

## 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 комфортность 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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 км<sup>2</sup> сосредоточено около 6 тыс. железнодорожных переездов (примерно один переезд на 40 км<sup>2</sup>) [4], а в странах ЕС расположено свыше 100 тыс. переездов [3], среди которых около 49 % являются неохраняемыми. 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.

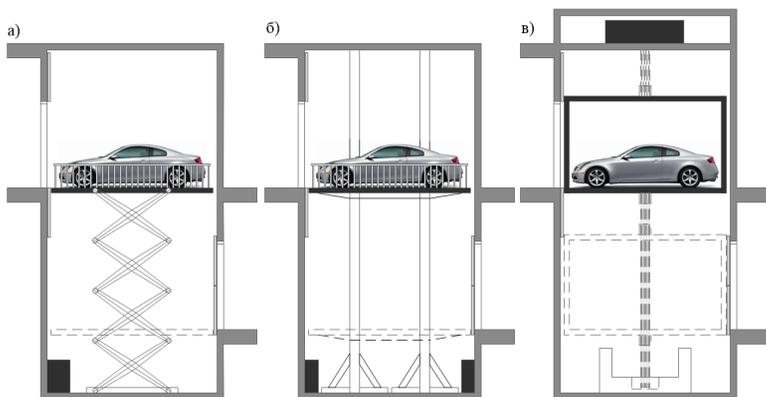
Возведение представленной конструкции не требует изменения застройки в районе пересечения автомобильной и железной дорог, а также строительства подходов, что крайне актуально в условиях сложившейся застройки и не влияет на архитектурный облик города.

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 исполняться 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].*



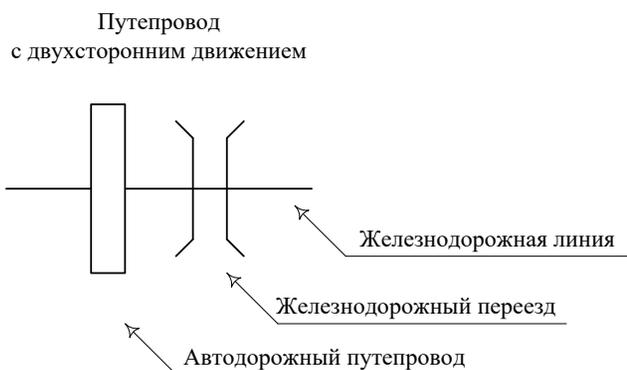
*Рис. 3. Вариант расположения путепровода с зоной одностороннего проследования (вид с высоты птичьего полёта) [подготовлен авторами].*

### **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 переезд 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  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ;

- с обеих сторон возможно появление высокоприоритетной заявки с интенсивностью  $\lambda_1^n$  и  $\lambda_2^n$ ;

- 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 двусторонним движением и с односторонним движением (с возможностью реверсирования).

На рис. 4 приведены условные обозначения.

Опишем случай путепровода с двусторонним 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.

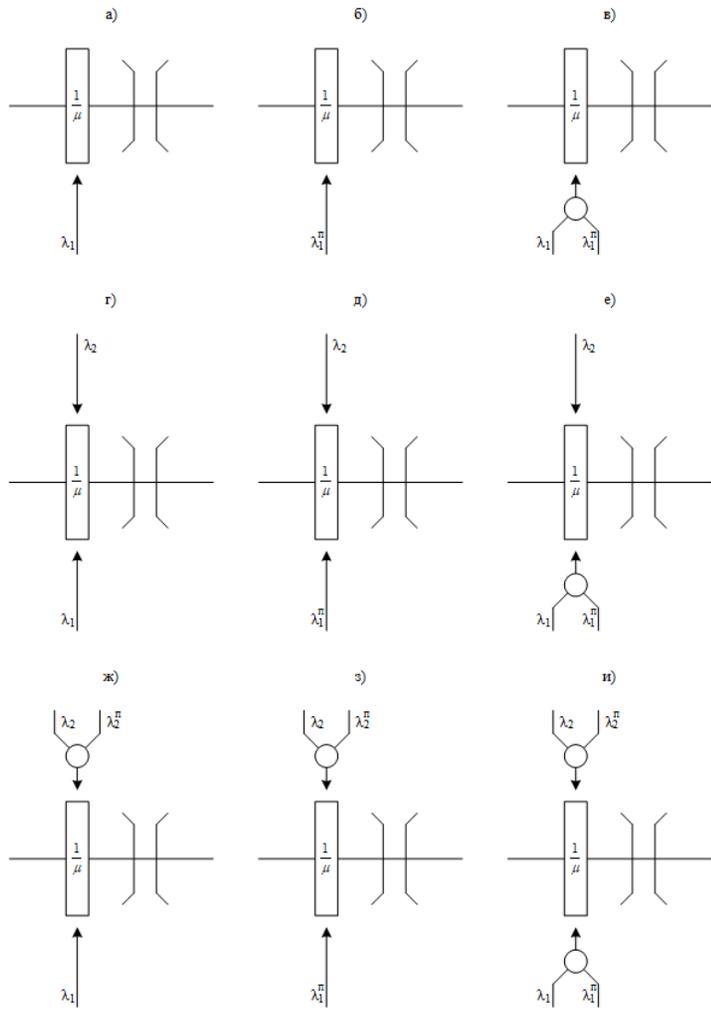
*Первый сценарий*, показанный на рис. 5а, характеризует случай, когда очередь из низкоприоритетных заявок образуется только с одной стороны путепровода.

