

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ

Кандидат техн. наук Семенов Ю.Н.,  
кандидат техн. наук Семенова О.С.

(Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева)

## ASSESSMENT OF THE QUALITY OF TRANSPORT FACILITIES OPERATION AND MANAGEMENT USING A DIGITAL MODEL

Yu.N. Semenov, Ph.D. (Tech.),  
O.S. Semenova, Ph.D. (Tech.)

(Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev)

**Аннотация.** Исследуются факторы, оказывающие влияние на качество функционирования транспортного объекта. Для этого построена цифровая модель транспортного объекта – Кемеровского автовокзала. Проведены имитационные эксперименты с цифровой моделью, в результате которых оценена степень использования площадей первого этажа здания, влияние количества работающих касс на длину очереди и время, проведенное в ожидании обслуживания. Даны рекомендации по улучшению качества обслуживания пассажиров в здании транспортного объекта.

**Abstract.** The research studies the factors affecting the quality of a transport facility functioning. For this purpose, a digital model of the transport facility – the Kemerovo Bus Station – was developed. Simulation experiments using a digital model enabled estimating how effective the use of the ground floor areas is and how the number of operating ticket offices influences the length of the queue and the time spent waiting for service. Based on the experiments, it is possible to improve the quality of passenger service in the transport facility.

**Ключевые слова:** комфортная городская среда, цифровая модель автовокзала, обслуживание пассажиров, пассажиропоток, моделирование перемещения пассажиров.

**Keywords:** Comfortable urban environment, bus station digital model, passenger service, passenger flow, simulation of passenger movement.

### Введение

Рыночные отношения наложили определенные условия на функционирование пассажирских автомобильных перевозок, которые проявляются в повышении конкуренции на транспортном рынке, что приводит к необходимости повышения уровня качества транспортного обслуживания [1, 2]. К основным критериям качества обслуживания пассажиров относят надежность и своевременность поездки, уровень обслуживания на автовокзалах и автостанциях [3].

Процесс перевозки пассажиров можно представить в виде сложной системы, которая включает в себя ряд подсистем: формирование пассажиропотоков, передвижение пассажиров внутри транспортного объекта, посадка и высадка пассажиров на перроне, продажа билетов, подача транспортных средств на территорию объекта транспортной инфраструктуры [4]. Для того чтобы сформировать комфортную городскую среду необходимо провести модернизацию и оптимизацию всех перечисленных подсистем.

Автовокзалы и автостанции являются местом отправления и прибытия пассажиров. Формирование комфортных условий для пассажиров возможно за счет реконструкции, реорганизации и оптимизации таких элементов транспортного объекта, как здание автовокзала, перроны, площадки обслуживания подвижного состава и близлежащие остановочные пункты городского транспорта.

Согласно [5] на территории автовокзала должны размещаться такие объекты как касса продажи билетов (площадь не менее 4,5 м) и/или автоматическое устройство, предназначенное для самостоятельной покупки билетов пассажирами; камера хранения вещей; зал ожидания; комната матери и ребенка; туалетные комнаты; пункт оказания первой помощи; столовая; оборудованная местами для сидения комната отдыха водителей.

Предоставление качественных услуг на всех этапах, связанных с перевозкой пассажиров, перед и после продажным обслуживанием, является основной задачей автовокзалов/автостанций. Оценить вносимые в обслуживание пассажиров изменения можно заранее до их внесения в реальную систему с помощью имитационного моделирования [6].

### Построение цифровой модели

Цифровые модели и двойники широко используются для воссоздания образа реально существующей системы либо для создания принципиально новой. Цифровые двойники позволяют оперировать большими данными, которые они собирают, обрабатывают и используют для принятия управленческих решений, связанных с функционированием объекта [7-13]. Цифровые модели позволяют имитировать любые изменения внутри системы или объекта, за счет чего можно просчитать последствия планировочных, организационных и управленческих решений [14-15].

Цифровые модели в транспортной отрасли удобно использовать для анализа изменений в транспортных и пешеходных потоках, оценки функциональности транспортной инфраструктуры и анализа качества обслуживания пассажиров.

