



Автодорожные путепроводы лифтового типа для пересечения железнодорожных путей в условиях плотной застройки современных городов



Дмитрий ЕФАНОВ



Валерий МЯЧИН



Герман ОСАДЧИЙ

Ефанов Дмитрий Викторович – ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург; Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Мячин Валерий Николаевич – Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия.

Осадчий Герман Владимирович – ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия.*

Приводятся теоретические предпосылки возведения автодорожных путепроводов лифтового типа для пересечения железнодорожных путей автомобильным транспортом. Предложено техническое решение, позволяющее обеспечивать пересечение легковыми автомобилями «проблемных» железнодорожных переездов в периоды их долговременного закрытия для движения автомобильного транспорта. Это же решение может быть использовано для организации автодорожного путепровода в необходимых местах, где железнодорожный переезд отсутствует. Само техническое решение основано на использовании надземных автодорожных путепроводов и является «облегчённой» копией решения, реализованного Илоном Маском и его компанией в Лос-Анджелесе на основе тоннеля, движущихся платформ и грузовых лифтов. При разработке автодорожных путепро-

водов лифтового типа используются расчётные методы теоретической механики, технической диагностики и мониторинга, а также теории массового обслуживания для оценки количества пропускаемых автомобилей при закрытии переездов. Предложено сами конструкции надземного путепровода «встраивать» в ландшафт, оборудовать альтернативными источниками энергоснабжения и техническими средствами контроля, диагностирования и мониторинга подвижного железнодорожного состава и места непосредственного пересечения автомобильной и железной дорог (организовывать зону интеллектуального мониторинга). Предложенное перспективное техническое решение в виде автодорожного путепровода позволяет повысить комфортабельность автомобильных перевозок и безопасность движения на переездах.

Ключевые слова: транспорт, железнодорожный переезд, безопасность движения, надземный автодорожный путепровод лифтового типа, оптимизация движения, информационные сервисы на железнодорожных переездах.

*Информация об авторах:

Ефанов Дмитрий Викторович – доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург, Россия; профессор кафедры автоматки, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, TrES-4b@yandex.ru.

Мячин Валерий Николаевич – доктор технических наук, профессор, генеральный директор Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (НИПИ ТРТИ); генеральный директор ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург, Россия, vmuachin@ipr.ru.

Осадчий Герман Владимирович – технический директор ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», старший преподаватель кафедры автоматки и телемеханики на железных дорогах Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, osgerman@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.10.2020, принята к публикации 11.11.2020.

For the English text of the article please see p. 100.

ВВЕДЕНИЕ

Места пересечения автомобильных и железных дорог в одном уровне, или железнодорожные переезды [1], по статистике являются самыми частыми местами возникновения нарушений в работе железнодорожной транспортной системы. Эти данные актуальны для всего мира, а не только для отдельно взятой страны или региона [2; 3]. В одной только Великобритании на территории площадью 243 809 км² сосредоточено около 6 тыс. железнодорожных переездов (примерно один переезд на 40 км²) [4], а в странах ЕС расположено свыше 100 тыс. переездов [3], среди которых около 49 % являются неохранными. Железнодорожные переезды являются местами повышенного риска для безопасности как пользователей автомобильных, так и железных дорог.

Причины нарушений на железнодорожных переездах крайне разнообразны, однако все они могут быть сведены к ошибкам в работе человеко-машинной системы: действия водителей автомобильного транспорта могут быть спровоцированы неправильно понимаемыми ими действиями железнодорожного транспорта в режиме ожидания разрешения на проследование через переезд, что приводит к допущению ими нарушений правил дорожного движения. В этот момент они и становятся источниками опасного влияния на железнодорожную систему.

Нарушения возникают часто из-за того, что переезд для движения автотранспорта закрывается заблаговременно и открывается также не моментально. При этом в зависимости от категории железнодорожной линии, путевого развития и максимальных допустимых скоростей перемещения поездов время ожидания может существенно варьироваться. Часто переезды могут находиться в зонах сложившейся городской инфраструктуры и вызывать весомые перерывы в движении. Так, печально известен переезд на линии Санкт-Петербург–Москва, где курсируют скоростные поезда «Сапсан», в г. Колпино (Санкт-Петербург), который закрывается за 20 мин до проследования поезда и открывается только спустя 20 мин. Если учесть, что для «Сапсана» установлено тактовое движение, то перерывы для про-

следования переезда становятся близкими к получасу [5]. Попав в пробку, водитель становится заложником ситуации и вынужден терять время, а также стабильность психологического состояния, что, несомненно, оказывает и влияние на транспортную систему.

