

Сервис прогнозирования временных параметров работы железнодорожного переезда



Д. В. Ефанов,
д. т. н., доцент, руководи-
тель направления систем
мониторинга
и диагностики
ООО «ЛокоТех-Сигнал»



Д. Г. Плотников,
к. т. н., доцент кафедры
«Транспортные и тех-
нологические системы»
Санкт-Петербургского
политехнического универ-
ситета Петра Великого



Г. В. Осадчий,
технический директор
ООО НТЦ «Комплексные
системы мониторинга»

Авторами разработана самообучающаяся система прогнозирования временных параметров работы железнодорожного переезда. Преимущество разработанной системы состоит в потенциальной увязке с другими мобильными навигационными системами, что дает возможность оптимизировать движение автомобильного транспорта.

Транспортные системы построены таким образом, что пути и коридоры движения разных видов транспорта могут пересекаться. Например, линии городского рельсового наземного транспорта пересекаются с автомобильными дорогами, а они — с магистральными железными дорогами. В местах пересечений приоритет отдается рельсовому транспорту. Наиболее сложная в техническом плане ситуация складывается с пересечениями автомобильных и железных дорог в одном уровне — на железнодорожных переездах. Тормозной путь железнодорожной подвижной единицы существенно зависит от скорости ее движения и веса. Сила трения колесо-рельс не сравнима с силой трения покрышек автомобильного транспорта об асфальт, поэтому для безопасного проследования поездом переезда он ограждается от внешних дестабилизирующих факторов (особенно от действий водителей автотранспорта) средствами железнодорожной автоматики и сигнализации [1]. Состав и количество средств ограждения зависят от категории переезда и от того, осуществляется ли по нему скоростное движение поездов. Переезды могут ограждаться светофорной и звуковой сигнализацией, автошлагбаумами, заградительными плитами и даже противотаранными шлагбаумами (например, на линиях скоростного сообщения). Для повышения безопасности переезды могут охраняться: дежурный следит за дорожной обстановкой и может воздействовать на средства автоматики и передачи информации о состоянии переезда машинисту. Отметим, что и сегодня данные о происшествии на переезде передаются машинисту при помощи включения заградительного светофора, требующего немедленной остановки поезда. Водитель

автотранспорта вынужден довольствоваться скудным набором информации от средств автоматики и сигнализации.

Вследствие указанных обстоятельств и недостаточной информированности участников движения о состоянии переездов на них отмечается много аварий и катастроф. Например, в отчете по безопасности движения стран Европейского Союза переезды занимают второе место по аварийности со случаями гибели участников движения [2]. В некоторых европейских странах переезды ликвидируются и строятся путепроводы, однако для массового распространения столь радикальные меры, сопряженные со значительными капиталовложениями, не подходят. В обозримом будущем не ожидается существенного сокращения числа переездов по всему миру. Например, компания Network Rail объявила о сохранении более восьми тысяч переездов на железных дорогах Великобритании (рис. 1).

Проблема обеспечения безопасности на переездах рассмотрена в большом количестве публикаций, например, в [3–10], однако никакого действенного технического решения до сих пор нет. В качестве меры повышения безопасности обычно предлагается строительство разноуровневых развязок, что в большинстве случаев оказывается невозможным.

В число ключевых проблем аварийности на переездах входят деструктивные действия человека, который в отсутствие необходимых сведений о технологических особенностях работы переезда или вследствие неисправности технических средств автотранспорта либо средств автоматики, расположенных на переезде, оказывается в зоне непосредственного пересечения автомобильной и железной дорог в момент движения поезда.

Существенно повысить безопасность на переездах можно за счет большей информативности о состоянии переезда, а также прогнозирования времени, через которое он закрывается и открывается для движения автотранспорта. Такая информация должна быть не только доступна на информационных табло и разнообразных мобильных приложениях, но и интегрирована в мобильные навигационные системы, источников информации о движении поезда должно стать больше.