Построим цифровую модель обслуживания пассажиров внутри транспортного объекта на примере Кеме-

ровского автовокзала. Выделим основные этапы построения модели в среде AnyLogic.

1 этап. Сбор информации о транспортном объекте: планировка, дислокация мест обслуживания пассажиров, входов/выходов в здание и на перрон, зон отдыха (рис.1).

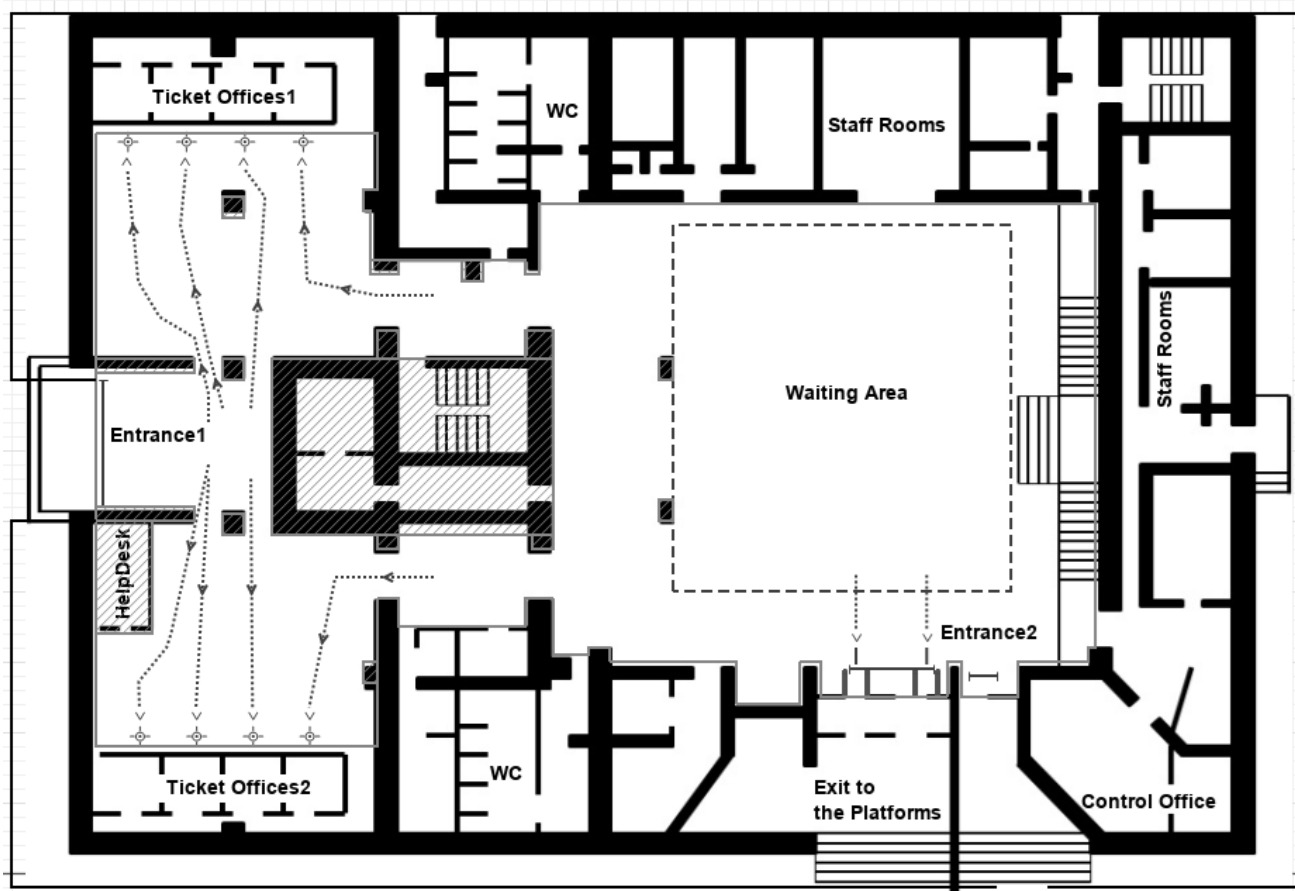


Рис.1. Планировка транспортного объекта

Выбранный для исследования транспортный объект имеет главный вход/выход Entrance1 и дополнительный вход/выход Entrance2. Через вход Entrance1 в здание поступает 80-85% пассажиров, остальные 15-20% – через вход Entrance2.