*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  $\tau$ . Положим, для регулирования очередей устанавливаются светофоры с обеих сторон надземного путепровода. Тогда целесообразно с учётом времени  $\tau$  настроить работу светофоров таким образом, чтобы при движении в обоих направлениях за время  $\tau$  было пропущено одинаковое количество машин в каждом направлении. В этом случае при малом значении  $\tau$  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  $\tau$  настолько мало, что может быть пропущено малое

число автомобилей, следует приоритет движения установить согласно предварительным заявкам водителей. Если время  $\tau$  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-

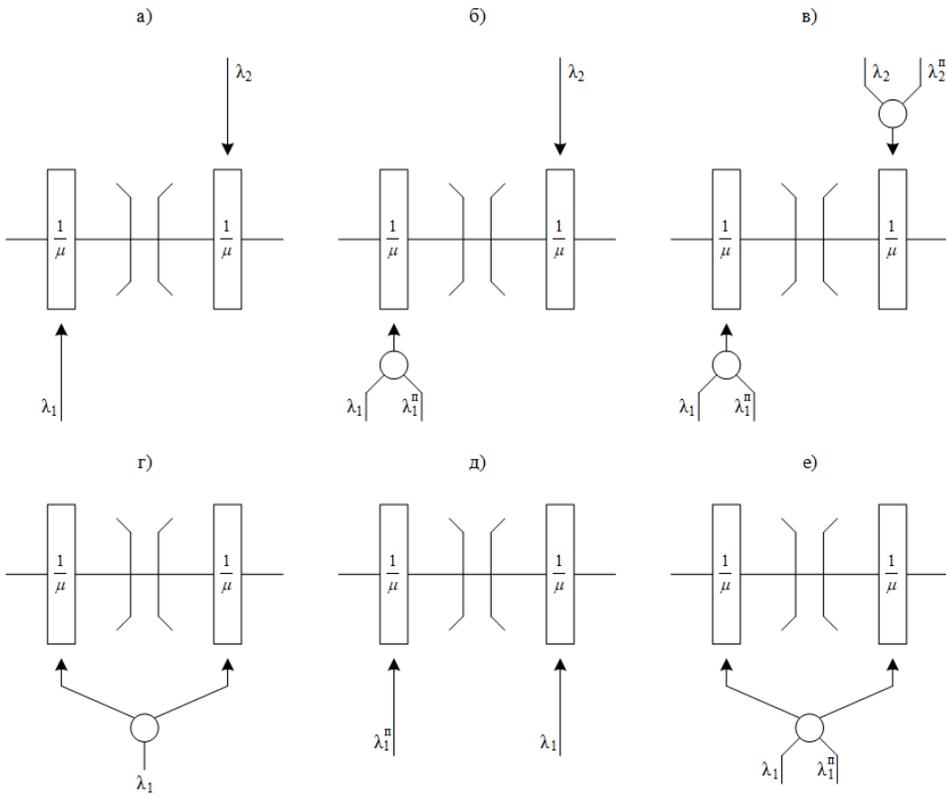


Рис. 6. Сценарии образования очередей у одностороннего (с реверсированием) надземного путепровода [подготовлен авторами].

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 15<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDT'S'2017), Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017, pp. 242–248. DOI: 10.1109/EWDT'S.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 16<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDT'S'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 201–208. DOI: 10.1109/EWDT'S.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.





## Road Overbridges of Car Lift Type for Crossing Railway Tracks in Densely Built-Up Areas of Modern Cities



Dmitry V. EFANOV



Valery N. MYACHIN



German V. OSADCHY

*Efanov, Dmitry V., LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems, St. Petersburg; Russia, Russian University of Transport, Moscow, Russia*  
*Myachin, Valery N., LLC Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure, St. Petersburg, Russia.*  
*Osadchy, German V., LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems; Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia\*.*

