

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Poltavskaya Y.O.

DETERMINATION INDICATORS ASSESSING EFFICIENCY OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Аннотация. Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) играют фундаментальную роль в уменьшении заторов, количества дорожно-транспортных происшествий и повышении безопасности дорожного движения. Надлежащая оценка эффективности данных систем является актуальной задачей в рамках повышения производительности всей транспортной сети, а разработка комплекса показателей позволит осуществлять принятие управленческих решений по планированию развития интеллектуальных транспортных систем. Для проверки гипотез о возможности применения показателей оценки эффективности ИТС был использован одновыборочный t-критерий, в ходе анализа было установлено, что предложенные показатели «экологичность и безопасность», «организация и управление дорожным движением», «конкурентоспособность общественного транспорта» пригодны для оценки интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, безопасность дорожного движения, экологичность, надежность функционирования транспортной сети, конкурентоспособность общественного транспорта.

Abstract. Intelligent Transportation Systems (ITS) play a fundamental role in reducing congestion, reducing traffic accidents and improving road safety. Proper evaluation of the effectiveness of these systems is an urgent task in terms of improving the performance of the entire transport network, and the development of a set of evaluation indicators will make it possible to make managerial decisions on planning the development of intelligent transport systems. To test the hypotheses about the possibility of using indicators to assess the effectiveness of ITS, a one-sample t-test was used, during the analysis it was found that the proposed indicators «environmental friendliness and safety», «reliability of the transport network», «competitiveness of public transport» are suitable for assessing intelligent transport systems.

Keywords: intelligent transport systems, road safety, environmental friendliness, safety, reliability of the transport network, competitiveness of public transport.

Современные достижения в области коммуникационных технологий и телематики, обуславливают актуальность применения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в качестве инструмента интегрированного взаимодействия различных элементов улично-дорожной сети. Комплекс технологий, оборудования и функциональные устройства, входящие в состав ИТС, позволяют повысить производительность транспортных систем за счет использования электронного обмена данными в режиме реального времени, а также управлять транспортным потоком с учетом скоростного режима и временных ограничений на поездку [1]. Таким образом, становится возможным повышение пропускной способности УДС без увеличения количества полос движения. Использование

интеллектуальных транспортных систем позволяет муниципальным органам, транспортным предприятиям и участникам транспортного процесса использовать новые технологии для повышения безопасности, надежности, комфорта поездок, а также для снижения заторов на дорогах, расхода топлива и отрицательного воздействия на окружающую среду [2-4].

В последние годы наблюдается активное внедрение ИТС во многих странах мира на разных технологических уровнях – системы используются в городах и на дорогах федерального значения, автострадах. Важным моментом функционирования ИТС является оценка эффективности систем, которая должна осуществляться на основе определенных показателей [5-7].

В исследовании автора [8] определены показатели для практической оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем. Набор показателей разделен на шесть категорий: транспортная инфраструктура, служба информирования о дорожном движении, оценка эффективности дорожного движения, безопасность дорожного движения, энергопотребление, загрязнение окружающей среды и социальная значимость. В ходе расчета индекса эффективности, автор пришел к выводу, что предложенные им показатели подходят для оценки эффективности транспортных систем «умных городов». В работе авторов [9] предложена прагматическая основа для оценки эффективности проектов ИТС с социальной точки зрения, и установлено, что они позволяют сократить расходы на поездки (временные, стоимостные, топливные), а также увеличить пропускную способность дорог, что, приведет к экономическому развитию города. В исследовании, проведенном авторами [10], для оценки данных о дорожном движении в интеллектуальных транспортных системах использовался метод обнаружения аномалий. Этот метод основан на многоканальном сингулярном спектральном анализе, предназначенном для определения пространственно-временных свойств транспортной сети. Основываясь на опросе водителей о приложениях контроля скорости и ИТС, в работе авторов [11] отмечается, что восприятие со стороны участников дорожного движения положительное, а повсеместное использование предоставит актуальную информацию о дорожной ситуации, а также повысит безопасность на улично-дорожной сети.

Целью данной работы является определение показателей для оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем. Оценка эффективности ИТС на основе установленных показателей приведет к повышению технологического уровня, а также удовлетворенности пользователей транспортной сети, поскольку, именно этап оценки является первостепенным шагом на пути к функционированию и реализации корректирующих действий в работе систем.