2 этап. Сбор информации о пассажирах: состав пассажиропотока (возраст, пол, категория), поведение внутри транспортного объекта, интенсивность прибытия в здание автовокзала.

3 этап. Задание фигур разметки пространства в среде моделирования.

4 этап. Построение потоковой диаграммы, отражающей логику перемещения пассажиров внутри ограниченного пространства. Всех пассажиров в зависимости от их поведения условно можно разделить на несколько типов:

- Passenger1 – посетители покупают билет заранее, после покупки покидают здание автовокзала;
- Passenger2 – посетители имеют билет, купленный заранее (онлайн/офлайн), в здании автовокзала перемещаются либо в зал ожидания, либо на перрон в зависимости от времени, оставшегося до отправления рейса;
- Passenger3 – пассажиры покупают билет в кассах ticketOffices1 или ticketOffices2, в здании автовокзала

перемещаются либо в зал ожидания, либо на перрон в зависимости от времени, оставшегося до отправления рейса.

5 этап. Проведение имитационных экспериментов с построенной дискретно-событийной моделью при различных начальных параметрах системы.

6 этап. Проведение оптимизационных экспериментов, направленных на выявление путей повышения качества функционирования рассматриваемого объекта.

Для реализации вышеописанной логики используются следующие блоки библиотеки моделирования процессов AnyLogic (рис. 2):

- passSource – генерирует пешеходов пользовательского типа Passenger1, Passenger2 или Passenger3;
- selectEnter – блок выбора входа в здание автовокзала;
- pedEnter/pedEnter1 – блок перемещения пешеходов к нужному входу;
- pedSelectOutput – блок, задающий выбор цели перемещения (на перрон, в зал ожидания, к кассам, на выход из здания);
- pedWait – блок, имитирующий ожидание пассажиров в зоне ожидания Waiting Area.

