

Определение величины минимальной допустимой точности качественных матриц корреспонденций с помощью имитационного моделирования



С. В. Жанказиев,
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Организация
и безопасность движения»
Московского автомобильно-
дорожного государственного
технического
университета (МАДИ)



А. И. Воробьев,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
«Организация
и безопасность
движения» МАДИ



Д. Ю. Морозов,
инженер кафедры
«Организация
и безопасность
движения» МАДИ

Качественные матрицы корреспонденции предоставляют основные исходные данные на этапе как проектирования, так и функционирования систем косвенного управления транспортными потоками. Описаны имитационные модели участков сети дорог, их основные характеристики; представлены методики проведения экспериментов; приведены задачи, которые можно решить с помощью созданных имитационных моделей.

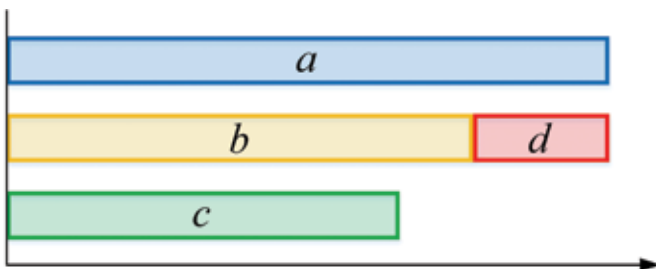
Определение технологии идентификации транспортных средств

Настоящая статья представляет собой логическое продолжение исследования [1–4] влияния точности качественных матриц корреспонденции (КМК) на эффективность косвенного управления транспортными средствами (КУТП). Ранее было установлено, что специфика КМК требует определения маршрутов движения транспортных средств и что для этой цели сегодня и в ближайшей перспективе доступна лишь технология идентификации транспортных средств (ТС) с помощью дорожной инфраструктуры [4]. При этом единственный доступный способ вычисления точности идентификации ТС – расчет отношения количества идентифицированных ТС к общему числу ТС, проехавших

через контролируемый участок дороги. Такую оценку можно выполнить только с помощью дополнительных детекторов транспортных потоков (ТП).

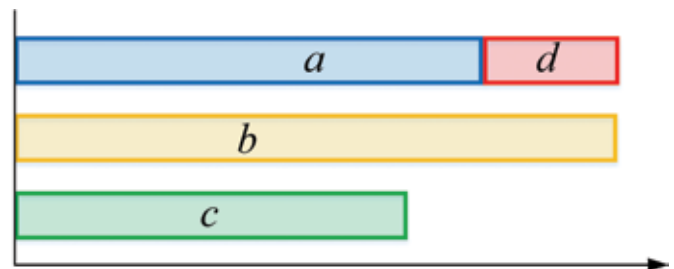
Нужно обратить внимание на следующую особенность детекторов ТП: они обладают погрешностью как в меньшую (зарегистрировано меньше ТС, чем проехало на самом деле), так и в большую (зарегистрировано больше ТС, чем проехало на самом деле) сторону. Поэтому при построении КМК возможны два вида ошибок:

1) ошибка первого рода; возникает в случае погрешности детектора ТП в меньшую сторону (фактическая интенсивность ТП выше показателей детекторов); расчетная точность КМК оказывается ниже фактической, происходит недооценка фактической величины ТП; в таком случае расчетная точность



a – фактическая интенсивность ТП
b – интенсивность ТП, измеренная детектором
c – идентифицировано ТС
d – ошибка детектора

Рис. 1. Соотношение параметров при ошибке первого рода



a – фактическая интенсивность ТП
b – интенсивность ТП, измеренная детектором
c – идентифицировано ТС
d – ошибка детектора

Рис. 2. Соотношение параметров при ошибке второго рода

идентификации ТП окажется выше фактической (рис. 1; формула 1);

2) ошибка второго рода; возникает в случае погрешности детектора ТП в большую сторону (фактическая интенсивность ТП ниже показателей детекторов); расчетная точность КМК оказывается выше фактической, происходит переоценка фактической величины ТП; в таком случае расчетная точность идентификации ТП окажется ниже фактической (рис. 2; формула 2).