Для зон взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта, подобных описанному в примере, наилучшим с позиции и надёжности, и безопасности, и скорости проследования является строительство многоуровневых развязок. Однако у такого решения есть два существенных, даже определяющих, недостатка. Первый заключается в экономических аспектах и в больших затратах на строительство многоуровневых развязок. Второй связан с особенностями градостроения и с тем, что в ряде районов со сложившейся инфраструктурой порой чисто технически строительство многоуровневых развязок становится нецелесообразным. Следует отметить, что по данным [3], основными направлениями развития в области безопасности движения на переездах является повышение числа технических средств автоматизации управления переездом, однако упущены возможности современных информационных систем [6–8].

Одним из решений по оптимизации движения на переездах является интеграция данных от железнодорожных систем организации и управления движением, а также автоматики и телемеханики в мобильные навигационные системы и построение маршрутов для движения автомобильного транспорта с учётом прогнозного времени закрытия и открытия переездов [9; 10]. При невозможности получения данных от железнодорожной транспортной системы есть вариант реализации системы прогнозирования с собственными датчиками, устанавливаемыми вблизи переезда. Такое решение позволяет давать участникам движения, как водителям автотранспорта, так и машинистам локомотивов, прогноз состояния переезда и прогноз размеров движения и движения как такового в зоне пересечения автомобильной и железной дорог. Этот прогноз сам по себе является ценнейшей информацией для обеспечения безопасности движения: число случаев аварий и крушений гаранти-



рованно сократится, так как участники движения получают информацию «о ближайшем будущем» и выберут допустимые действия.

Ещё одним перспективным вариантом организации движения на переездах является использование специализированных грузовых лифтов и надземных автодорожных путепроводов, предназначенных для проследования автомобильным транспортом места пересечения автомобильной и железной дорог. Подобные автомобильные путепроводы лифтового типа могут устанавливаться не только в непосредственной близости к переездам, но и встраиваться в существующую городскую инфраструктуру с учётом наиболее напряженных участков для движения. Автомобилист будет иметь выбор для использования данного объекта транспортной инфраструктуры (подобно наличию альтернативы в движении в крупных городах: по бесплатным и платным дорогам). При разработке конструкции требуется учитывать методы теоретической механики для выбора мощностей двигателей для подъёма автомобилей на определенную высоту, а также методы теории массового обслуживания для оценки количества пропускаемых автомобилей при закрытии переездов. Это, однако, потребует моделирования работы путепровода в различных дорожных сценариях.

Такое инновационное решение требует дополнительного изучения и анализа.

Целью описываемого в статье исследования является изучение особенностей обустройства автомобильных путепроводов с учётом применимых инноваций и перспектив их массового внедрения. При проведении исследования использовались *методы* теоретической механики, технической диагностики и мониторинга, а также теории массового обслуживания для оценки количества пропускаемых автомобилей при закрытии переездов. Результатом является разработанное инновационное решение для пересечения железных дорог, основанное на использовании автодорожных путепроводов лифтового типа.

Следует обратить внимание на то, что аналогом такого решения может считаться изобретение The Boring Company Илона Маска, внедрённое в Лос-Анджелесе, где также используются грузовые лифты, но

доставляют они автомобили на специальные движущиеся платформы под землю, а движение осуществляется по тоннелю [11; 12]. Такое решение, однако, оказывается весьма дорогостоящим, в отличие от предлагаемого авторами.

НАДЗЕМНЫЕ ПУТЕПРОВОДЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Автодорожный путепровод лифтового типа может представлять собой специальную конструкцию, совмещающую в себе надземный путепровод и конструкции для вертикального подъёма на него по обоим концам с использованием грузового лифта.

Возведение представленной конструкции не требует изменения застройки в районе пересечения автомобильной и железной дорог, а также строительства подходов, что крайне актуально в условиях сложившейся застройки и не влияет на архитектурный облик города.

В качестве устройств доставки автомобиля на путепровод можно применять специальные подъёмники или лифты, широко используемые в крупнейших городах всего мира. Во многих городах все сильнее ощущается нехватка свободного пространства, и размещение автомобилей под землёй с помощью подъёмного механизма не нарушает окружающую архитектуру. Автомобильные лифты нашли своё применение и в торговых центрах с парковками на крыше, а в жилых домах — в подвале.