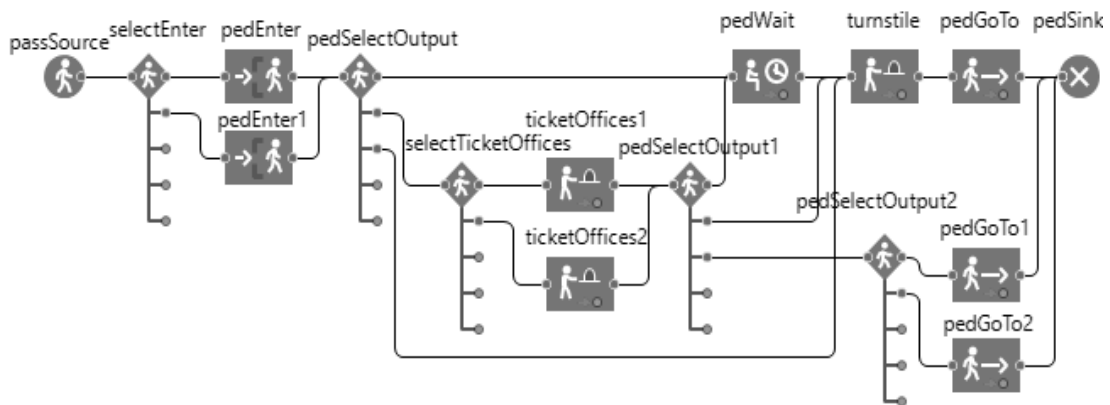


Рис. 2. Поточковая диаграмма

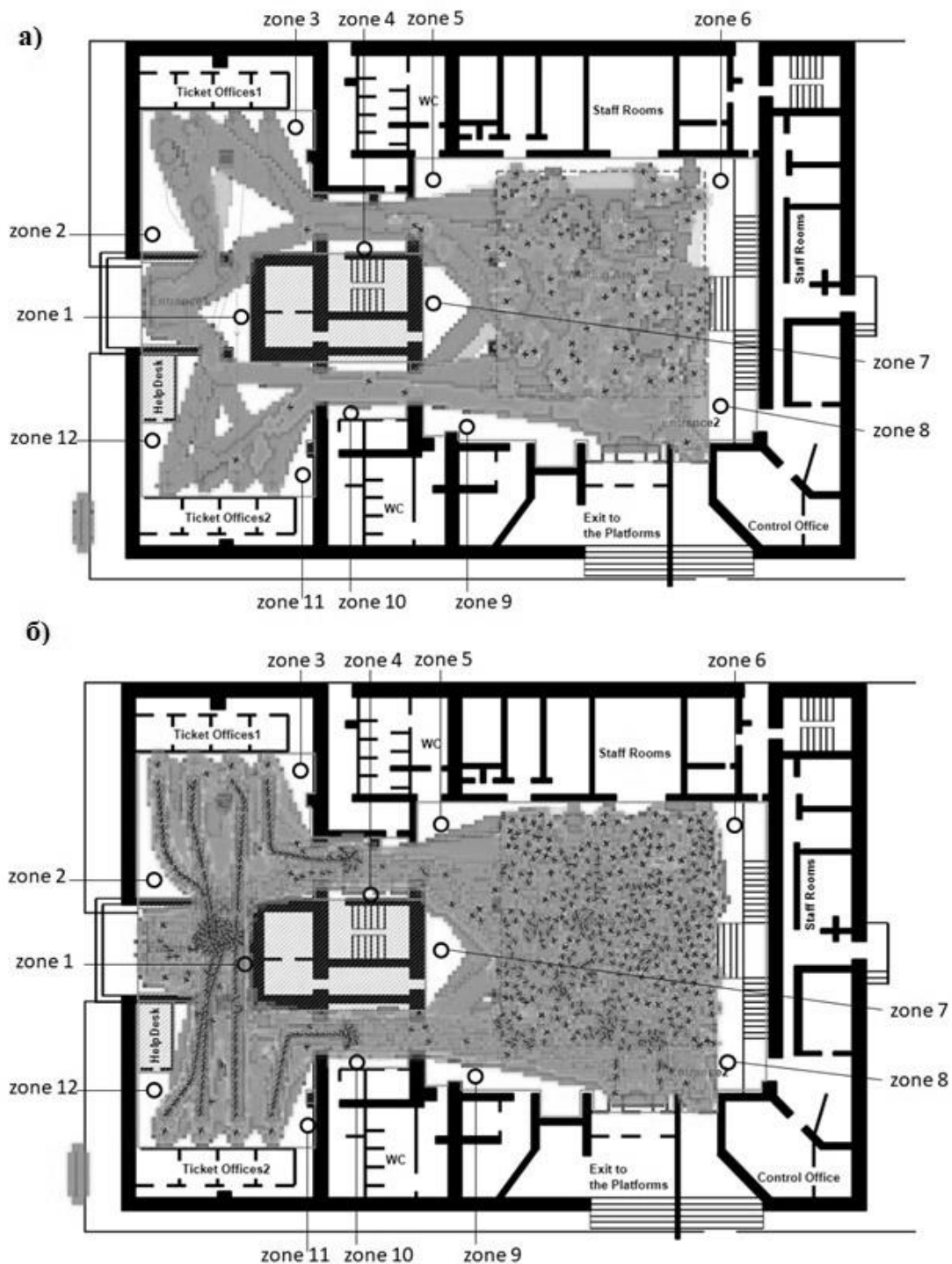


Рис.3. Карта плотности пешеходов: а) интенсивность пассажиропотока 350-400 чел/ч., б) интенсивность пассажиропотока 3500-4000 чел/ч.