ИТС разрабатывались с начала 1970-х годов [12], и происходят от термина «интеллектуальные системы автомобильных дорог», представленного Мичиганским научно-исследовательским институтом транспорта (1988 г.) для определения использования компьютеров, технологий связи и автоматизации для

повышения безопасности дорожного движения. ИТС включает в себя два компонента:

- информационная система для участников дорожного движения – системы информирования и связи, динамические дорожные указатели и табло, которые информируют водителей о плохих погодных условиях, загруженности на дороге; терминалы, которые собирают и оперативно передают на интерактивные экраны информацию о движении общественного транспорта для пассажиров;

- система мониторинга дорожного движения обеспечивает фото- видеofиксацию нарушений, соблюдение весового контроля, а также позволяет повысить эффективность функционирования городского транспорта, провести оперативную эвакуацию пострадавших при ДТП, перепрограммировать длительность цикла светофорного объекта с учетом загрузки участков УДС [13].

В современной литературе существует несколько определений интеллектуальных транспортных систем. Согласно определению, ИТС можно определить как «применение вычислительных, информационных и коммуникационных технологий для управления в реальном времени транспортными средствами и улично-дорожными сетями для перемещения пассажиров и грузов» [10]. Кроме того, интеллектуальные транспортные системы – это общий термин для совместного использования коммуникационных технологий, систем управления и обработки информации для транспортных систем. Как правило, термин применяется для обозначения «интеграции технологий управления, информации и связи с транспортной инфраструктурой». Когда эти системы интегрированы в инфраструктуру транспортной системы, а также в транспортные средства, они уменьшают заторы, повышают безопасность дорожного движения и производительность транспортной сети. Применение таких систем приводит к минимизации временных, стоимостных затрат, к сохранению человеческих жизней и снижению негативных влияний на экологию городской среды. ИТС включают все виды транспорта и охватывают динамическое взаимодействие всех элементов улично-дорожной сети. Широкий спектр областей применения на различных видах транспорта – это основное преимущество интеллектуальных транспортных систем. Можно выделить следующие области применения ИТС: управление, мониторинг, оптимизация транспортного потока, автономное вождение транспортных средств, определение механизма взаимодействия участников дорожного движения, а также предупреждение и анализ дорожно-транспортных происшествий [12].

Ввиду наличия специфических характеристик ИТС, таких как автоматизация вычислений, гибкость, предоставление точной, достоверной и актуальной информации, применение асинхронных алгоритмов контроля, координации и управления ресурсами, можно отметить, что интеллектуальные транспортные

системы являются актуальным объектом исследований в области транспортно-го планирования.

Информация является основой ИТС, которая может быть представлена в следующих формах: фиксированные данные; данные, поступаемые в режиме реального времени о дорожном движении; цифровая карта. Большинство инструментов ИТС основаны на сборе, обработке, объединении и анализе информации. Данные, собранные при помощи ИТС, могут предоставить актуальную информацию о текущем состоянии дорожной сети для планирования поездки и маршрута. Кроме того, набор данных обеспечивает качественную и достоверную информацию для лиц, принимающих решения в области управления дорожным движением, предприятий, оказывающих услуги по грузовым и пассажирским перевозкам, а также для самих участников дорожного движения [1, 11, 13]. В таблице 1 приведена характеристика основных показателей оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем.

Таблица 1

Структура показателей оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем

Название показателя	Индикаторы оценки
Экологичность и безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – диагностика и прогноз загрязнения атмосферного воздуха; – прогнозирование погодных условий; – предупреждение о превышении безопасной скорости; – предоставление информации о выборе безопасной скорости на участке улично-дорожной сети; – информирование об изменении геометрии пути (спуск, подъем, уклон); – уведомление о чрезвычайных ситуациях на транспорте и персональная безопасность; – контроль и мониторинг подозрительных транспортных средств.
Организация и управление дорожным движением	<ul style="list-style-type: none"> – информирование о запрете проезда в связи с техническим обслуживанием или реконструкцией улично-дорожной сети и предоставление альтернативного пути следования по маршруту; – регулирование спроса на услуги транспортной системы; – адаптивное управление режимами работы сигналов регулирования движения; – фиксация нарушений правил дорожного движения.
Конкурентоспособность общественного транспорта	<ul style="list-style-type: none"> – информирование о транспортных заторах и предложение альтернативных маршрутов общественного транспорта; – информирование о времени отправления общественного транспорта; – внедрение электронных устройств оплаты на транспорте.