### ABSTRACT

The theoretical prerequisites for construction of road overbridges of car lift type for crossing railways by automotive vehicles are suggested. A technical solution has been proposed that makes it possible to ensure the crossing by cars of «problem» railway crossings during periods of their long-term closure for road traffic. The same solution can be used to organise a road overbridge in other locations where there is no railway crossing. The technical solution itself is based on the use of overhead road overpasses and is a «simplified» version of the solution implemented by Elon Musk and his company in Los Angeles based on a tunnel, moving platforms and freight elevators. For

development of car lift type road overbridges, computational methods of theoretical mechanics, technical diagnostics and monitoring, as well as the theory of queuing should be used to estimate the number of cars passed through it when crossings are closed. It is proposed that the structures of the overbridge should be «built-in» into the landscape, equipped with alternative sources of energy supply and technical means of control, diagnostics and monitoring of rolling stock and of location of direct intersection of automobile and railway roads (an intelligent monitoring zone). The proposed promising technical solution in the form of a road overbridge makes it possible to increase comfort of road transportation and improve traffic safety at level crossings.

*Keywords:* transport, level crossing, traffic safety, car lift type road overbridge, traffic optimisation, information services at level crossings.

\*Information about the authors:

**Efanov, Dmitry V.** – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Deputy General Director for Research of LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems, St. Petersburg, Russia; Professor at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communication of Russian University of Transport, Moscow, Russia, TrES-4b@yandex.ru.

**Myachin, Valery N.** – D.Sc. (Eng), Professor, General Director of LLC Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI); General Director of LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems St. Petersburg, Russia, vmyachin@ipr.ru.

**Osadchy, German V.** – Technical Director of LLC Scientific and Technical Centre of Integrated Monitoring Systems, Senior Lecturer at the Department of Railway Automation and Remote Control of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, osgerman@mail.ru.

Article received 09.10.2020, accepted 11.11.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 90.

**Background.** Points of intersection of highways and railways at the same level, or level crossings [1], according to statistics, are the most frequent places of occurrence of violations in operation of the railway transport system. These data are relevant for the whole world, and not only for a single country or region [2; 3]. In Great Britain alone, on an area of 243 809 km<sup>2</sup>, there are about 6 thousand level crossings (approximately a level crossing per 40 km<sup>2</sup>) [4], and in the EU countries there are over 100 thousand level crossings [3], of which about 49 % are unguarded. Level crossings are places of increased safety risk for both road and rail users.

The causes of violations at level crossings are extremely varied, but they can all be reduced to errors in operation of the man-machine system: actions of drivers of road vehicles can be provoked by the incorrectly understood actions of railway transport while the drivers are in the waiting mode for permission to pass through the level crossing, and that is the cause of violations of traffic rules by them. At this point, they become sources of dangerous impact for the railway system.

Violations often occur due to the fact that the crossing is closed for movement of vehicles in advance and also does not open immediately. At the same time, depending on the category of the railway line, track development and the maximum permissible speeds of train movement, waiting time can vary significantly. Crossings can often be located in areas of existing urban infrastructure and cause significant interruptions in traffic. For example, a crossing on St. Petersburg–Moscow line, where high-speed Sapsan trains run, in Kolpino (St. Petersburg) is notorious, as it closes 20 minutes before the train enters the crossing and opens only 20 minutes after it passes. If we consider that the consecutive two train schedule is set for Sapsan trains, the breaks for following the crossing become close to half an hour [5]. Once in a traffic jam, the driver becomes a hostage of the situation and is forced to waste time, as well as to lose the stability of the psychological state, which undoubtedly has an impact on the transport system.

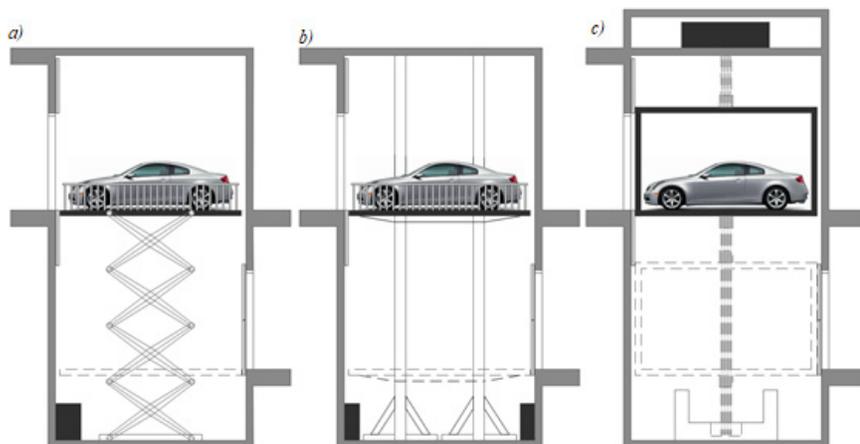
For areas of interaction between road and railway transport, like those described in the example, construction of multi-level interchanges is the best solution from the standpoint of both reliability, safety, and speed of passage. However, this solution has two significant, even

deterministic, disadvantages. The first one is associated with economic aspects and high costs of construction of multi-level interchanges. The second one is associated with the peculiarities of urban planning and with the fact that in a number of areas with an established infrastructure, sometimes construction of multi-level interchanges becomes inappropriate from the purely technical point of view. It should be noted that according to [3], the main directions of development in the field of traffic safety at level crossings are focused on increasing the number of technical means of automation of level crossing control, however, the potential of modern information systems has been somehow overlooked [6–8].

One of the solutions to optimise traffic at level crossings is integration of data from railway systems for organising and controlling traffic, as well as from means automation and telemechanics into mobile navigation systems and building routes for road traffic, considering the predicted closing and opening times of crossings [9; 10]. If it is impossible to obtain data from the railway transport system, then there is an option for implementing a forecasting system with its own sensors installed near the crossing. Such a solution allows to provide traffic participants, both motor transport drivers and locomotive drivers, with a forecast of the situation at the crossing and with a forecast of size of traffic and with information on the traffic itself in the area of intersection of the road and the railway. This forecast by itself is the most valuable information for ensuring traffic safety: the number of accidents and crashes is guaranteed to decrease, as road users will receive information «about the near future» and will choose acceptable actions.

Another promising option for organizing traffic at level crossings is the use of specialized freight elevators and road overbridges designed for the motor vehicles could cross the intersection of the road and railways. Such car lift type road overbridges can be installed not only in the immediate vicinity of the crossings, but also be built in the existing urban infrastructure environment, considering the most intense traffic areas. The car driver will have a choice to use this transport infrastructure object (similar to an alternative that he has in large cities: to travel by free either by toll roads). When developing a design, it is necessary to consider the methods of theoretical mechanics





**Fig. 1. Variant of lifting devices: a) scissor car lift; b) column car lift; c) car lift [compiled by the authors].**

to choose engine power for lifting cars to a certain height, as well as methods of the theory of queuing to estimate the number of cars that will use that opportunity when the level crossings is closed. This, however, will require simulating operation of the overbridge for various road scenarios.

This innovative solution requires further study and analysis.

The *objective* of the study described in the article is to examine the features of arrangement of road overbridges, considering implied innovations and the prospects for their mass implementation. The study has used the *methods* of theoretical mechanics, technical diagnostics, and monitoring, as well as the theory of queuing to estimate the number of cars served when level crossing is closed. The study has resulted in development of an innovative solution for railway crossings, based on the use of car lift type road overbridges.

It should be noted that such a solution can be considered as the analogue of the invention of The Boring Company by Elon Musk, implemented in Los Angeles, where freight elevators are also used, but to deliver cars underground to special moving platforms, and further movement is carried out through a tunnel [11; 12]. This solution, however, turns out to be quite expensive, in contrast to the one proposed by the authors.

### Road overbridges

A car lift type road overbridge might be a special design that combines an overhead overpass and structures for vertical ascent to it at both ends using a freight elevator.

The construction of the presented structure does not require changes in development in the area of intersection of the road and railway, as well as construction of approaches, which is extremely important in the conditions of the existing development and does not affect the architectural appearance of the city.

It is possible to use special lifts or elevators, which are widely used in major cities around the world as devices for delivering a car to the overbridge. In many cities, the lack of free space is increasingly felt, and placing cars underground with the help of a lifting mechanism does not disturb the surrounding architecture. Car lifts are also used in shopping centres with rooftop parking, and in residential buildings with parking lots in the basement.

A car lift (Pic. 1) is a structure consisting of a support system and a drive mechanism. The device operates as follows. The car drives onto the platform, gauge sensors (they are located at the ends of guardrails) read the correct position of the car, and the support system starts moving, raising the car to the required height.

In scissor lifts (Pic. 1a), the platform moves with the help of levers located under it and shaped as scissors. The cylinders acting on the levers force them to unfold, which allows to lift the platform up.

The disadvantage of using scissor lifts is the lack of walls at their platform. That is, passengers who left (accidentally or intentionally), as well as the driver himself, are not protected by anything from falling or getting injured on such a lift. In addition, the installation will not budge if the machine has entered the site incorrectly.



**Pic. 2. Variant of location of an overbridge with a one-way traffic zone (view from the car) [prepared by the authors].**



**Pic. 3. Variant of location of the overbridge with a one-way traffic zone (bird's-eye view) [prepared by the authors].**

This will lead to additional movements (manoeuvring) of the car on the platform of the lift, which will increase time the lift is occupied and time of a car's crossing the railway line. It will be difficult to implement this design, since it is not able to withstand the lifting of a car of more than 3 tons to a height of 7 meters (which is necessary to ensure the clearance conditions regarding dimensions of the structure).

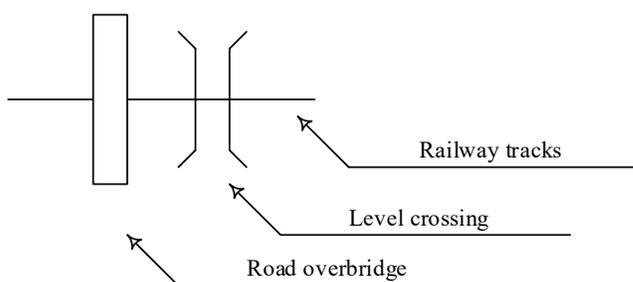
The lift option in Pic. 1b is a structure of two (each of which is located opposite respective side of a car) or four (each two of them are located

opposite respective side of a car) guide columns, located perpendicular to the platform. In this case, lifting is produced by hydraulic cylinders. They move the carriages, attached to the platform with a special system, which includes traction chains and block-and-tackle mechanisms. The standard value of the height to which the car can be lifted is 7 m. But, unfortunately, all other disadvantages of the first version of the lift (Pic. 1a) are consistent with that version as well.

The most perfect option, devoid of the indicated disadvantages, is a car lift (Pic. 1c)



## Overbridge with two-way traffic



Pic. 4. Symbols.

which is the same freight elevator capable of lifting a load to the required height, the mass of which should not exceed 3,5 tons. With this version of the lift, it is not necessary to monitor the sensors and rearrange the transport to a «more comfortable» position. In this case, when the car enters the elevator cabin, the ascent starts immediately after the doors are completely closed.

The design of the road overbridge can be adapted to the landscape and easily fit into it (Pics. 2, 3), and the overbridge can be built both with a single tunnel for traffic, and with two tunnels (they can be located both parallel and above each other).

It is advisable to use such a crossing elevator as an engineering structure that provides an «additional service» for road transport, and not as an ordinary means of crossing the railway. At the approaches to the elevator, control zones might be installed that work in automatic mode (according to the type of operation of the approach zones for road transport at airports or according to the type of operation of toll zones on dedicated high-speed highways). At the same time, it is possible to organize an electronic queue to access an elevator fixing different priorities, for example, for ambulances. It is convenient and simply necessary in connection with the universal usage of mobile applications to develop and implement mobile applications to increase comfort of using the provided service, to provide advance planning and traffic optimisation.

#### Queuing scenarios in direct proximity to the overbridge and level crossing

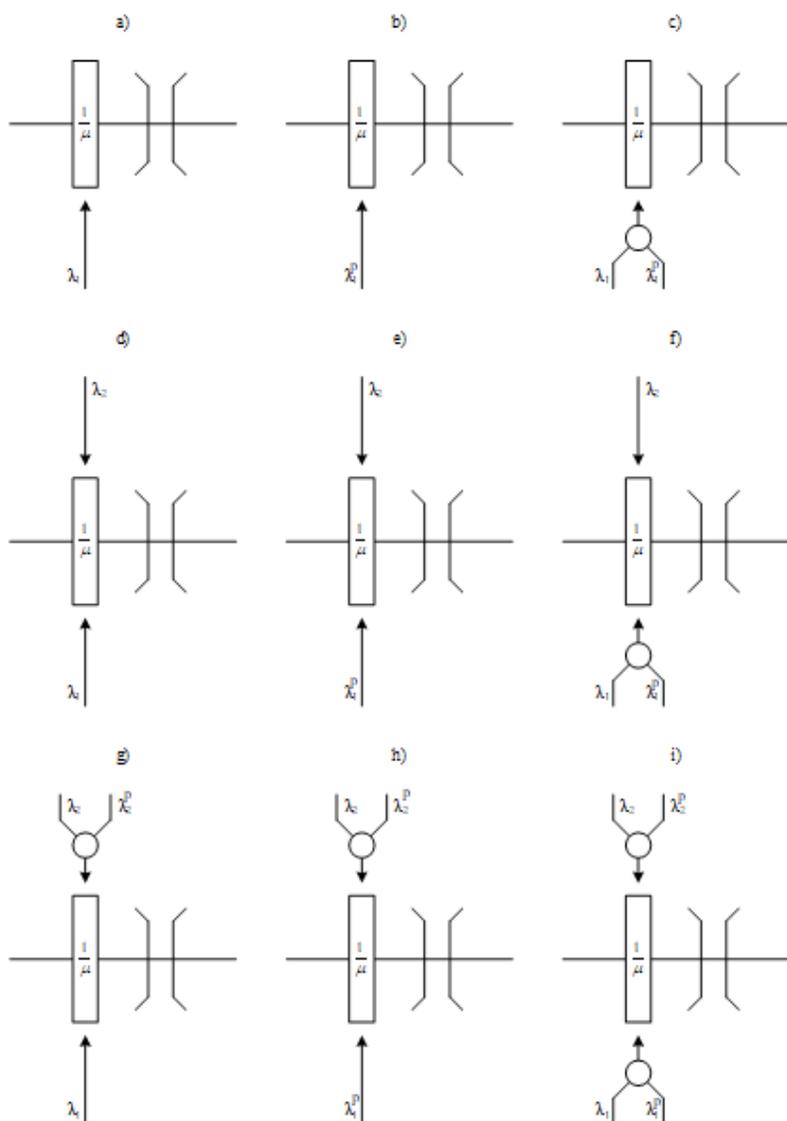
The operation of an overbridge with one and two tunnels is determined by the peculiarities