Пассажиры, перемещающиеся на перрон, проходят через турникеты (среднее время обслуживания 2-5 с), которые имитируются с помощью блока turnstile. Пассажиры, направляющиеся к кассам автовокзала, обслуживаются в блоках ticketOffices1/ticketOffices2, выбираемых случайным образом с вероятностью 0,5. После покупки билета пассажиры следуют либо на выход из здания (блок pedSelectOutput2), который позволяет выбрать Entrance1 или Entrance2), либо в зону ожидания (блок pedWait), либо на перрон (блок turnstile).

### Имитационный эксперимент

Имитационный эксперимент позволяет оценить степень использования площадей здания (рис. 3) при различной интенсивности поступления пассажиров в здание автовокзала.

Можно выделить ряд зон с высокой плотностью пассажиров на квадратный метр (0,75-1,5 чел./кв.м), средней (0,25-0,75 чел./кв.м) и низкой плотностью (зоны 1-12). Часть зон с низкой плотностью пассажиров используется для размещения информационных табло (6, 8, 12 зоны), в качестве мест дислокации банкоматов (зоны 4, 10), пунктов мелкорозничной торговли (7, 9 зоны), входов в туалетные комнаты (4, 10 зоны).

В зависимости от интенсивности пассажиропотока размеры зон с низкой плотностью пассажиров меняются. Так, при увеличении количества поступающих в здание автовокзала пассажиров с 350-400 чел./ч. до 3500-4000 чел./ч. зона 1 практически исчезла, размеры остальных зон сократились на 20-40%.

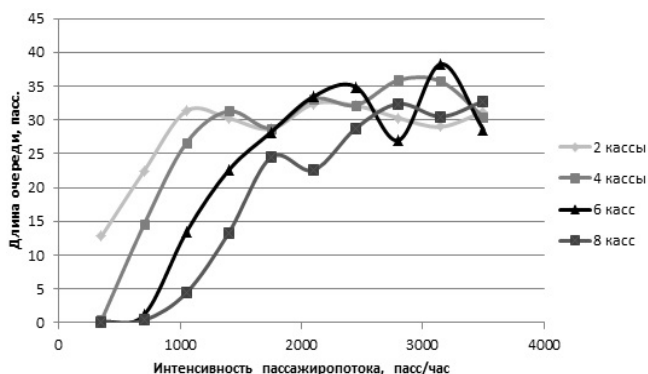


Рис. 4. Средняя длина очереди при различной интенсивности пассажиропотока

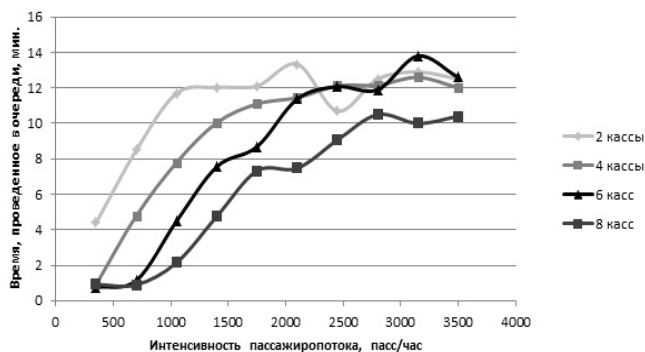


Рис. 5. Среднее время, проведенное пассажирами в очереди при различной интенсивности пассажиропотока

С помощью имитационного эксперимента также можно оценить среднюю длину очереди к обслуживающим сервисам (рис. 4) и среднее время, проведенное в очереди (рис. 5). При этом учитываются такие

параметры системы, как среднее время обслуживания, интенсивность поступления пассажиров в здание автовокзала; количество касс; доля пассажиров, покупающих билеты офлайн.

При моделировании были использованы следующие значения параметров системы: минимальное время обслуживания – 15 с, максимальное – 2 мин., наиболее часто встречающееся значение – 40 с. Доля пассажиров, которые покупают билеты на автобус в сети Интернет (зависит от возрастного состава пассажиропотока, типа маршрута, дня недели) принята равной 40%.