Современные технические решения по обеспечению безопасности переездов

Работа железнодорожной автоматики и сигнализации по обеспечению безопасности движения поездов и автотранспорта на переездах регламентируется техническими решениями, разработанными в 2004 г. В альбомах типовых материалов для проектирования «Схемы переездной сигнализации для переездов, расположенных на перегонах, при любых средствах сигнализации и связи АПС-04» перечислены все варианты подключения схем автоматики. Основное средство обеспечения безопасности движения — светофорная сигнализация. В тот момент, когда срабатывает реле извещения о приближении поезда, на переездном светофоре включаются два красных попеременно мигающих огня, сигнализирующие о запрете занятия автомобильным транспортом переезда. Ряд переездов снабжен переездными светофорами с тремя сигнальными головками. Две из них, расположенные на одном уровне, соответствуют сигнальной системе красных мигающих огней, а третий, находящийся выше, представляет собой белый огонь, который мигающим показанием в отсутствие поезда сигнализирует водителям автотранспорта об исправности технических средств железнодорожной автоматики.

Реле включения извещения непосредственно связано с участком железнодорожного пути перед переездом и срабатывает в момент вступления поезда на такой участок. Иными словами, переезд закрывается для движения автотранспорта заблаговременно. Но указанный участок может иметь значительную длину (более 1 км), а подвижная единица может быть короткой и двигаться с небольшой скоростью. Известно, что длина участка приближения к переезду рассчитывается с учетом следующих особенностей проследования

поезда: необходимости остановки самого тяжелого поезда, движущегося с максимальной скоростью (установленной на данном участке), перед переездом в случае неисправности последнего.

Описанным техническим решениям и их аналогам, действующим на всей сети железных дорог постсоветского пространства, присущ существенный недостаток: водители автотранспорта не получают никакой информации о реальной поездной обстановке. Для них переезд закрывается внезапно, зачастую не остается возможности для маневра и оптимизации движения.

Из анализа современных технических решений, направленных на повышение качества работы переезда и оптимизацию движения автомобильного транспорта, следует, что многие технические решения непосредственно связаны с традиционными устройствами железнодорожной автоматики, определяющими положение поезда с точностью до участка длиной с рельсовую цепь (другими словами, дискретно и весьма неточно).

Некоторые технические решения, например описанное в [11], предлагают минимизацию времени на закрытие переезда для движения автомобильного транспорта на основе определения фактических координат поезда. Для этого в рельсовую линию на питающем конце непрерывно подают сигнал переменного тока и на том же конце непрерывно измеряют амплитуду напряжения и тока. Уровни напряжения и тока предварительно нормируются: испытательный шунт накладывается от релейного до питающего конца рельсовой цепи. После сравнения действительных значений с эталонными определяется фактическая координата приближающейся подвижной единицы. Недостаток такого способа управления работой переезда — привязка к рельсовой цепи, восприимчивой к изменениям климатических условий и механическим

воздействиям. Вследствие действия внешних дестабилизирующих факторов нарушаются первичные значения параметров рельсовой цепи, что приводит к несоответствию эталонных и реальных величин напряжения и тока. При определении фактической координаты поезда появляется ошибка, накапливающаяся со временем. Грубые нарушения в работе измерительной системы крайне негативно отражаются на безопасности работы переезда.

Известен способ управления работой переезда [12], основанный на взаимодействии переездной автоматики с устройствами интервального регулирования движения поезда. При этом используются градации значений скорости, регулируемые проходными светофорами, как известно, имеющими весьма малое количество позиций, и средствами автоматической локомотивной сигнализации. Отметим, что скорость движения поезда не контролируется и не может служить параметром для определения условий работы переезда.

В целях оптимизации работы переезда применяют и современные средства связи. Например, в [13] описана система управления работой переезда на основе радиосвязи. Радиолокационные станции, расположенные в зоне действия переезда и близлежащих подходов к нему со стороны железной дороги, передают информацию о местоположении поезда. При использовании такого способа необходимо покрытие железных дорог радиолокационными вышками и размещение радиолокационного оборудования на подвижных единицах.

В представленных способах регулирования работы переездов не предусмотрена передача информации водителям автомобильного транспорта. Однако некоторые системы частично лишены указанного недостатка. Так, например, в [14] описана