В случае ошибки первого рода

$$P_{\text{факт}} = \frac{c}{a}; P_{\text{расч}} = \frac{c}{b}; P_{\text{факт}} < P_{\text{расч}} \quad (1)$$

где $P_{\text{факт}}$, $P_{\text{расч}}$ – фактическая и расчетная точность идентификации, соответственно.

В случае ошибки второго рода

$$P_{\text{факт}} = \frac{c}{a}; P_{\text{расч}} = \frac{c}{b}; P_{\text{факт}} > P_{\text{расч}} \quad (2)$$

Чтобы корректнее оценить влияние той или иной ошибки на эффективность КУТП, были проведены исследования для каждого рода ошибок:

- 1) в случае недооценки ТП ($P_{\text{факт}} < P_{\text{расч}}$);
- 2) в случае переоценки ТП ($P_{\text{факт}} > P_{\text{расч}}$).

Последствие ошибки первого рода – формирование таких сценариев информирования участников дорожного движения (УДД), когда перераспределяется большее число ТС по сравнению с расчетным вариантом. Это может привести к возникновению транспортных заторов на альтернативных маршрутах и одновременной разгрузке основных дорог. Система КУТП будет перенаправлять ТП в сторону нового транспортного затора, что спровоцирует понижение уровня доверия УДД к системе КУТП, а доступ к различным сервисам информирования о текущей дорожной обстановке только усилит эффект.

Последствие ошибки второго рода – формирование сценариев информирования УДД, в которых перераспределяется меньшее число ТС, чем рассчитывалось. Это может привести к неполноценному использованию пропускной способности альтернативных дорог, а значит, и систем КУТП. Стоит отметить, что рассматриваемая ошибка не оказывает никакого негативного влияния на дорожную обстановку и на уровень доверия УДД к системе КУТП, поскольку ТП не перенаправляется в сторону транспортных заторов.