Исследование показало, что при увеличении доли пассажиров, покупающих билеты онлайн, пропорционально уменьшается длина очереди и время ожидания обслуживания. Так, снижение доли пассажиров, покупающих билеты офлайн с 60% до 30%, приведет к уменьшению длины очереди к обслуживающим сервисам и снижению времени ожидания обслуживания примерно в 2 раза.

### Выводы

Таким образом, цифровая модель позволяет оценить степень использования помещения автовокзала пассажирами и уровень комфортабельности их обслуживания.

Для повышения комфортности пассажиров можно предложить ряд мер по реорганизации пространства: расширение узких мест, перенос баннеров и информационных табло в места с низкой плотностью пешеходных потоков, перенаправление пешеходных потоков в «свободные» зоны, увеличение коэффициента использования площадей второго этажа.

Для уменьшения длины очереди и снижения времени, проведенного в ожидании обслуживания, можно предложить увеличивать количество работающих касс при увеличении интенсивности пассажиропотока. Однако наиболее перспективным является увеличение доли пассажиров, покупающих билет онлайн. Это позволит снизить затраты автовокзалов и повысить доступность и комфортабельность покупки билетов пассажирами.

### Литература

1. Загорский И. О., Володькин П. П. Методика управления качеством пассажирских автомобильных перевозок на рынке автотранспортных услуг //Власть и управление на Востоке России. – 2009. – № 3.
2. Закиуллина Е. А. Конкуренция на рынке услуг пассажирского автомобильного транспорта //Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2006. – № 18. – С. 8-8.
3. Кулев М. В. и др. Оценка качества перевозок городским пассажирским транспортом //Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 1 (64). – С. 65.
4. Турпищева М.С., Нурғалиев Е.Р., Джахъяева С.Б. Исследование процессов перевозки пассажиров автомобильным транспортом //Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2017. – № 1 (63).
5. Приказ № 406 Министерства транспорта Российской Федерации «Об утверждении минимальных требований к оборудованию автовокзалов и автостанций» от 2 октября 2020 г. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/000120201200069> (дата обращения 19.01.22).

6. Антонова Н.Н., Пак В.А. Проектирование современных автовокзальных комплексов // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – Тихоокеанский государственный университет, 2021. – Т. 2. – С. 10-16.
7. Kudryavtseva V.A., & Vasileva N.V. (2021, April). Digitalization as the basis for the construction industry development. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 751, No. 1, p. 012100). IOP Publishing.
8. Kaufmann D., Ruaux X., & Jacob, M. (2018). Digitalization of the Construction Industry: The Revolution is Underway. Oliver Wyman.
9. Agarwal R., Chandrasekaran S., & Sridhar M. (2016). Imagining construction's digital future. McKinsey & Company.
10. Berger R. (2016) Digitization in the construction industry (Germany: Civil Economics, Energy and Infrastructure Competence Center) pp 1-156
11. Boschert S., & Rosen R. (2016). Digital twin – the simulation aspect. In Mechatronic futures (pp. 59-74). Springer, Cham.
12. Uhlemann T. H. J., Lehmann C., & Steinhilper R. (2017). The digital twin: Realizing the cyber-physical production system for industry 4.0. *Procedia Cirp*, 61, 335-340.
13. Uhlemann T. H. J., Schock C., Lehmann C., Freiberger S., & Steinhilper R. (2017). The digital twin: demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems. *Procedia Manufacturing*, 9, 113-120.
14. Berman S. J., & Bell R. (2011). Digital transformation: Creating new business models where digital meets physical. *IBM Institute for Business Value*, 1-17.
15. Liu S., Lo S., Ma J., & Wang W. (2014). An agent-based microscopic pedestrian flow simulation model for pedestrian traffic problems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(3), 992-1001.

#### Сведения об авторах:

**Семенов Юрий Николаевич** – доцент кафедры автомобильных перевозок.

Телефон: 89069260689,

E-mail: semenov63@mail.ru.

**Семенова Ольга Сергеевна** – доцент кафедры автомобильных перевозок, доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем.

Телефон: 89069263728,

E-mail: sos.ap@kuzstu.ru.

Адрес: г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева.