегося поезда до его проезда по месту установки устройства оповещения уменьшается до неприемлемых значений. Это является физическим ограничением принципа работы.

Существует несколько путей решения задачи безопасности оповещения.

1. Обнаруживать приближающийся поезд за неоднородностью пути: повысить качество принимаемого сигнала, чувствительность датчиков, улучшить обработку сигнала до момента аналого-цифрового преобразования.

2. Усовершенствовать алгоритмы обнаружения для принятия решения по слабому сигналу в условиях сильных шумов.

3. Вместо одиночного устройства оповещения использовать распределенную систему датчиков.

Разработанная в ЦРТ оригинальная конструкция узла датчика, снимающего виброакустический сигнал с шейки рельса, значительно повысила чувствительность и соотношение „сигнал—внешний акустический шум“. Переработаны входные цепи устройства, введено раздельное усиление входного сигнала по двум полосам для уменьшения влияния шума. Однако шум, который постоянно присутствует в рельсе, принимается и преобразуется датчиком вместе с сигналом. Согласно экспериментальным данным, это шум со спектральной плотностью вида  $1/F$  (розовый шум) с усиленными областями 400—600, 800—1200 Гц и отдельными тонами на более высоких частотах. Его интенсивность различается более чем на 30 дБ в городе и за городом. По рельсам постоянно передаются сигналы СЦБ. Возвратная цепь тягового тока до 400 А также проходит по рельсу. Работающая на путях бригада сама производит различные шумы.

Экспериментальные исследования показали, что сигнал, несущий информацию о приближении поезда и присутствующий во всех ситуациях, порождается шумом качения или взаимодействия колесных пар и рельсов. Вблизи движущегося поезда сигнал шума качения имеет широкий, практически равномерный спектр, вплоть до ультразвуковых частот. Амплитуда сигнала и соотношение спектральных компонент зависят от скорости поезда и качества поверхности рельса. Отличительное свойство шума качения приближающегося поезда — его

специфическое нарастание, зависящее от расстояния, скорости и качества рельсового пути. Зависимость амплитуды сигнала от расстояния до поезда установлена экспериментально:

$$A = K \frac{A_0}{S}, \quad (1)$$

где  $A$  — амплитуда сигнала в точке установки датчика,  $A_0$  — исходная амплитуда сигнала в точке нахождения поезда,  $S$  — расстояние от поезда до точки установки датчика,  $K$  — коэффициент качества пути, определяемый типом шпал и скреплений.

При приближении поезда  $S$  можно представить как

$$S = S_0 - Vt,$$

а выражение (1) примет вид:

$$A = K \frac{A_0}{S_0 - Vt}, \quad (2)$$

где  $S_0$  — условное начальное расстояние от датчика до поезда, на котором сигнал становится различимым,  $V$  — скорость поезда,  $t$  — текущее время.

Коэффициент  $K$  является функцией частоты  $K = K(f)$ , так как рельсовый путь обладает резонансной структурой и различными свойствами для виброакустических колебаний разных частот.

Рассмотрим внимательно выражение (2). Для этого запишем его в виде:

$$A = \frac{K}{V} \frac{A_0}{S_0/V - t}. \quad (3)$$

Параметр  $S_0/V$  имеет размерность времени, назовем его *временем захвата сигнала*. Считаем, что первичное обнаружение сигнала, характеристики которого схожи с сигналом приближения поезда, происходит при  $S_0/V=65—70$  с. В этот момент включается алгоритм принятия решения об оповещении. Предполагается, что 15 с достаточно для принятия окончательного решения. Амплитуда сигнала в момент его захвата обратно пропорциональна скорости поезда.

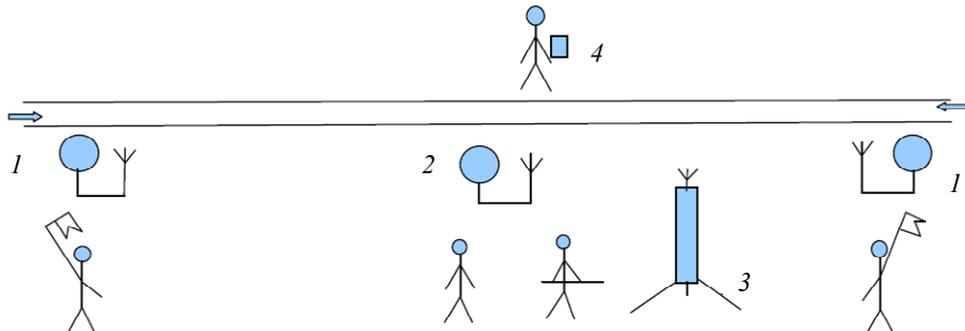
В технической акустике принято правило для шума качения движущегося поезда — его интенсивность нарастает на 9 дБ на каждое удвоение скорости, начиная ориентировочно с 35 км/ч. Это правило не действует для виброакустических колебаний, распространяющихся вдоль рельсового пути. По экспериментальным данным, указанная зависимость интенсивности шума от скорости приближающегося поезда наблюдается только на прямых участках пути. В кривых большого радиуса, на подъемах, спусках и при их комбинациях стабильной зависимости интенсивности шума качения от скорости поезда не наблюдается. Поэтому  $A_0$  в (3) полагаем постоянной величиной.