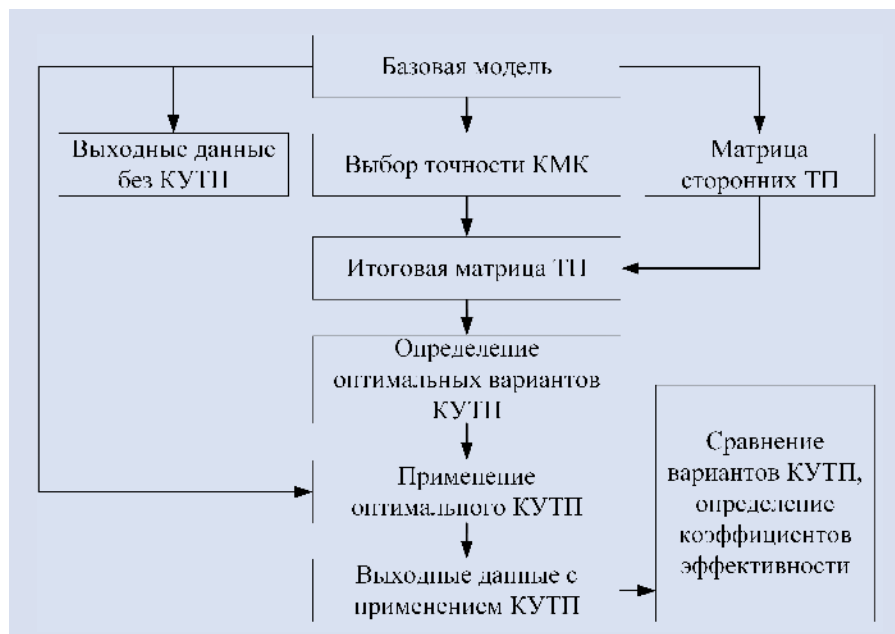


Рис. 3. Схема проведения эксперимента при недооценке ТП

Американскими коллегами, определявшими точность типов детекторов, установлено, что максимальная величина погрешности транспортных детекторов может достигать 20 %. В рамках настоящего исследования рассматривалась точность КМК в интервале от 100 до 80 % с шагом 5 % для получения более точных результатов, а при точности КМК ниже 80 % – с шагом 10 % для представления общей картины зависимости эффективности КУТП от точности КМК. Снижение точности КМК проводилось до того момента, пока не оставался единственный возможный вариант перераспределения ТП либо его применение не оказывало влияния на дорожную обстановку.

Определение влияния недооценки точности КМК на эффективность КУТП

Прежде всего, создается базовая имитационная модель, которой приуси все необходимые условия для перераспределения ТП (рис. 3). Относительно выходных данных этой модели проводится расчет коэффициентов эффективности КУТП [5, 6]. Затем назначается точность КМК. В зависимости от заданной точности корректируется матрица сторонних ТП: разница между фактической и расчетной точностью КМК принимается как сторонние ТП, чтобы выходные данные создаваемой модели ТП соответствовали таковым базовой модели.

Затем, учитывая пропускную способность дорог и развязок, определяли

наиболее подходящие варианты (перераспределения ТП для модели с заданной точностью КМК. Полученные опытным путем варианты КУТП применяли в базовой модели, проводили сбор выходных данных базовой модели с учетом КУТП. На основе этих данных и данных базовой модели без учета КУТП рассчитывали значения индикаторов эффективности КУТП.

Выбор точности КМК происходил по следующей схеме: сначала определяли подходящие варианты перераспределения ТП для КМК с точностью 100 %. Затем назначали новую точность КМК, при которой проверяли варианты распределения ТП, полученные для предыдущей точности КМК, и проводили поиск иных возможных вариантов (рис. 4). Из найденных вариантов перераспределения определяли оптимальные, затем назначали следующую точность КМК и т. д. Описанную операцию повторяли до тех пор, пока не оставался единственно возможный вариант, равный максимально возможному перераспределению ТП. Продолжать исследование точности КМК не имело смысла.

Определение влияния переоценки точности КМК на эффективность КУТП

Для проведения эксперимента использовали те же имитационные модели улично-дорожной сети (УДС), что и для эксперимента, описанного раньше. Схема исследования переоценки КМК отличается от схемы исследования недооценки КМК в принципе форми-

вании матриц ТП с помощью перерасчета КМК (рис. 5). Стоит отметить, что идентификационный блок (ИБ) может создавать только ошибку первого рода. При использовании ИБ в качестве детекторов ТП можно выполнять корректную оценку точности КМК. Кроме того, в случае только одного типа ошибки возможна корректировка полученных данных, смысл которой заключается в перерасчете КМК таким образом, чтобы она отвечала минимальным требованиям систем КУТП.

Сначала проводили эксперимент по оценке влияния недооценки ТП, и анализ его результатов выявил, что минимально допустимая точность КМК для максимально эффективного КУТП составляет 90 %. Если расчетная точность КМК окажется ниже этого значения, необходимо провести перерасчет КМК до уровня минимальной допустимой точности. Данная мера позволила одновременно с исследованием провести

проверку эффективности работы разработанного принципа корректировки КМК.

В целом методика идентична предыдущей, за исключением одного: после выбора точности КМК проводили перерасчет, который позволял получить минимальную гарантированную точность 90 %.

В данной ситуации возможны два варианта исследования:

- 1) определены все маршруты движения ТС к объектам притяжения (ОП);
- 2) определены только ключевые маршруты движения, удовлетворяющие условиям КУТП.