of formation of flows of vehicles interested in its use on both sides of the overpass from the side of the highway. In fact, the proposed technical solution is either a single-channel or two-channel queuing system (QS) [13; 14].

With both options of organizing an overbridge for road transport, its operation is restrained during the periods when the level crossing is open for road traffic, when there are no road traffic accidents that impede the passage through the railway, etc. It is practicable to consider QS only in the periods from level crossing closure till its opening for road traffic. More precisely, from some forecast moment, which allows to activate the work of the overbridge for road transport in advance. There is also a case when during traffic jam at the level crossing overbridge can be operated to meet a high-priority application, but this case is proposed not to be considered in view of the absence of classical QS in this case, since in case of a traffic jam, a high-priority application can be served instantly, and simultaneous arrival of high priority vehicles at both sides of the overpass are unlikely. However, in this case, the technical solution will do its job, skipping first a transport object, then the second one.

Applications regarding the considered technical object «overbridge for road transport» at time of its operation, in the most general case, have the following parameters:

- applications with the same priority and intensities  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  arrive from both sides of the overbridge.
- on both sides, a high-priority application with intensity  $\lambda_1^p$  and  $\lambda_2^p$  is possible.
- average service time of each application is determined by time parameters of a vehicle's ascent, its movement over the railway bed and



**Pic. 5. Scenarios of queuing at a two-way overbridge [prepared by the authors].**

descent, and is expressed in the general case by the value  $\frac{1}{\mu}$ .

Let us consider two versions of scenarios of queuing near the overbridge when it is intended for two-way, and for one-way traffic (with the possibility of reversing).

Pic. 4 shows the symbols.

Let us describe the case of a two-way overbridge (Pic. 5). First, we will assume that the cases of considering flow from each side are equivalent and exclude from consideration one of «symmetric options» (for example, when there is a flow on only one side or only on the

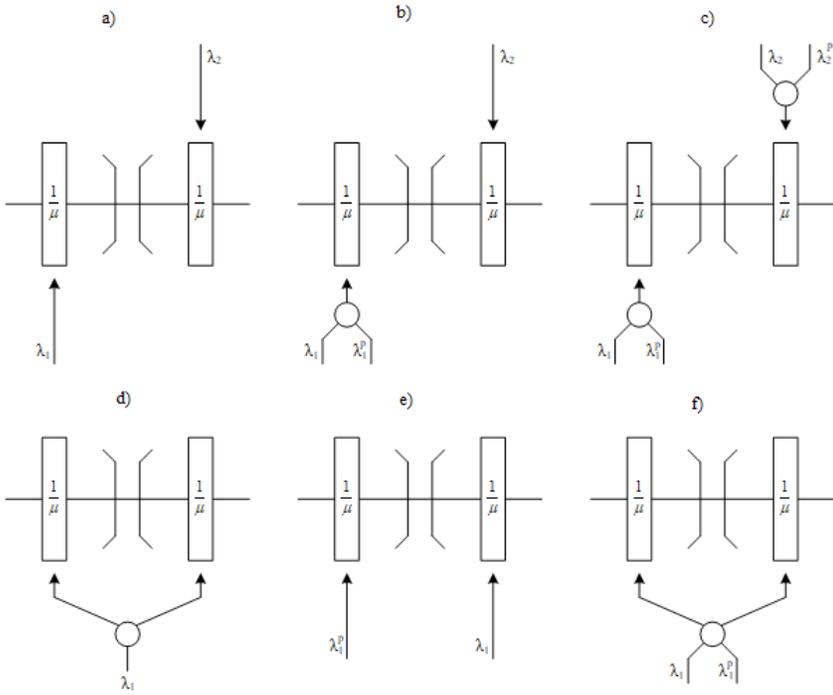
other side). Then nine different situations can be distinguished.

*The first scenario* shown in Pic. 5a, characterizes the case when a queue of low-priority applications is formed only on one side of the overbridge.

*The second scenario* (Pic. 5b) describes the case of a high-priority application from one side of the overbridge in the absence of traffic from the other (in fact, it is similar to the first scenario).

*The third scenario* (Pic. 5c) describes the situation of formation of both low-priority and high-priority applications from one side of the





**Pic. 6. Scenarios of queuing at a one-way (reversible lane) overbridge [compiled by the authors].**

overbridge in the absence of traffic from the other.