Автомобильный подъёмник (рис. 1) представляет собой конструкцию, состоящую из опорной системы и механизма привода. Работа устройства происходит следующим образом. Автомобиль заезжает на площадку, датчики габарита (они находятся на концах ограждающих перил) считывают правильное положение автомобиля, и опорная система приходит в движение, поднимая автомобиль на необходимую высоту.

У ножничных подъёмников (рис. 1а) движение платформы происходит с помощью рычагов, находящихся под ней и расположенных по типу ножниц. Воздействующие на рычаги цилиндры заставляют их раскладываться, что позволяет поднять платформу вверх.

Минусом использования ножничных подъёмников является отсутствие стенок

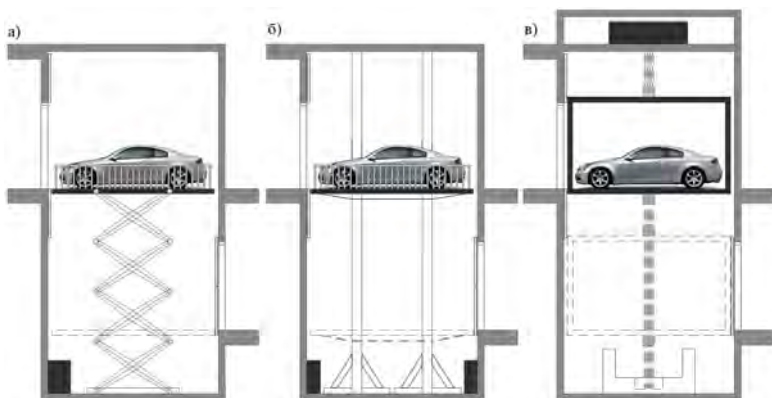


Рис. 1. Вариант подъёмных устройств: а) ножничный автомобильный подъёмник; б) колонный автомобильный подъёмник; в) автомобильный лифт [подготовлен авторами].

у их платформы. То есть вышедших (случайно или преднамеренно) пассажиров, как и самого водителя, ничего не защищает от падения или получения травм на таком подъёмнике. Кроме того, установка не сдвинется с места, если машина на площадку заехала неправильно. Это приведёт к дополнительным перемещениям (маневрированию) автомобиля на площадке подъёмника, что увеличит время занятости подъёмника и пересечения железнодорожной линии. Эту конструкцию сложно будет реализовать, так как она не способна выдержать подъём автомобиля более трёх тонн на высоту семи метров (что необходимо по условиям приближения габаритов строения).

Вариант подъёмника на рис. 1б представляет собой конструкцию из двух (по одной с бортов автомобиля) или четырёх (по две с бортов автомобиля) колонна-направляющих, расположенных перпендикулярно платформе. В этом случае подъём происходит за счёт гидроцилиндров. Они перемещают каретки, прикреплённые к платформе, по специальной системе, в которую входят тяговые цепи и полиспастные механизмы. Стандартным значением высоты, на которую можно поднять автомобиль, является 7 м. Но, к сожалению, все остальные минусы первого варианта подъёмника (см. рис. 1а) остаются и здесь.

Наиболее совершенным вариантом, лишённым обозначенных недостатков, является автомобильный лифт (рис. 1в) — тот же грузовой лифт, способный поднимать на необходимую высоту груз, масса

которого не должна быть больше 3,5 т. При данном варианте подъёмника не нужно следить за срабатыванием датчиков и переставлять транспорт в «более удобное» положение. В этом случае, при заезде автомобиля в кабину лифта, подъём начнется сразу же после полного закрытия дверей.

Дизайн путепровода может быть адаптирован к ландшафту и легко вписан в него (рис. 2, 3), а путепровод может выполняться как с одним тоннелем для движения, так и с двумя тоннелями (они могут быть расположены как параллельно, так и друг над другом).

Целесообразно использовать такой «переездный» лифт как инженерное сооружение, предоставляющее «дополнительную услугу» для автомобильного транспорта, а не как обычное средство пересечения железной дороги. На подходах к лифту устанавливаются зоны контроля, работающие в автоматическом режиме (по типу работы зон подхода автомобильного транспорта в аэропортах или по типу работы зон оплаты проезда на выделенных высокоскоростных магистралях). При этом возможна организация электронной очереди на лифт с различными приоритетами, например, в проследовании машин скорой помощи. Удобно и просто необходимо в связи с тотальным использованием мобильных приложений разрабатывать и внедрять мобильные приложения для повышения комфортабельности использования предоставляемого сервиса, заблаговременного планирования и оптимизации движения.