В первом случае предоставляется возможность определить общую фактическую точность КМК, а не отдельных маршрутов, в результате можно сделать заключение о величине возможной погрешности при перерасчете, если он необходим (при фактической точности не менее 90 % перерасчет не

требуется). Худшим вариантом будет среднее значение фактической точности КМК, при котором, например, точность одного маршрута окажется равной минимальной расчетной, а другого — абсолютной. Во втором случае невозможно определить среднюю фактическую точность КМК, поэтому перерасчет точности следует применять обязательно, хотя это может привести к значительной переоценке и крайне неэффективному использованию КУТП.

В рамках исследования для каждой точности КМК с помощью генератора псевдослучайных чисел назначали фактическую точность маршрутов движения ТС в интервале $[P; 100]$, где P — минимальная расчетная точность КМК. Верхний предел обусловлен особенностью идентификации, так как выше уровня 100 % ТС невозможно идентифицировать. После этого КМК восстанавливалась (проводился перерасчет) до минимального уровня точности 90 %. Таким образом, были рассмотрены КМК, точность которых не превышала 90 %. Для более корректного сравнения результатов экспериментов было решено принять к рассмотрению КМК одинаковой средней точности для различных имитационных моделей.

Создание имитационных моделей с различными условиями дорожного движения

Чтобы имитационная модель без применения КУТП была сходна по характеристикам с базовой моделью, при корректировках КМК принимали во внимание следующую систему неравенств:

$$\begin{cases} \sum N_{оп}^{кмк} \leq N_{оп}^{общ}; \\ \sum N_{дор}^{маршр} \leq N_{дор}^{общ}. \end{cases}$$

где $\sum N_{оп}^{кмк}$ — суммарная интенсивность ТП, следующих по рассматриваемым маршрутам через ИБ, который установлен на ОП, с учетом перерасчета;
 $N_{оп}^{общ}$ — общая интенсивность всех ТП, проехавших через ИБ на ОП, согласно показаниям детекторов;
 $N_{дор}^{маршр}$ — суммарная интенсивность ТП на участке дороги с учетом перерасчета;
 $N_{дор}^{общ}$ — общая интенсивность всех ТП, проехавших через ИБ на участке дороги согласно показаниям детекторов.

Несоблюдение любого положения приведенной системы неравенств го-

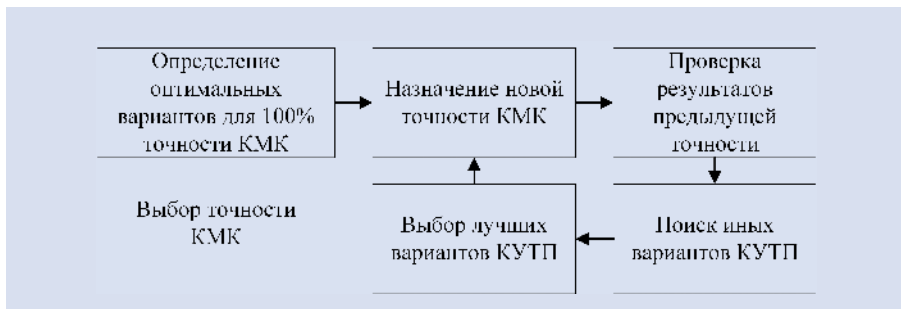


Рис. 4. Схема выбора точности КМК при недооценке ТП

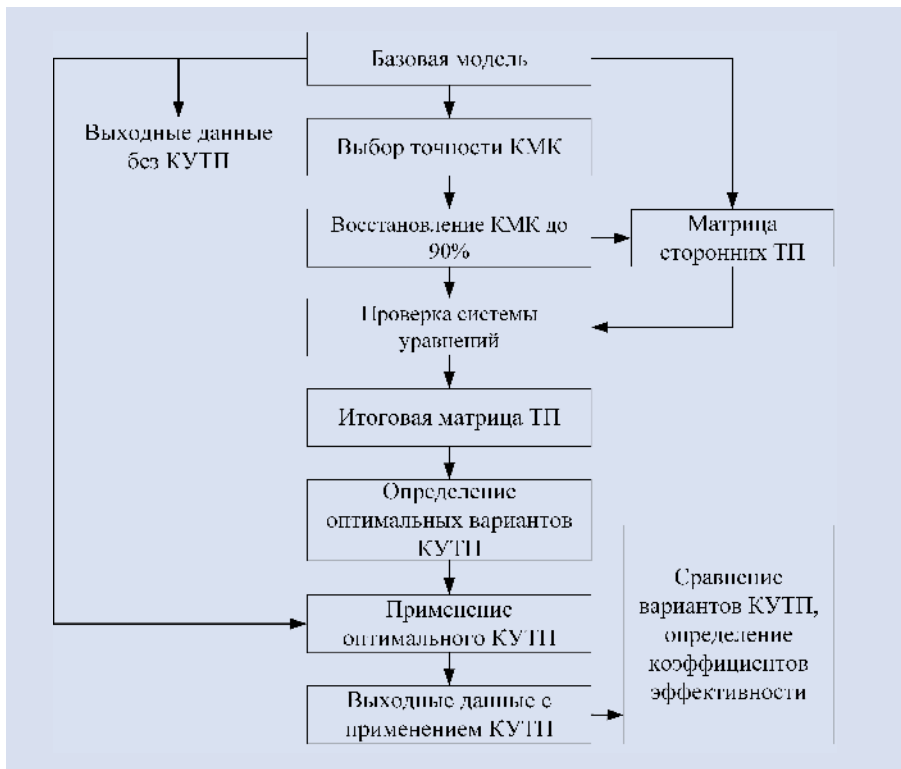


Рис. 5. Схема проведения эксперимента при переоценке ТП

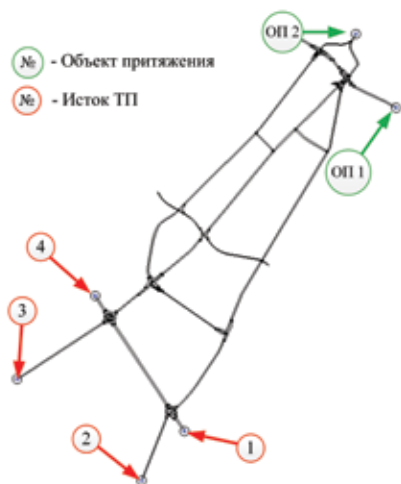


Рис. 6. Общий вид идеальной модели

ворит о превышении объема ТП, заданного в базовой модели. В таких случаях допускалось пренебрежение сторонними ТП (насколько это возможно), на которые действие КУТП не распространяется, чтобы получить модель, отражающую реальную дорожную обстановку с большей достоверностью. Допускалось пренебрегать только теми ТП, направление движения которых совпадает с маршрутами КМК на основных дорогах и которые напрямую влияют на рассматриваемые транспортные заторы. Стоит отметить, что применение такой меры допустимо только при условии неизменности фаз светофорных объектов. В противном случае возможно создание некорректного светофорного регулирования и, как следствие, более серьезных транспортных заторов.

Для расчета индикаторов эффективности КУТП в программах имитационного моделирования используются средние значения как для участка сети дорог в целом, так и для отдельных основных дорог. Чтобы получить более достоверные результаты, в эксперименте было решено применить три различные имитационные модели:

- 1) идеальную имитационную модель (наиболее благоприятную для расчета средних значений индикаторов эффективности);
- 2) имитационную модель № 1, основанную на идеальной модели и приближенную к реальным условиям (изменена топология УДС; добавлены ТП, не подверженные влиянию КУТП);
- 3) имитационную модель № 2, отличную от топологий предыдущих УДС и также приближенную к реальным условиям.

Каждая модель отвечает следующим

необходимым требованиям для внедрения системы перераспределения ТП [7]:

- 1) наличие альтернативных путей;
- 2) наличие транспортных заторов;
- 3) наличие доминантных ОП;
- 4) длина альтернативных маршрутов не превышает длину основных маршрутов более чем в два раза.