The fourth scenario (Pic. 5d) characterizes the situation when low-priority applications are formed on both sides of the overbridge. This case seems to be the most interesting. In case of formation of applications from both sides of the overbridge, it is required to establish a priority for the traffic from either side. This priority can be set based on the number of applications and constraints regarding the operating time  $\tau$ . We can suppose that traffic lights are installed on both sides of the overbridge to regulate queuing. Then it is advisable, considering time  $\tau$ , to adjust the operation of traffic lights in such a way that during time  $\tau$  the same number of cars will pass in both directions. In this case, for a small value of  $\tau$ , the priority of one of the queues can be selected and the green light for this queue can be turned on for time  $\left(\frac{\tau}{2} - \frac{1}{\mu}\right)$  and for the same time it then can be turned on for the second queue. If time  $\tau$  is so short that only a small number of cars can be allowed to pass, the traffic priority should be set according to the preliminary applications of drivers. If time  $\tau$  is long (exceeds 10–20 minutes), then the traffic

lights can be switched several times, keeping the total travel time in each direction as  $\frac{\tau}{2}$ .

The fifth scenario (Pic. 5e) shows the presence of two streams of applications on both sides of the overbridge, one of which is high-priority, the second is low-priority. In this case, high priority applications are served separately. It should be noted that within the flow of high-priority applications there may be own priorities, however, it is advisable not to consider them, assessing only the possibilities of total operation of the overbridge according to this scenario.

The sixth and seventh scenarios (Pic. 5f, g) describe identical situations when low-priority applications are formed on one side of the overpass, and low- and high-priority applications on the other. In this case, priority is given to high-priority applications, and once they are fulfilled, the overpass begins to operate according to the fourth scenario already discussed above.

The eighth scenario (Pic. 5h) describes a situation similar to the previous two situations, with the only exception that high-priority applications are formed on both sides of the overbridge, but low-priority applications are

also formed at one side. In this case, first, high-priority applications are executed from both sides, and then – low-priority applications from that given side. When high-priority applications are executed, the flows can be considered equivalent, and the execution of applications can be further based on the queue length with the corresponding service time for each application.

*The ninth scenario (Pic. 5i)* covers the most common case of formation of both types of applications at both sides of the overpass. Operation is similar to the algorithm described above for serving high priority applications from both sides and low priority applications from both sides.

While Pic. 5 shows scenarios for formation of applications to use overbridge with two-way traffic, Pic. 6 shows scenarios for formation of applications for a one-way road overbridge (with the possibility of reversing traffic). We can say that this option for organizing the overpass can be considered based on individual cases of the first option. For this reason, no additional description might be provided.

The calculation of the given QS can be carried out by means of simulation (not presented in this work).

#### **Additional functionality of the road overbridge**

The car lift type road overbridge is a unique technical solution that allows to integrate convenient means of crossing railways into the areas with an already established infrastructure. The technical solution itself can not only be implemented with a design that fits perfectly and does not violate the main «line» of the landscape, but also be provided with developed functionality that allows you to make not just a structure for solving a single task, but also to build a multipurpose facility. The buildings and objects of transport infrastructure should long ago cease to be considered only as static objects, «tuned» purely to solve a single narrow problem. They should be considered as objects created by man for ease of use, minimization of costs of both time and money, to increase the efficiency of operation of the transport complex and to obtain more comfortable use of the transport system by the end user. Technical objects should be as close as possible in their properties to the properties of living objects from the biological world and endowed with some «technical senses»: «technical

hearing», «technical vision», «technical intelligence». In addition, it is necessary to achieve maximally «green» technical solutions using alternative energy sources, classifying energy consumers, and implementing such technical solutions that have a reduced carbon footprint [15].

The proposed «simplified» copy of the technical solution of Elon Musk company is a basic system that can be easily expanded and enlarged to a multifunctional complex with the following features:

- The roof of the complex is covered with solar panels to organise energy supply not only from the local power grid, but also from an alternative source, and in fact the structure itself is a «micro-power plant» with energy storage devices (it is quite possible that there will be enough energy to power the automation objects, as well as neighbouring residential buildings).

- It is possible to combine its functions with electric charging for modern electric vehicles from sources of «micro-power plant».

- Diagnostic equipment can be installed under the floor of the structure respecting clearance conditions for rolling stock traffic to check the workload of wagons, the state of the contact network (if the road is electrified).

- Equipment for monitoring the integrity of wagon seals, recognition of wagon numbers, flaw detection of axle boxes can be installed on the sides of the structure (it is possible to use the technology of surface acoustic waves for monitoring).

- In the area of intersection of the road and railway (at the level crossing itself), devices for control, technical diagnostics and monitoring of the state of the level crossing, etc., are installed.