Рис. 1. Типичный переезд в Великобритании

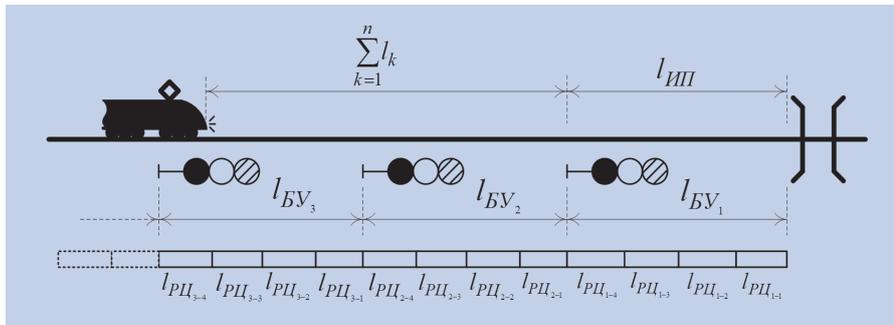


Рис. 2. Схема движения поезда к переезду

система оповещения водителей о приближающемся поезде, в основе которой лежит увязка с системой диспетчерской централизации. На наш взгляд, представляет интерес интерфейс взаимодействия пользователей с результатами вычисления времени: это короткие информационные сообщения (SMS) и специализированные мобильные приложения, где выводятся номера переездов и результаты краткосрочного прогноза их работы в зависимости от поездной обстановки. Несомненно, описанная система имеет ряд преимуществ перед остальными, позволяя прогнозировать работу переезда в зависимости от поездной обстановки, но ее уровень информативности и удобства использования, к сожалению, далек от возможного в современных условиях.

Система информирования участников движения о поездной обстановке на переезде

Использование коротких информационных сообщений (SMS), по нашему мнению, не является эффективным, так как требует от пользователя запроса, а результат прогноза будет дискретным и устаревшим в момент оповещения (движущийся поезд успеет проследовать некоторое расстояние к переезду). Это неудобно и потому, что нужно отправлять сообщение с идентификатором переезда, к тому же неизбежны дополнительные затраты на использование услуг связи. Нельзя считать перспективным и применение специальных мобильных приложений, где приводятся идентификационные номера переездов. В таких мобильных приложениях приходится искать «нужный» переезд (или группу переездов по пути следования), что также неудобно в использовании.

Единственный верный путь информирования участников движения о реальной поездной обстановке заключается в интеграции приложения, определяющего временные параметры проследования поездом участков до и после переезда, в геоинформационные системы, например в мобильные навигационные приложения.

При этом следует оборудовать каждый переезд информационными табло, на которых будут выводиться прогнозируемые значения времени закрытия и открытия переезда для движения автомобильного транспорта [10]. Кроме того, такую информационную систему необходимо вывести в качестве стационарного средства для дежурных по охраняемым переездам, что даст возможность снизить влияние человеческого фактора. Зная временные характеристики движения поезда, можно определять то время, через которое переезд будет закрыт для движения автомобильного транспорта, и то время, через которое он будет открыт, а также фактическое время проследования поездом переезда.

Имея большой опыт работы с системами мониторинга в области железнодорожной инфраструктуры, искусственных сооружений автомобильных и железных дорог, зданий, сооружений и конструкций с нетиповыми решениями, авторы адаптировали применение методов машинного анализа к работе в составе системы внешнего мониторинга и прогнозирования работы железнодорожных переездов. Система получает данные непосредственно от объектов управления движением поездов и на основе развитой вычислительной среды формирует все необходимые временные параметры. Немаловажно, что для каждого конкретного переезда система настраивается с учетом функциональных особенностей и физических параметров объектов управления. Достоверность прогнозирования повышается за счет самообучения системы.

Приведем упрощенный алгоритм вычисления временных параметров работы железнодорожного переезда, связанный с получением данных системой мониторинга от системы управления движением поездов (рис. 2). Рассмотрим систему управления с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением оборудования, распространенную на сети железных дорог РФ [9].

Для определения значений временных параметров функционирования переезда необходимы следующие данные:

- реальные значения длин всех рельсовых цепей на подходе к переезду $l_{рц}$;
- длина участка извещения о приближении поезда $l_{ИП}$ (при вступлении на него поезда инициируется срабатывание переездной сигнализации, переезд закрывается);
- время реальной фиксации события вступления поезда на конкретную рельсовую цепь в системе управления движением поездов t_{cp} .

Фактическая скорость движения поезда на основе данных системы управления движением определяется по формуле:

$$v_i = \frac{l_i}{(t_{i+1} + t_{cp,i}) - (t_i + t_{cp})}, \quad (1)$$

где l_i — длина i -й рельсовой цепи;

t_i — время вступления поезда на i -ю рельсовую цепь;

t_{cp} — время срабатывания путевого приемника i -й рельсовой цепи;

t_{i+1} — время вступления поезда на $(i+1)$ -ю рельсовую цепь;

$t_{cp,i}$ — время срабатывания путевого приемника $(i+1)$ -й рельсовой цепи;

$(t_i + t_{cp})$ — время фиксации в системе автоматики события вступления поезда на i -ю рельсовую цепь;

$(t_{i+1} + t_{cp,i})$ — время фиксации в системе автоматики события вступления поезда на $(i+1)$ -ю рельсовую цепь.