На основе показателей для оценки эффективности ИТС были выдвинуты следующие гипотезы о предлагаемых индикаторах, которые являются подходящими для оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем:

H1: показатель «экологичность и безопасность».

H2: показатель «организация и управление дорожным движением».

НЗ: показатель «конкурентоспособность общественного транспорта».

Исследование основано на анкетировании: анкета разработана в соответствии с концептуальной моделью выбранных показателей, каждый из которых оценивался по пятибалльной шкале Лайкерта от 1 до 5, где 1 означает «полностью не согласен», а 5 — «полностью согласен». Надежность полученных результатов была оценена с использованием альфа Кронбаха, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка достоверности проведенного исследования

Название показателя	Количество вопросов	Значение коэффициента α Кронбаха
Экологичность и безопасность	7	0,834
Организация и управление дорожным движением	4	0,778
Конкурентоспособность общественного транспорта	2	0,703

Для проверки гипотезы о нормальности распределения полученных данных был использован статистический критерий Колмогорова-Смирнова, установлено, что все три исследуемых показателя имеют нормальное распределение. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Оценка полученных результатов по критерию Колмогорова – Смирнова

Основные значения	Экологичность и безопасность	Организация и управление дорожным движением	Конкурентоспособность общественного транспорта
k-s статистика	1,23	1,27	1,34
значимость	0,097	0,078	0,051
вид распределения	нормальное	нормальное	нормальное

В данном исследовании использовалась вероятностная выборка (простая случайная выборка): общее количество опрошенных составило 99 человек: 24 женщины и 75 мужчин, средний возраст опрошенных – 36 лет, 63 % и 37 % имеют высшее и среднее специальное образование соответственно.

Для проверки гипотез исследования предлагается использовать одновыборочный t -критерий:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{S / \sqrt{n}}, \quad (1)$$

где \bar{x} – среднее значение по выборке; μ – математическое ожидание; S – стандартное отклонение выборки; n – количество элементов в выборке.

Расчеты проводились с использованием программного продукта Microsoft Excel, надстройка «Анализ данных». Результаты проверки основных гипотез представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты проверки гипотез исследования

Индикатор	$t_{\text{расч.}}$	$t_{\text{крит.}}$	p - значение	Доверительный интервал 95 %	
				нижняя граница	верхняя граница
Экологичность и безопасность					
Диагностика и прогноз загрязнения атмосферного воздуха	2,19	$t_{95; 99} = 1,98$	0,0309	0,4512	9,1631
Прогнозирование погодных условий	2,29		0,0241	0,5842	8,1350
Предупреждение о превышении безопасной скорости	3,67		0,0004	3,1776	10,6778
Предоставление информации о выборе безопасной скорости на участке УДС	-0,39		0,7060	-4,6569	3,1667
Информирование об изменении геометрии пути	1,07		0,2680	-0,1237	0,3914
Уведомление о чрезвычайных ситуациях на транспорте и персональная безопасность	-3,54		0,0007	-10,9488	-3,0670
Контроль и мониторинг подозрительных транспортных средств	-2,06		0,0429	-7,7855	-0,1295
Организация и управление дорожным движением					
Информирование о запрете проезда в связи с техническим обслуживанием или реконструкцией улично-дорожной сети и предоставление альтернативного пути следования по маршруту	3,46	$t_{95; 99} = 1,98$	0,0012	0,1532	5,5638
Регулирование спроса на услуги транспортной системы	2,05		0,0429	0,1259	8,5012
Адаптивное управление режимами работы сигналов регулирования движения	2,72		0,0071	1,9695	8,1236
Фиксация нарушений правил дорожного движения	1,99		0,0443	-0,0780	8,1159

Расчетные значения t -критерия для индикаторов «предоставление информации о выборе безопасной скорости на участке УДС», «информирование об изменении геометрии пути» меньше табличного (критического) значения, это свидетельствует о том, что, они не имеют значимости и рационально их исключить из системы показателей для оценки эффективности ИТС. В остальных случаях расчетные значения t -критерия по модулю значительно больше табличных,

следовательно, показатели являются значимыми. Вероятность того, что t значение больше или равно абсолютной величине, значительно меньше 0,05, также во всех оставшихся вариантах, что означает необходимость принятия гипотез, выдвинутых ранее.