Кроме того, в первых двух моделях было решено отказаться от регулируемых перекрестков в пользу многоуровневых развязок, так как их применение никоим образом не отражается на сути исследования. Чтобы модель ТП стала более реалистичной, в ней были заданы следующие характеристики дорог и ТС:

- 1) максимально допустимая скорость на прямолинейных участках 60 км/ч;
- 2) максимальная допустимая скорость движения на съездах развязок 20 км/ч;
- 3) ширина полосы дорог 3 м;
- 4) длина ТС $4 \pm 0,5$ м;
- 5) ширина ТС 2 м;
- 6) максимальное ускорение 3 м/с²;
- 7) номинальное замедление 4 м/с²;
- 8) максимальное замедление 6 м/с²;
- 9) минимальная дистанция между автомобилями 1 м.

Идеальная модель

Особенность данной модели УДС заключается в создании следующих наиболее благоприятных условий для оценки эффективности КУТП (рис. 6):

- 1) отсутствие сторонних ТП, т. е. в модели все ТП движутся в направлении основных ТП и все доступны для перераспределения по УДС;
- 2) расчетная средняя скорость движения ТС по всем маршрутам 55 км/ч;
- 3) задан транзитный характер движения ТП, что позволило назначить основные и альтернативные маршруты движения со сходной протяженностью, что важно для получения более точных средних значений индикаторов эффективности (рис. 6).

Имитационная модель № 1

Для дальнейшего исследования была создана модель УДС, приближенная к реальным условиям. За основу была взята УДС идеальной модели, которая претерпела следующие изменения (рис. 7):

- 1) созданы дополнительные истоки ТП и ОП;
- 2) изменена геометрия дороги № 1, что позволило увеличить протяженность альтернативных маршрутов и оказать существенное влияние на результаты эксперимента;



Рис. 7. Общий вид имитационной модели № 1

3) изменена схема организации дорожного движения (ОДД); некоторые развязки претерпели изменения: исключена возможность съезда на дорогу № 2 с дороги № 1, добавлен новый съезд, который стал единственным съездом на альтернативные дороги с дороги № 2;

4) в соответствии с изменениями ОДД изменились альтернативные маршруты движения ТП;

5) были введены сторонние ТП, не подверженные влиянию КУТП; маршруты сторонних ТП пролегали по участкам дорог, где движутся основные ТП, что повысило чувствительность модели к перераспределению ТП.

Имитационная модель № 2

Данная модель УДС, как и предыдущие модели, удовлетворяет всем необходимым требованиям для КУТП. Ее отличают регулируемые перекрестки, транспортные заторы на основных дорогах перед перекрестками № 1 и № 2. Кроме того, модель имеет ряд существенных ограничений для реализации КУТП (рис. 8):

- 1) съезд на альтернативную дорогу единственный для всех маршрутов ТП;
- 2) большие различия основных маршрутов по протяженности;
- 3) значительное варьирование отношений протяженности альтернативных маршрутов к протяженности соответствующих основных маршрутов. Поскольку в рамках исследования рассматривается только КУТП, фазы светофорных объектов принимали как постоянную величину.

Таким образом, с помощью описанных в данной статье методик проведения экспериментов и имитационных

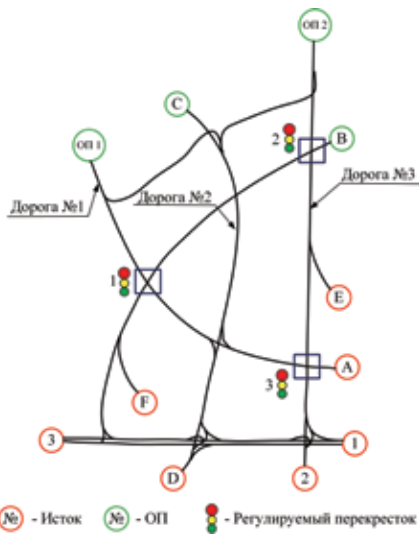


Рис. 8. Общий вид имитационной модели № 2

моделей удалось достаточно объемно продемонстрировать, как именно и при каких условиях точность КМК влияет на эффективность функционирования систем КУТП в разных условиях дорожного движения. Сравнение характеров поведения коэффициентов эффективности в различных моделях дает возможность

определить, как велико влияние сторонних факторов на эффективность КУТП и насколько универсален предложенный принцип корректировки точности КМК. Основные результаты исследования и общее заключение будут опубликованы в следующей статье.