Тогда прогнозируемое время закрытия переезда вычисляется согласно выражению:

$$t_{закр} = \frac{\sum_{k=1}^n l_k}{v_i}, \quad (2)$$

где v_i — прогнозная скорость на i -й рельсовой цепи;

$\sum_{k=1}^n l_k$ — сумма значений длины рельсовых цепей,

лежащих до участка извещения.

Фактическое время проследования поезда по переезду определяется величиной:

$$t_{факт} = \frac{\sum_{k=1}^n l_k + l_{ИП}}{v_i}. \quad (3)$$

Время открытия переезда может быть вычислено по формуле:

$$t_{откр} = \frac{\sum_{k=1}^n l_k + l_{ИП}}{v_i} + t_{осв}, \quad (4)$$

где $t_{осв}$ определяется по времени освобождения последним вагоном рельсовой цепи после переезда (аналогично тому, как это сделано для фиксации скорости).

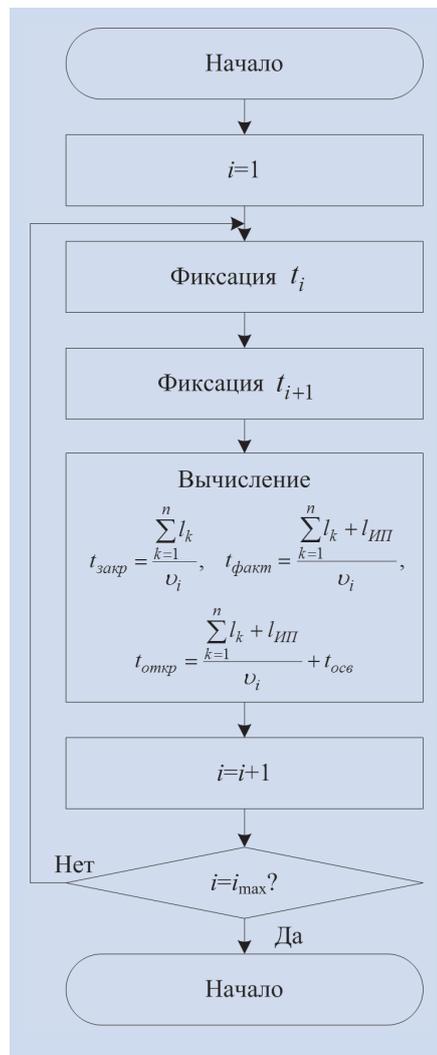


Рис. 3. Упрощенный алгоритм вычисления временных параметров функционирования переезда

На рис. 3 приводится упрощенный алгоритм динамического определения скорости и коррекции на основе фактических параметров движения поезда и временных параметров функционирования железнодорожного переезда.

При использовании системы управления движением поездов с длинными рельсовыми цепями (например, при кодовой автоблокировке) или вовсе без таковых (при полуавтоматической блокировке) необходимо обустроить перегон датчиками, расположенными на опорах контактной сети либо в районе железнодорожного полотна (типы датчиков и места их расположения устанавливаются в зависимости от географических особенностей объекта мониторинга).

На рис. 4 показан внешний вид окна мобильного навигатора на одном из переездов Санкт-Петербурга (это тестовое техническое решение). На фрагменте слева нет информации о состоянии переезда. На фрагменте справа показано информационное сообщение о техни-

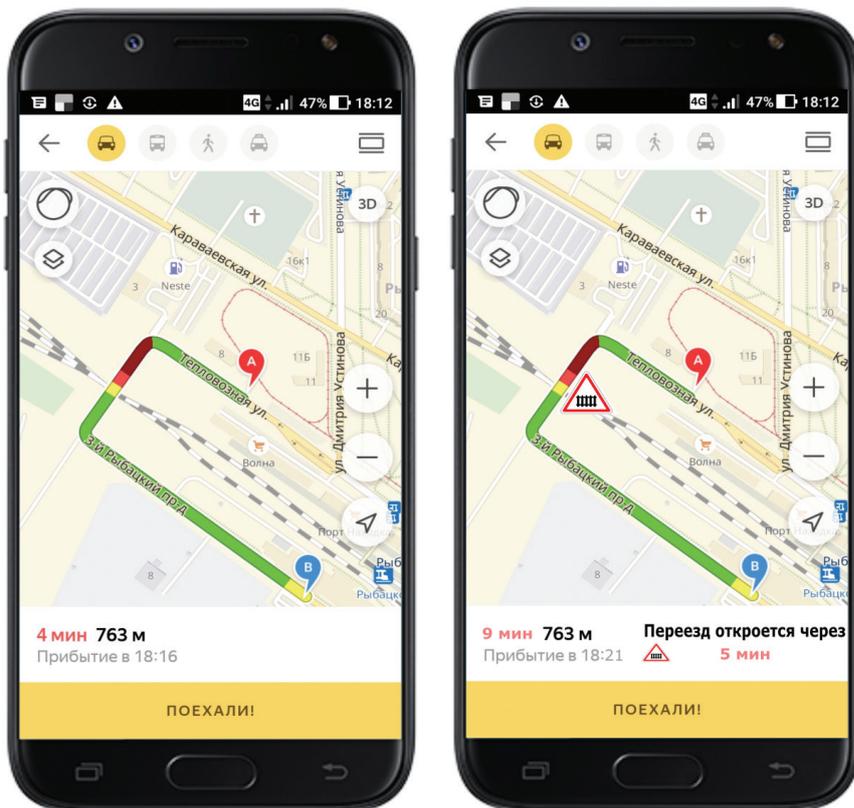


Рис. 4. Внешний вид мобильной навигационной системы: слева – текущий вариант реализации; справа – с интеграцией разработанного приложения в мобильные навигационные системы

ческом состоянии переезда, отмечено время, через которое переезд откроется, а также указано скорректированное время проследования по построенному маршруту. Пользователь приложения имеет более точное представление о сложившейся дорожной обстановке.

Следует отметить, что до сих пор ни на онлайн-картах, ни в приложениях навигационных систем не указаны переезды по пути следования, а автомобилисты не осведомлены об их техническом состоянии. Переезд может быть надолго перекрыт в связи с дорожными работами или ненадолго закрыт вследствие приближения поезда. Недостаток информации о дорожной обстановке увеличивает время в пути на неопределенную величину. На рис. 5 для

примера показана транспортная развязка на севере Санкт-Петербурга, включающая в себя региональную трассу и высокоскоростную платную дорогу – западный скоростной диаметр (ЗСД). На дистанции в три километра региональная дорога пересекает четыре железнодорожных переезда. Пропускная способность этой транспортной артерии в большей степени зависит от трафика железной дороги. Загруженность указанного участка, зависящая от сезона, максимальна в весенне-летний период (это курортный район). Нельзя забывать и о движении скоростных поездов «Ласточка» и «Аллегро» между Выборгом и Санкт-Петербургом. Не получая информации о состоянии переездов, автомобилисты не могут выбрать путь проследования



Рис. 5. Фрагмент карты Санкт-Петербурга в районе Белоострова

и оптимизировать маршрут движения. Разработанная авторами система прогнозирования работы переездов позволяет нивелировать указанный недостаток.

Приведем еще один пример, показывающий недостаточную информативность современных онлайн-карт. В районе г. Высоцка (рис. 6) работает крупный терминал «Порт Высоцкий», осуществляющий международные грузовые перевозки угля. Кроме того, функционируют нефтяной и газовый терминалы, осуществляющие транзит нефтепродуктов и сжиженного газа в страны Евросоюза. Регион активно развивается. Город расположен на острове, куда ведут автомобильная и железная дороги. Попасть на остров можно из близлежащих поселков Советский и Матросово. В том и другом случае на пути окажется один из переездов. Если движение осуществляется со стороны Приморска (снизу вверх по Приморскому шоссе), то более удобный маршрут проходит через поселок Советский, если со стороны Выборга (сверху вниз по Приморскому шоссе), то переезды минуются.