Рис. 2. Вариант расположения путепровода с зоной одностороннего проследования (вид из кабины автомобиля) [подготовлен авторами].

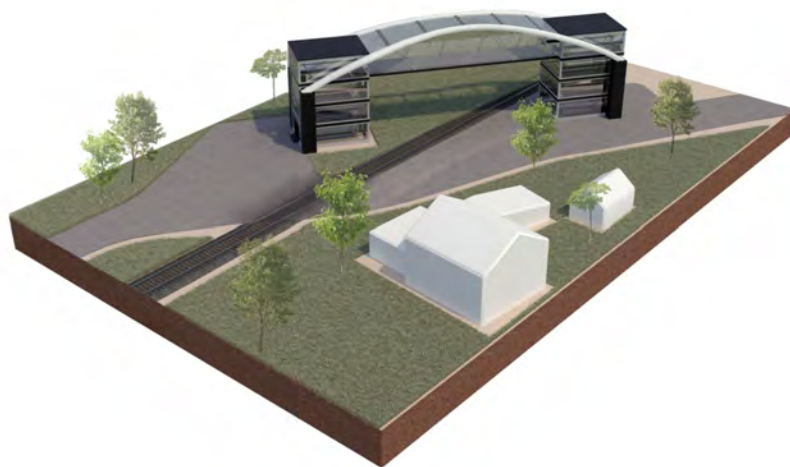


Рис. 3. Вариант расположения путепровода с зоной одностороннего проследования (вид с высоты птичьего полёта) [подготовлен авторами].

СЦЕНАРИИ ОБРАЗОВАНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ У ПУТЕПРОВОДА В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ К ПЕРЕЕЗДУ

Работа надземного путепровода с одним и с двумя тоннелями определяется особенностями образования автомобильных потоков, заинтересованных в его использовании, по обеим сторонам путепровода со стороны автомобильной дороги. Фактически предлагаемое техническое решение является либо одноканальной, либо двух-

канальной системой массового обслуживания (СМО) [13; 14].

При обоих вариантах организации надземного путепровода для автомобильного транспорта ограничениями на работу являются периоды, когда проезд открыт для движения автомобильного транспорта, отсутствуют дорожно-транспортные происшествия, мешающие проследованию через железную дорогу и пр. Имеет смысл рассматривать работу СМО только в моменты времени от закры-

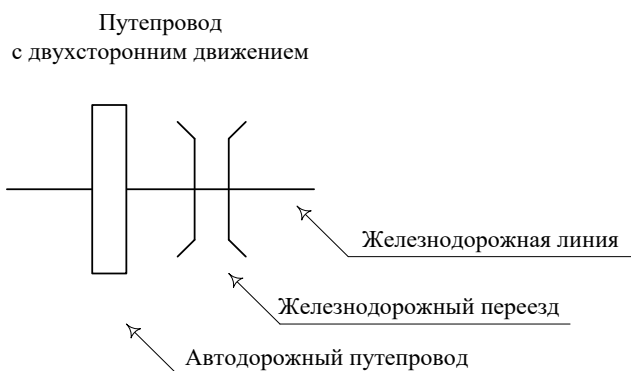


Рис. 4. Условные обозначения.

тия переезда для движения автомобильного транспорта до его открытия. Точнее, от некоторого прогнозного времени, позволяющего заблаговременно активизировать работу системы надземного путепровода для автомобильного транспорта. Существует и случай, при котором в момент пробки на переезде в случае высокоприоритетной заявки возможна работа надземного переезда, однако этот случай предлагается не рассматривать в виду отсутствия как таковой СМО при этом варианте: в случае пробки высокоприоритетная заявка может быть обслужена моментально, а события приближения двух высокоприоритетных транспортных средств с обеих сторон от путепровода маловероятны. Однако и в этом случае техническое решение выполнит свою работу, пропустив сначала один транспортный объект, затем второй.

Заявки, поступающие на рассматриваемый технический объект «надземный путепровод для автомобильного транспорта» в момент его работы, в самом общем случае имеют следующие параметры:

- с обеих сторон путепровода поступают заявки с одинаковым приоритетом и интенсивностями λ_1 и λ_2 ;

- с обеих сторон возможно появление высокоприоритетной заявки с интенсивностью λ_1^n и λ_2^n ;

- среднее время обслуживания каждой заявки определяется временными параметрами подъёма автомобиля, проследования над железнодорожным полотном и спуска и выражаются в общем случае величиной $\frac{1}{\mu}$.