Окончание таблицы 4

Конкурентоспособность общественного транспорта					
Информирование о транспортных заторах и предложение альтернативных маршрутов общественного транспорта	2,33	$t_{95; 99} = 1,98$	0,0218	0,7366	9,4619
Информирование о времени отправления общественного транспорта	2,25		0,0264	0,5761	9,2180
Внедрение электронных устройств оплаты на транспорте	-4,12		0,0001	-12,9202	-4,5107

Расчетные значения t -критерия для индикаторов «предоставление информации о выборе безопасной скорости на участке УДС», «информирование об изменении геометрии пути» меньше табличного (критического) значения, это свидетельствует о том, что, они не имеют значимости и рационально их исключить из системы показателей для оценки эффективности ИТС. В остальных случаях расчетные значения t -критерия по модулю значительно больше табличных, следовательно, показатели являются значимыми. Вероятность того, что t значение больше или равно абсолютной величине, значительно меньше 0,05, также во всех оставшихся вариантах, что означает необходимость принятия гипотез, выдвинутых ранее.

Таким образом, все индикаторы, относящиеся к основным показателям, за исключением индикатора «информирование об изменении геометрии пути» пригодны и надежны для оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем, и за счет улучшения каждого из них ожидается повышение производительности транспортных систем городов, поскольку одним из факторов, препятствующих развитию, является отсутствие точной оценки текущего состояния систем [2, 5, 6].

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № МК-3495.2022.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Полтавская, Ю. О. Оценка условий движения транспортных потоков с применением геоинформационных технологий / Ю. О. Полтавская, М. Н. Крипак, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 1 (49). С. 155-161.

2. **Лебедева, О. А.** Повышение эффективности работы транспортной сети посредством применения интеллектуальных систем / О. А. Лебедева // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2018. № 12. С. 189-191.
3. **Ложкина, О. В.** К вопросу о развитии интеллектуальных систем управления экологической безопасностью транспорта в больших городах-портах / О. В. Ложкина, Г. Г. Рогозинский, М. Н. Крипак // В сборнике: Технологии построения когнитивных транспортных систем. Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 153-157.
4. **Антонов, Д. В.** Основные принципы развития транспортных систем городов / Д. В. Антонов, О. А. Лебедева // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149-155.
5. **Колесник, М. Н.** Принципы создания информационно-планирующей и управляющей системы перевозками на автомобильном транспорте / М. Н. Колесник, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. № 3 (15). С. 46-52.
6. **Михайлов, А. Ю.** Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей / А. Ю. Михайлов // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2004. № 2. С. 50-53.
7. **Горбунов, Р. Н.** Уровень обслуживания как показатель надёжности улично-дорожной сети / Р. Н. Горбунов, З. В. Горбунова, А. Ю. Михайлов // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 4(77). С. 194.
8. **Qi, L.** Research on Intelligent Transportation System Technologies and Applications / L. Qi // Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System, 2008, pp. 529-531.
9. **Лебедева, О. А.** Транспортное планирование и интеграция ГИС-технологий / О. А. Лебедева, А. А. Джавахадзе // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2021. № 15. С. 145-149.
10. **Zhankaziev, S.** Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Feasibility Study for Intelligent Transportation Systems / S. Zhankaziev, M. Gavriyuk, D. Morozov, A. Zabudsky // Transportation Research Procedia, vol. 36, 2018, pp. 841-847.
11. **Полтавская, Ю.О.** Развитие интеллектуальных транспортных систем с целью повышения функционирования транспортной сети / Ю. О. Полтавская // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. С. 202-203.
12. **Samadi, S.** Performance Evaluation of Intelligent Adaptive Traffic Control Systems: A Case Study / S. Samadi, A. P. Rad, F. M. Kazemi, H. Jafarian // Journal of Transportation Technologies, vol. 2, 2012, pp. 248-259.
13. **Taimouri, A.** Providing Performance Evaluation Indicators for Intelligent Transportation Systems (The Case Study of Tehran-Karaj Freeway Located in Iran) / A. Taimouri, K. Emamisaheh // Journal of Transportation Technologies, Vol.10 No.2, 2020.