Рассмотрим вариант реальной дорожной ситуации. Переезд через железную дорогу со стороны поселка Советский закрыт на ремонт дорожного покрытия. Информация об этом есть только у работников железной дороги, а у водителей автотранспорта ее нет. Направляясь из Приморска, пользуясь навигационными системами и выбрав наиболее короткий маршрут, автомобилист следует до закрытого переезда, где вынужден выполнить разворот и перестроить свой маршрут через второй переезд в районе железнодорожной остановочной платформы Матросово. Иными словами, водителю приходится делать необоснованный «крюк» длиной более 10 км. Своевременное получение информации о ремонте переезда позволило бы избежать необоснованных экономических потерь. Аналогичные обстоятельства отмечаются при движении со стороны Выборга в поселок Советский (дорога здесь короче, но ведет через переезд). Информация о ремонте может быть внесена автоматически, если выполнить «логическое занятие» участка, где расположен переезд, или подать соответствующий сигнал от системы управления движением в систему мониторинга временных параметров работы переезда.

В модульной системе мониторинга базовым и максимально востребованным техническим решением становится модуль прогнозирования временных параметров работы переезда. Информация

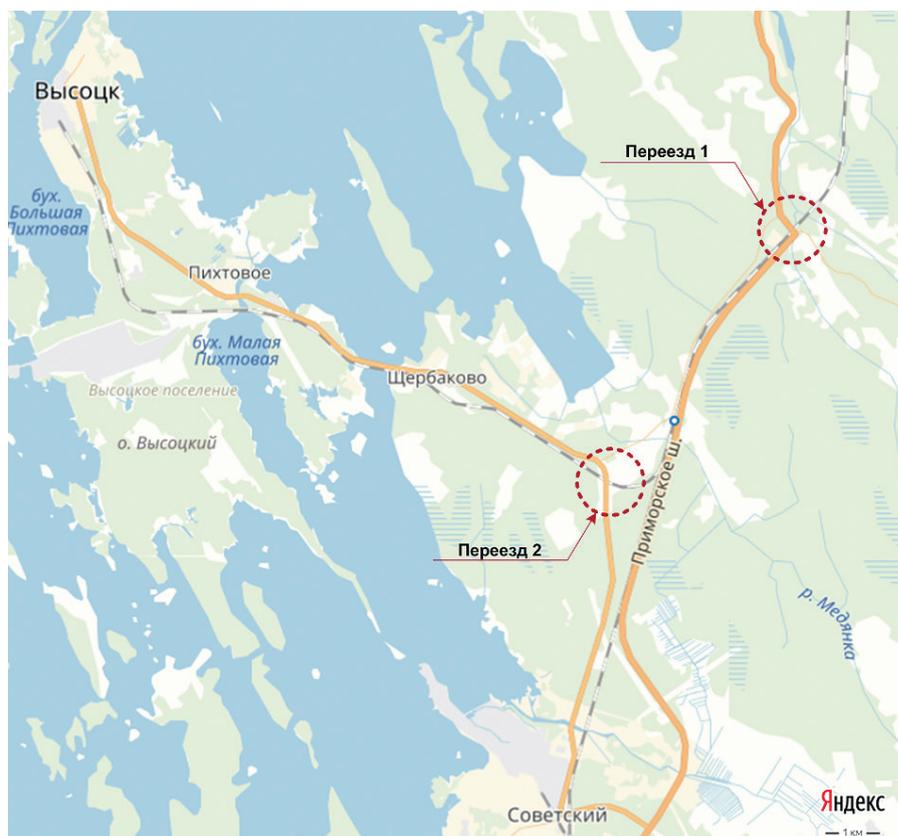


Рис. 6. Фрагмент карты Ленинградской области в районе г. Высоцка

в системе прогнозирования увязывается с мобильными навигационными приложениями, зачастую снабженными средствами оптимизации движения автомобильного транспорта.

Система прогнозирования — первый шаг в мониторинге работы переезда. Но и на этом этапе при повышении информированности водителя автотранспорта косвенно снижается деструктивное поведение человека. Бывает, что после долгого ожидания открытия переезда, если не виден приближающийся поезд, водители в нарушение правил дорожного движения следуют через переезд, не оборудованный заградительными плитами. Зная реальное время проследования поезда через переезд, они будут внимательнее относиться к собственной безопасности. Следует отметить и обратный эффект: зная, что переезд закрыт для движения и время проследования поездом переезда велико, водитель также может нарушить правила движения и проследовать через переезд. Необходимо продумать систему защиты от подобных действий, например ужесточение штрафов за нарушения правил дорожного движения. Кроме того, современные автомобили с «умными» бортовыми системами могут быть снабжены функцией блокирования управления на безопасном расстоянии от переезда при получении данных от

системы прогнозирования.