Рассмотрим сценарии формирования очередей у путепровода в двух вариантах его реализации – с двухсторонним движением и с односторонним движением (с возможностью реверсирования).

На рис. 4 приведены условные обозначения.

Опишем случай путепровода с двухсторонним движением (рис. 5). Прежде всего, будем полагать, что случаи рассмотрения потоков с двух сторон равнозначны и исключим из рассмотрения один из «симметричных вариантов» (например, когда поток имеется только с одной стороны или только с другой стороны). Тогда можно выделить девять различных ситуаций.

Первый сценарий, показанный на рис. 5а, характеризует случай, когда очередь из низкоприоритетных заявок образуется только с одной стороны путепровода.

Второй сценарий (рис. 5б) описывает случай возникновения высокоприоритетной заявки с одной из сторон путепровода при отсутствии трафика с другой (фактически, аналогичен первому сценарию).

Третий сценарий (рис. 5в) описывает ситуацию формирования как низкоприоритетных, так и высокоприоритетных заявок с одной из сторон путепровода при отсутствии трафика с другой.

Четвёртый сценарий (рис. 5г) характеризует ситуацию, когда формируются низкоприоритетные заявки с обеих сторон путепровода. Этот случай представляется наиболее интересным. В случае формирования заявок с обеих сторон путепровода требуется установить приоритет в движении с какой-либо из сторон. Этот приори-



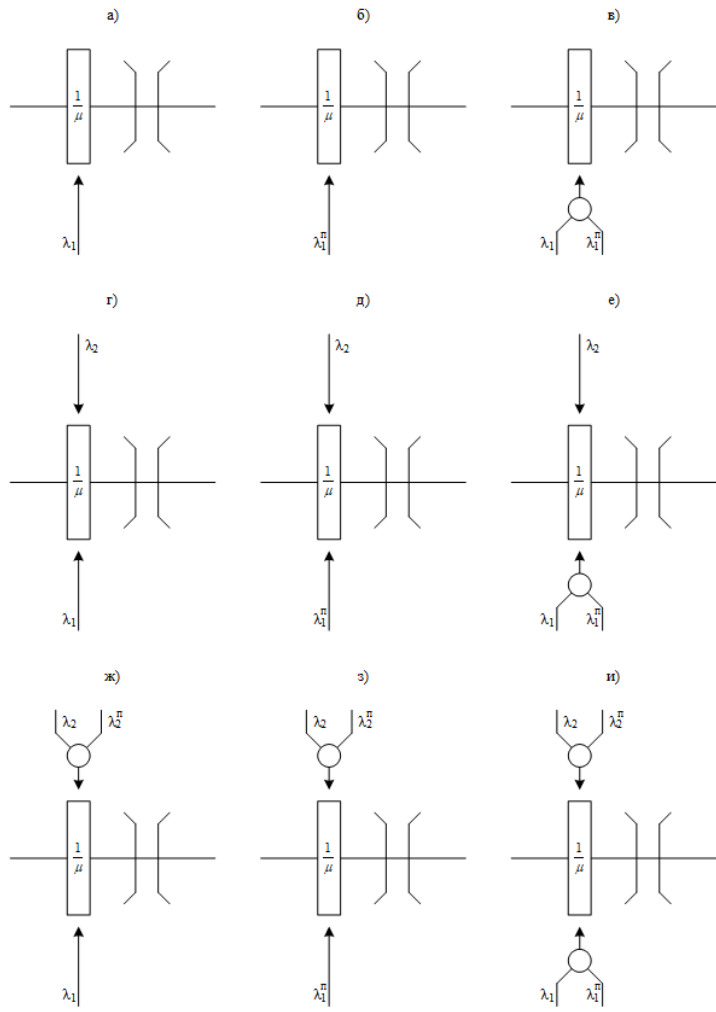


Рис. 5. Сценарии образования очередей у двухстороннего надземного путепровода [подготовлен авторами].

тет может устанавливаться, исходя из числа заявок и ограничений на время работы τ . Положим, для регулирования очередей устанавливаются светофоры с обеих сторон надземного путепровода. Тогда целесообразно с учётом времени τ настроить работу светофоров таким образом, чтобы при движении в обоих направлениях за время τ было пропущено одинаковое количество машин в каждом направлении. В этом случае при малом значении τ может быть выбран приоритет одной из очередей и включено на время $\left(\frac{\tau}{2} - \frac{1}{\mu}\right)$ разрешённое показание для этой очереди и на такое же время — для второй. Если время τ настолько мало, что может быть пропущено малое

число автомобилей, следует приоритет движения установить согласно предварительным заявкам водителей. Если время τ велико (превышает 10–20 минут), то светофоры могут переключаться по несколько раз, выдерживая общее время движения в каждом из направлений — $\frac{\tau}{2}$.

Пятый сценарий (рис. 5д) показывает наличие двух потоков заявок с обеих сторон путепровода, один из которых является высокоприоритетным, второй — низкоприоритетным. В данном случае высокоприоритетные заявки обслуживаются отдельно. Следует отметить, что внутри потока высокоприоритетных заявок могут быть установлены свои приоритеты, одна-

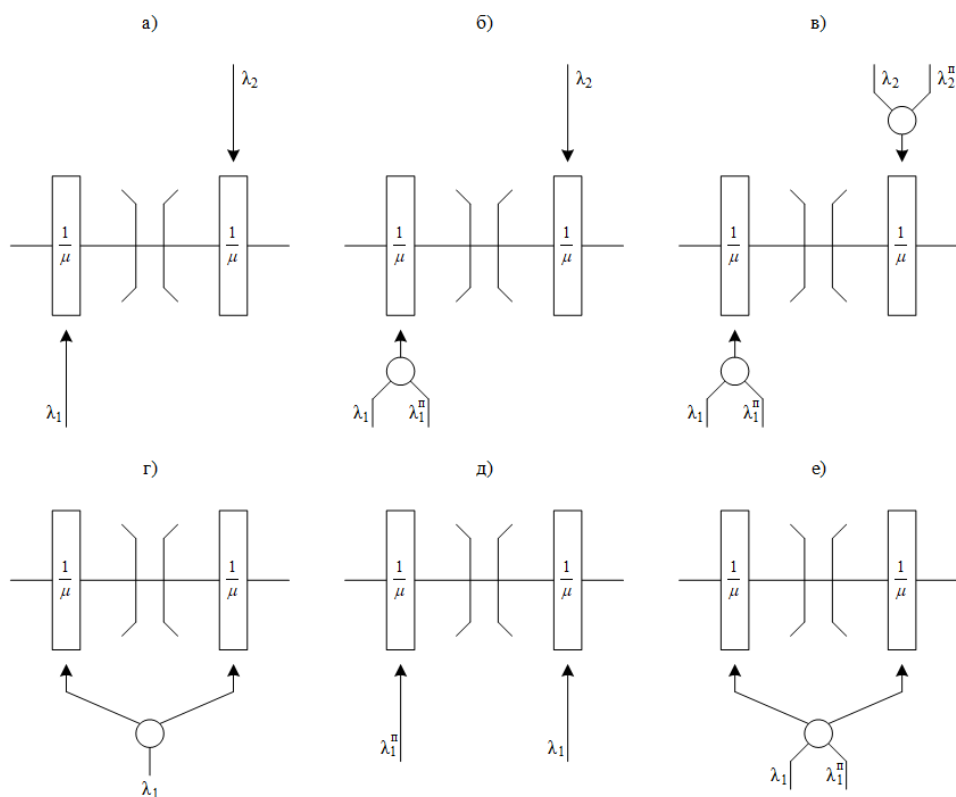


Рис. 6. Сценарии образования очередей у одностороннего (с реверсированием) надземного путепровода [подготовлен авторами].

ко целесообразно их не рассматривать, оценивая только возможности общей работы путепровода по данному сценарию.

Шестой и седьмой сценарии (рис. 5е, ж) описывают идентичные ситуации, когда с одной из сторон путепровода формируются низкоприоритетные заявки, а с другой — и низко-, и высокоприоритетные заявки. В данном случае преимущество отдаётся высокоприоритетным заявкам, по мере исполнения которых путепровод начинает работать по уже рассмотренному выше четвёртому сценарию.

Восьмой сценарий (рис. 5з) описывает похожую на предыдущие две ситуации за тем лишь исключением, что с обеих сторон путепровода формируются высокоприоритетные заявки, а с одной из них — ещё и низкоприоритетные. В этом случае вначале исполняются высокоприоритетные заявки с обеих сторон, а затем — низкоприоритетные с одной из них. При исполнении высокоприоритетных заявок потоки можно считать равноценными, а режим

исполнения заявок можно определять исходя из длины очереди с соответствующим временем обслуживания каждой заявки.