Изменение характера неравномерности спектра шума при приближении поезда на большом расстоянии от датчика позволило применить соответствующие алгоритмы анализа сигнала. Они дают возможность повысить показатели безопасности оповещения: время и надежность обнаружения подвижного состава. Но в случае физического разрыва рельсового пути на стрелочном переводе виброакустические колебания распространяются только по элементам строения пути, и полезный сигнал практически отсутствует. Таким образом, сфера безопасного применения одиночного устройства оповещения остается достаточно узкой: перегоны бесстыкового пути без неоднородностей либо бесстыковые входные пути станций, также без неоднородностей пути.

С целью расширения сферы применения устройства „Сигнализатор П“ и повышения безопасности авторами предложена система оповещения, которая совмещает в себе преимущества систем с радиоканалом, рассмотренных выше, и датчиков дистанционного обнаружения поезда. Согласно „Эксплуатационно-техническим требованиям на системы оповещения работников, выполняющих работы на перегонах и станциях, о приближении железнодорожного подвижного состава“, применение систем оповещения о приближении подвижного со-

става не отменяет необходимости ограждения мест работы. На рисунке приведена система оповещения, она содержит:

- дистанционные ограждающие датчики приближения поезда с радиоканалом (в количестве до 6 штук);
- контрольный датчик 2 приближения поезда с радиоканалом;
- основной блок обработки и формирования сигнала оповещения 3 с радиоканалом;
- устройства индивидуального оповещения 4 с радиоканалом, работающие в пределах прямой видимости (до 200 м).



Должна быть гарантирована дальность функционирования устройств 1 и 3 не менее 2,5 км.

Датчики 1 и 2 используют принцип анализа виброакустических колебаний, возникающих в рельсе при приближении подвижного состава.

Основной блок 3 содержит устройство обеспечения радиосвязи с датчиками системы, мощную сирену и блок оптической индикации.

Преимущества системы:

- система может продублировать сигналиста в случае возникновения непредвиденных ситуаций;

- промежуточные сигналисты при плохой видимости или на искривленных участках не требуются.

Система может быть усовершенствована так, чтобы постоянное присутствие сигналиста на месте установки удаленного датчика не потребовалось, достаточно только установить и активировать датчик.

Система оповещения (см. рисунок) спроектирована так, чтобы каждый добавляемый элемент повышал надежность системы и безопасность оповещения:

- одиночный основной блок 3 с датчиком 2, установленным рядом с ним, удовлетворяет всем требованиям к системе оповещения на бесстыковых путях без неоднородностей, поезд обнаруживается гарантированно за 50 с, ограждение места работ не требуется;

- в случае неоднородностей пути или стрелочных переводов в „пятидесятисекундной зоне“ — датчик 1 с радиоканалом, установленный за неоднородностью пути, повышает безопасность оповещения, подавая сигнал раньше, чем это сделает основной блок 3 с установленным рядом с ним датчиком 2;

- установка промежуточных датчиков 1 повышает надежность системы за счет дублирования;

- оснащение работников путевых бригад, выполняющих задания в отдалении от основного блока 3, и индивидуальными устройствами 4 повышает безопасность оповещения в условиях протяженного места работ.

Таким образом, создание безопасных систем оповещения, не зависящих от сигналов СЦБ и локомотивных бортовых оповещателей, достигается при использовании распределенных датчиков. В частности, предложенная система оповещения, в которой соединены преимущества систем с радиоканалом и дистанционных датчиков обнаружения приближающегося

поезда, может решить задачу обеспечения безопасности путевых рабочих в широком диапазоне условий применения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щелконогов С. В. Анализ современных и перспективных систем предупреждения путевых работников о приближении подвижного состава // Молодой ученый. 2012. № 6. С. 61—63.
2. Ульянов В. М., Меламед Ю. И., Болотин В. И., Жуков В. И., Федосов В. Д. Автоматическое устройство оповещения о приближении подвижного состава // Автоматика. Связь. Информатика. 2001. № 5. С. 38—42.
3. Система предупреждения при путевых работах // Железные дороги мира. 2003. № 12 [Электронный ресурс]: <<http://www.css-rzd.ru/zdm/12-2003/03157.htm>>.
4. Minime1 95 [Электронный ресурс]: <<http://www.schweizer-electronic.co.uk/products/LOWS-Equipment-MINIMEL95.html>>.
5. Autoprowa® — TrackWarningSystems [Электронный ресурс]: <<http://www.zoellner.de/index.php/en/produkte/autoprowa>>.
6. Сальникова И. Россия — не Европа [Электронный ресурс]: <<http://zdr.gudok.ru/pub/21/136746/>>.
7. Комплекс обеспечения безопасности работ „КОБРА“ [Электронный ресурс]: <[http://www.tvema.ru/ru/productList\\_3781.html](http://www.tvema.ru/ru/productList_3781.html)>.
8. Новиков В. Г., Алабушев И. И. Координатная система контроля и оповещения // Вестн. железнодорожного транспорта. 2008. № 1. С. 45—48.

#### Сведения об авторах

- Сергей Викторович Бибиков** — ООО „ЦРТ“, Санкт-Петербург; заместитель технического директора; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, кафедра речевых информационных систем; старший преподаватель; E-mail: bibikov@speechpro.com
- Максим Евгеньевич Маркисонов** — ООО „ЦРТ“, Санкт-Петербург; старший менеджер отдела продаж; E-mail: mme@speechpro.com
- Сергей Александрович Панасюк** — Управление охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО „Российские железные дороги“, Москва; главный специалист; E-mail: panasyuksa@gmail.com

Рекомендована кафедрой  
речевых информационных систем

Поступила в редакцию  
22.10.12 г.