Как отмечалось раньше, система прогнозирования реализуется модульно, т. е. ее легко расширить. В дальнейшем ее можно дополнить устройствами видеофиксации состояния переезда, передачи и трансляции данных на тяговую подвижную единицу, средствами фиксации точного положения автомобильного транспорта и т. д. (см. рис. 7). При совершенствовании принципов управления движением поездов систему мониторинга можно интегрировать в комплексы регулирования движения не только автомобильного, но и железнодорожного транспорта.

Таким образом, современные компьютерные и информационные технологии постепенно проникают в системы управления на транспорте [15]. Они позволяют не только совершенствовать технологический процесс управления, но и повышать безопасность, в частности косвенно снижая влияние человеческого фактора. Информационные технологии весьма полезны для оптимизации движения на участках непосредственного взаимодействия различных видов транспорта, а значит, и на железнодорожных переездах.

Предложенная авторами система прогнозирования временных параметров работы железнодорожных переездов дает возможность получать достоверный

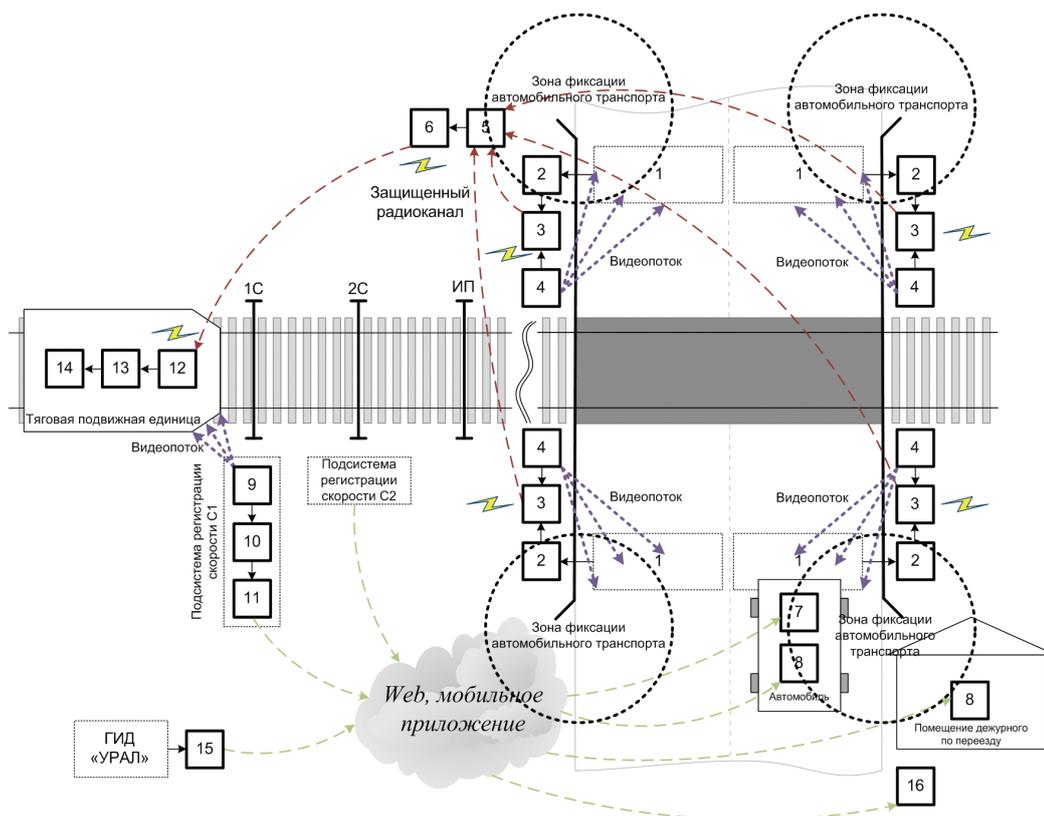


Рис. 7. Структурная схема расширенной системы обеспечения безопасности на железнодорожных переездах

I. Подсистема фиксации автотранспорта: 1 – устройство фиксации автомобиля на основе индуктивно-петлевого датчика; 2 – устройство преобразования данных; 3 – транслятор сигнала; 4 – видеокамера; 5 – промежуточный концентратор; 6 – ретранслятор.