Девятый сценарий (рис. 5и) охватывает самый общий случай формирования обоих видов заявок с двух сторон путепровода. Работа организуется аналогично описанному выше алгоритму для случаев высокоприоритетных заявок с обеих сторон и низкоприоритетных заявок с обеих сторон.

Аналогично представленным на рис. 5 сценариям формирования заявок для путепровода с двухсторонним движением на рис. 6 приведены сценарии для формирования заявок для одностороннего путепровода (с возможностью реверсирования). Можно сказать, что данный вариант организации путепровода может быть рассмотрен на основе отдельных случаев первого варианта организации движения. По этой причине какое-либо дополнительное описание не приводится.

Расчёт приведённой СМО может быть выполнен путём имитационного моделирования (в данной работе не приводится).



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФУНКЦИОНАЛ АВТОДОРОЖНОГО ПУТЕПРОВОДА

Автодорожный путепровод лифтового типа – уникальное техническое решение, позволяющее встраивать удобные средства пересечения железных дорог в регионах с уже сложившейся инфраструктурой. Само техническое решение не только может быть реализовано с дизайном, идеально вписывающимся и не нарушающим основной «линии» ландшафта, но и снабжаться развитым функционалом, позволяющим сделать не просто конструкцию для решения одной из задач, но и построить многозадачный комплекс. Строения и объекты транспортной инфраструктуры давно следует перестать рассматривать только как статичные объекты, предназначенные сугубо для решения одной узкой задачи. Их следует рассматривать как объекты, созданные человеком для удобства использования, минимизации затрат как временных, так и денежных, для повышения эффективности эксплуатации транспортного комплекса и более комфортабельного использования транспортной системы конечным пользователем. Технические объекты нужно максимально приблизить по их свойствам к свойствам живых объектов из биологического мира и наделить их некоторыми «техническими чувствами» – «техническим слухом», «техническим зрением», «техническим интеллектом». Кроме того, необходимо максимально «озеленить» технические решения, используя альтернативные источники энергии, классифицируя потребителей и реализуя такие технические решения, которые несут пониженный углеродный след [15].

Предлагаемая «облегчённая» копия технического решения компании Илона Маска представляет собой базовую систему, которая легко расширяется и наращивается до многофункционального комплекса, обладающего следующими особенностями:

– крыша комплекса покрывается солнечными панелями для организации энергоснабжения не только от местной электросети, но и от альтернативного источника, и фактически сама конструкция представляет собой «микроэлектростанцию» с накопителями энергии (вполне возможно, что энергии хватит и для питания объектов ав-

томатизации, а также соседних с надземным путепроводом жилых объектов);

– возможно совмещение функции электрозаправки для современных электромобилей от источников «микроэлектростанции»;

– под полом вне нарушения габарита следования подвижного состава устанавливается специализированное диагностическое оборудование для проверки загруженности вагонов, состояния контактной сети (если дорога электрифицирована);

– по бокам конструкции устанавливается оборудование контроля целостности пломб вагонов, распознавания номеров вагонов, дефектоскопии буксовых узлов (возможен вариант с использованием технологии поверхностных акустических волн для мониторинга);

– в зоне пересечения автомобильной и железной дорог (на самом переезде) устанавливаются устройства контроля, технического диагностирования и мониторинга состояния непосредственного пересечения железной и автомобильной дороги и т.д.

Подобный функционал позволяет реализовать в одном комплексе сложный технический «организм», решающий разнообразные задачи и обеспечения отказоустойчивости, и безопасности самой транспортной системы, и комфортности движения пользователей автомобилей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение надземных путепроводов для автомобильного транспорта в «критических зонах» пересечения автомобильных и железных дорог позволяет существенно оптимизировать поездки в крупных городах и регионах со сложившейся инфраструктурой. При этом существует возможность интеграции технического решения с мобильными приложениями и навигационными сервисами таким образом, чтобы очереди на использование надземного путепровода формировались заранее и учитывались при составлении и оптимизации маршрутов. Большое значение может иметь и социальный эффект от использования автодорожных путепроводов лифтового типа в условиях плотной городской застройки современных городов.

Предложенные решения могут быть как отдельными мобильными приложениями,

так и интегрированными сервисами в имеющиеся навигационные и банковские системы. Подобная интеграция позволяет упростить взаимодействие пользователя с транспортной системой, сократить время на проведение операций, обеспечить более комфортное движение и, в конечном итоге, оптимизацию временных и финансовых затрат пользователя.