Such functionality makes it possible to integrate into a single facility a complex technical «organism» that solves various tasks and ensures the fault tolerance, safety of the transport system, and comfort of movement of car users.

#### **Conclusion**

The implementation of road overbridges in «critical zones» of the intersection of roads and railways can significantly optimise traveling in large cities and regions with an established infrastructure. At the same time, it is possible to integrate the technical solution with mobile



applications and navigation services in such a way that queues for using the overbridges are formed in advance and considered for routing and route optimisation purposes. The social effect of the use of car lift type road overbridges in the conditions of dense urban development in modern cities can also be of great importance.

The proposed solutions can be either separate mobile applications or integrated services as part of existing navigation and banking systems. Such integration makes it possible to simplify the user's interaction with the transport system, reduce time spent on operations, provide more comfortable travel, and, ultimately, optimise user's time and financial costs.

It should be emphasized once again that car lift type road overbridges are not a mass technical solution, but a toll increase in comfort of transportation and a means allowing prompt passage of emergency vehicles. In addition, such a technical solution, having modular design and suitable for rapid deployment, can be useful for long-term planned work, for example, related to reconstruction of crossings, their closure for a long time, etc. The presented structure for one- and two-track railway lines can be erected as simply as possible. The travel time is determined by a value  $\frac{1}{\mu}$  that depends

significantly on the types of car lifts installed, speed of entering the lift, ascending, driving along the corridor, descending, and exiting the lift and, according to preliminary estimates, should not exceed 1 minute. To avoid long queuing, it is advisable to provide possibility to pre-book the service; in some cases, to optimise location of vehicles, it is advisable to build specially equipped waiting lots in front of car lift. All this, of course, requires further detailed study, considering building conditions directly at a construction site and economic effect calculated additionally (which is influenced by capital investments, service costs, user demand, the ability to attract advertisers when using mobile applications, etc.).

In conclusion, it should also be noted that the suggested technical solution might be met with caution by specialists responsible for making decisions on the construction of innovative transport facilities, and will quite naturally require further study, but merits attention thanks to its potential positive effects.

## REFERENCES

1. Efanov, D., Lykov, A., Osadchy, G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking. Proceedings of 15<sup>th</sup> 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. Khoroshev, V. V., Efanov, D. V., Osadchy, G. V. The concept of fully connected monitoring of the infrastructure of crossings [*Kontseptsiya polnosvyaznogo monitoringa infrastruktury poezdov*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2018, Iss. 1, pp. 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. New schedule for closing the railway crossing in Kolpino [*Novoe raspisanie zakrytiya zh/d pereezda v Kolpino*]. [Electronic resource]: <http://kolpinonews.ru/news/14345>. Last accessed 02.07.2020.
6. Astratov, O. S., Filatov, V. N. Video sensors in the traffic safety system at a railway crossing [*Videodatchiki v sisteme obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnom pereezde*]. *Datchiki i sistemy*, 2015, Iss. 2, pp. 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, 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 16<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 201–208. DOI: 10.1109/EWDTs.2018.8524770.
10. Efanov, D. V. Digital railway crossing [*Tsifrovoy zheleznodorozhnyy pereezd*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2018, Iss. 11, pp. 11–15.
11. Gorman, S. Elon Musk unveils his first Los Angeles-area tunnel. [Electronic resource]: <https://www.reuters.com/article/us-musk-tunnel/elon-musk-unveils-his-first-los-angeles-area-tunnel-idUSKBN1O103W>. Last accessed 03.07.2020.
12. Musk opened a high-speed underground tunnel near Los Angeles [*Mask otkryl skorostnoi podzemnyy tunnel pod Los-Andzhelesom*]. [Electronic resource]: <https://newizv.ru/news/world/19-12-2018/mask-otkryl-skorostnoy-podzemnyy-tunnel-pod-los-andzhelesom>. Last accessed 03.07.2020.
13. Gortsev, A. M. Two-channel system of queuing, service with the transition of requirements from one queue to another [*Dvukhkanalnaya Sistema massovogo, obsluzhivaniya s perekhodom trebovaniy iz odnoi ocheredi v druguyu*]. *Avtomatika i telemekhanika*, 1981, Iss. 6, pp. 189–192.
14. Bubnov, V. P., Sergeev, S. A. Non-stationary models of the local server of the automated monitoring system of artificial structures [*Nestatsionarnie modeli lokalnogo servera avtomatizirovannoi sistemy monitoringa iskusstvennykh sooruzhenii*]. *Proceedings of SPIRAS*, 2016, Iss. 2 (45), pp. 102–115.
15. Efanov, D. W., Osadtschiy G. W. Energy Efficiency Categories for Safety Installations. *Signal+Draht*, 2020, Vol. 112, Iss. 4, pp. 36–42. ●