Литература

1. Жанказиев С. В. Методологические принципы построения телематической системы косвенного управления транспортными потоками // Вестн. Моск. автомобильно-дорож. гос. техн. ун-та (МАДИ). 2010. № 3. С. 48–54.
2. Жанказиев С. В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01. М., 2012.
3. Морозов Д. Ю. Проектирование систем косвенного управления транспортными потоками на основе качественных матриц корреспонденции // Вестн. Моск. автомобильно-дорож. гос. техн. ун-та (МАДИ). 2012. № 4. С. 62а–65.
4. Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Морозов

Д. Ю. Исследование зависимости точности качественных матриц корреспонденции от точности оборудования и его размещения на дорожной сети // Транспорт РФ. 2015. Спецвыпуск. С. 44–47.

5. Воробьев А. И. Формирование методики оптимизации телематического комплекса технических средств интеллектуальной системы маршрутного ориентирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. М., 2010.
6. Морозов Д. Ю., Халилев Р. Ф. Проектирование интеллектуальных транспортных систем // Наукоедение. 2014. № 4 (23). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/51TVN414.pdf>.
7. Жанказиев С. В. Обоснование определения зоны оптимальной установки для интеллектуальной транспортной системы // Вестн. Моск. автомобильно-дорож. гос. техн. ун-та (МАДИ). 2010. № 2. С. 100–106.
8. Жанказиев С. В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2016. 104 с.
9. Жанказиев С. В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 120 с.

Противотаранное заградительное устройство



А. В. Швецов,
аспирант ФГБОУ ВО
«Дальневосточный
государственный
университет путей
связи»

Предложено техническое решение по защите метрополитена от несанкционированного вмешательства и воздействий. Устройство дает возможность блокировать несанкционированный проезд транспортных средств на территорию, прилегающую к станциям метрополитена.

Чтобы создать систему обеспечения транспортной безопасности, необходим комплексный научный подход, в частности, анализ адекватности применяемых средств и методов существующему уровню угроз. Транспортная безопасность – это состояние защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства [1]. Акт незаконного вмешательства – противоправное действие (бездействие), в том числе террористический акт, угрожающее безопасной деятельности транспортного комплекса и повлекшее за собой причинение вреда жизни и здоровью людей, материальный ущерб либо

создавшее угрозу наступления таких последствий [1].

Автором выявлено, что за 1996–2010 гг. наибольшее количество (8) террористических актов было совершено в Московском метрополитене [2]. Все акты были реализованы с использованием взрывных устройств (ВУ). Это доказывает, что сейчас основные угрозы для метрополитена связаны с доставкой для метрополитена связаны с доставкой и подрывом ВУ.

Способы доставки ВУ в метрополитен можно классифицировать следующим образом:

1) под одеждой – ВУ доставляет нарушитель, передвигающийся пешком, размещено под одеждой;

2) в багаже – ВУ доставляет нарушитель, передвигающийся пешком, размещено в багаже;

3) с использованием транспортного средства (ТС) – ВУ доставляет нарушитель, передвигающийся на ТС, размещено на его борту.

Способы доставки ВУ с позиции возможного веса доставляемого взрывного устройства ранжируют следующим образом:

1) доставку под одеждой и в багаже относят ко второму уровню опасности вследствие ограничения массы ВУ, которая не может превышать 20–30 кг;

2) доставку с использованием ТС относят к первому (высшему) уровню