Следует ещё раз подчеркнуть, что автодорожные путепроводы лифтового типа — это не массовое техническое решение, а платное повышение комфортабельности перевозок и средство оперативного пропуска автомобилей экстренных служб. Кроме того, подобное техническое решение при его модульном исполнении и быстром развёртывании может оказаться полезным при проведении длительных плановых работ, например, связанных с реконструкцией переездов, закрытии их на продолжительное время и пр. Максимально просто возводится представленная конструкция для одно- и двухпутных железнодорожных линий. Время же проезда определяется величиной $\frac{1}{\mu}$, существенно зависящей от

типов устанавливаемых подъёмников, скорости заезда в лифт, подъёма, проезда по коридору, спуска и выезда из лифта и, по предварительной оценке, не должно превышать одной минуты. Для исключения скопления очередей целесообразно заранее бронировать путепровод, в ряде случаев для оптимизации размещения транспортных средств — строить специально оборудованные отстойники перед заездом. Все это, естественно, требует дальнейшей детальной проработки с учётом условий строительства непосредственно на объекте внедрения и экономического эффекта, просчитываемого дополнительно (на что влияют капитальные вложения, затраты на обслуживание, востребованность у пользователей, возможность привлечения рекламодателей при использовании мобильных приложений и т.д.).

В заключение необходимо отметить также, что представленное техническое решение может быть встречено с осторожностью специалистами, ответственными за принятие решений по строительству инно-

вационных объектов на транспорте, и, естественно, потребует дополнительных исследований, но вполне заслуживает дальнейшего внимания в силу связанных с ним потенциальных положительных эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Efanov, D., Lykov, A., Osadchy, G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking // Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017, pp. 242–248. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.

2. Хорошев В. В., Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Концепция полносвязного мониторинга инфраструктуры переездов // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 1. — С. 47–52.

3. Report on Railway Safety and Interoperability in the EU. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020, 113 p.

4. Enhancing Level Crossing Safety 2019–2029. A Long-Term Strategy Targeting Improved Safety on Great Britain's Railway. — London: NetworkRail, 2019, 35 p.

5. Новое расписание закрытия железнодорожного переезда в Колпино. [Электронный ресурс]: <http://kolpinonews.ru/news/14345>. Доступ 02.07.2020.

6. Астратов О. С., Филатов В. Н. Видеодатчики в системе обеспечения безопасности движения на железнодорожном переезде // Датчики и системы. — 2015. — № 2. — С. 33–37.

7. Samaranyake, P., Matawie, K. M., Rajayogan, R. Evaluation of Safety Risks at Railway Grade Crossings: Conceptual Framework Development // 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, 14–17 September 2011, Bangkok, Thailand, pp. 125–129. DOI: 10.1109/ICQR.2011.6031694.

8. Busse, R. Increased Network Availability with the Intelligent Operation of Level Crossing Protection Systems // Signal+ Draht, 2020 (112), Iss. 10, pp. 11–17.

9. Efanov, D., Plotnikov, D., Osadchy, G. Prognosis Service for Navigation Systems Regarding Time Parameters of Railroad Crossing // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 201–208. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524770.

10. Ефанов Д. В. Цифровой железнодорожный переезд // Автоматика, связь, информатика. — 2018. — № 11. — С. 11–15.

11. Gorman, S. Elon Musk unveils his first Los Angeles-area tunnel. [Электронный ресурс]: <https://www.reuters.com/article/us-musk-tunnel/elon-musk-unveils-his-first-los-angeles-area-tunnel-idUSKBN1O103W>. Доступ 03.07.2020.

12. Маск открыл скоростной подземный туннель под Лос-Анджелесом. [Электронный ресурс]: <https://newizv.ru/news/world/19-12-2018/mask-otkryl-skorostnoy-podzemnyy-tunnel-pod-los-andzhelesom>. Доступ 03.07.2020.

13. Горцев А. М. Двухканальная система массового обслуживания с переходом требований из одной очереди в другую // Автоматика и телемеханика. — 1981. — № 6. — С. 189–192.

14. Бубнов В. П., Сергеев С. А. Нестационарные модели локального сервера автоматизированной системы мониторинга искусственных сооружений // Труды СПИИРАН. — 2016. — № 2 (45). — С. 102–115.

15. Efanow, D. W., Osadtschiy G. W. Energy Efficiency Categories for Safety Installations // Signal+ Draht, 2020, Vol. 112, Iss. 4, pp. 36–42.