II. Устройства автомобиля: 7 – бортовая система автомобиля; 8 – мобильное устройство.

III. Подсистема фиксации скорости подвижного состава (альтернативной реализацией является интеграция с системой управления и динамический расчет скорости): 1С – первый рубеж фиксации; 2С – второй рубеж фиксации; ИП – извещение о приближении в системе железнодорожной автоматики («точка» включения переездной сигнализации); 9 – измерительный контроллер; 10 – устройство преобразования данных; 11 – транслятор сигнала.

IV. Бортовая система обработки данных тяговой подвижной единицы: 12 – регистратор изображения; 13 – блок принятия решений; 14 – устройство обработки данных.

V. Внешние устройства: 15 – устройство сопряжения с ГИД «Урал»; 16 – информационное табло.

В качестве каналов передачи данных используются как проводная, так и беспроводная спутниковая связь и связь по защищенному радиоканалу.

прогноз времени закрытия/открытия переездов, а также использовать данную информацию при работе с геоинформационными системами. Это, в свою очередь, позволяет оптимизировать автомобильные маршруты на пути следования в пункты назначения. ■

Литература

1. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking – International Compendium, Eurailpress, 2009. – 448 p.
2. Railway Safety in the European Union. Safety overview 2017. Luxembourg: Publ. Office Europ. Union, 2017. – 47 p.
3. Тарадин Н. А. Сравнительная оценка безопасности функционирования железнодорожных переездов // Наука и техн. трансп. 2009. № 4. С. 62–64.
4. Карпущенко Н. И., Величко Д. В., Колмогорова Т. В. Проблема обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах // Транспорт РФ. 2011. № 4. С. 47–50.
5. Samaranyake P., Matawie K. M., Rajayogan R. Evaluation of Safety Risks at Railway Grade Crossings: Conceptual Framework Development // 2011 IEEE Int. Conf. on Quality and Reliability. Bangkok, Thailand, 2011. P. 125–129. doi: 10.1109/ICQR.2011.6031694.
6. Астратов О. С., Филатов В. Н. Видеодат-

- чики в системе обеспечения безопасности движения на железнодорожном переезде // Датч. и сист. 2015. № 2. С. 33–37.
7. Tomis M., Dvorský M., Stýskala V. et al. Wireless Barrage on the Railway Crossing // 38th Int. Conf. on Telecom. and Signal Proces. (TSP). Prague, Czech Republic, 2015. P. 129–133, doi: 10.1109/TSP.2015.7296237.
8. Ahmad F., Sadiq A., Martinez-Enriquez A. M. et al. Component Based Architecture for the Control of Crossing Regions in Railway Networks // 2017 16th IEEE Int. Conf. on Machine Learning and Applications (ICMLA). Cancun, Mexico, 2017. P. 540–545. doi: 10.1109/ICMLA.2017.0–105.
9. Efanov D., Lykov A., Osadchy G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking // Proceed. 15th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2017). Novi Sad, Serbia, 2017. P. 242–248. doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.
10. Хорошев В. В., Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Концепция полносвязного мониторинга инфраструктуры переездов // Транспорт РФ. 2018. № 1. С. 47–52.
11. Способ управления автоматической переездной сигнализацией:

- Патент РФ (RU 2281219 C1). Заявка № 2005103884/11, 14.02.2005. Опубликовано: 10.08.2006 Бюл. № 22. Патентообладатель ГОУ ВПО СамГАПС, авторы: Тарасов Е. М.
12. Crossing predictor with authorized track speed input: Patent USA (US8297558). – Priority date 2010–03–17, Original Assignee: Siemens Rail Automation Corp, Inventor^ R. M. O'dell, P. J. Venneman.
13. Способ управления переездной сигнализацией: Патент РФ (RU 2547909 C1). Заявка № 2013153966/11, 04.12.2013. Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10. Патентообладатель АО «НПЦ «Пром-электроника», авторы: Гнитко Р. В., Курганский А. А., Тильк И. Г., Ляной В. В.
14. Информационная система заблаговременного оповещения о закрытии (свободности) железнодорожного переезда: Патент РФ (RU 2602517 C2). Заявка № 2014152649/11, 24.12.2014. Опубликовано: 20.07.2016 Бюл. № 20. Патентообладатель ФГБОУ ВО ИргУПС, авторы: Комогорцев М. Г., Марюхненко В. С.
15. V. Hahanov “Cyber Physical Computing for IoT-driven Services”, New York, Springer International Publishing AG, 2018, 279 p., doi: 10.1007/978-3-319-54825-8.