

Гантимурова Юлия Олеговна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Ермолина Владислава Сергеевна,
обучающаяся группы ТТП-20-1, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: vladislava.ermolina@bk.ru

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО СБОРА ПЛАТЫ ЗА ПРОЕЗД КАК ПОДСИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Gantimurova J.O., Ermolina V.S.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE INTRODUCTION OF ELECTRONIC FARE COLLECTION AS A SUBSYSTEM OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM

Аннотация. В статье обоснована актуальность внедрения электронного сбора платы за проезд с целью повышения качества функционирования региональных транспортных систем. Качество обслуживания участников дорожного движения влияет как на социальную, так и на экономическую эффективность — позволяет сократить временные затраты на движение, обеспечить доставку «точно в срок». На основе целевых и функциональных показателей эффективности интеллектуальных транспортных систем предложен вариант технико-экономической оценки внедрения электронного сбора платы за проезд с учетом соотношения прибыли и затрат.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, электронный сбор платы за проезд, технико-экономическая оценка, чистая приведенная стоимость, анализ прибыли и затрат.

Abstract. The article substantiates the relevance of introducing electronic toll collection in order to improve the quality of functioning of regional transport systems. The quality of service for road users affects both social and economic efficiency it allows you to reduce the time spent on traffic, to ensure «just in time» delivery. Based on the target and functional performance indicators of intelligent transport systems, a variant of a technical and economic assessment of the introduction of electronic toll collection is proposed, taking into account the ratio of benefits and costs.

Keywords: intelligent transportation system, electronic toll collection, feasibility study, net present value, benefit-cost analysis.

Мировой опыт применения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) подтвердил их высокую эффективность в повышении безопасности дорожного движения и функционирования региональных транспортных систем и работы автомобильного транспорта за счет расширения возможностей контроля за соблюдением правил дорожного движения, своевременного и качественного информирования участников дорожного движения об условиях на улично-дорожных сетях, оптимизации перевозок, решения транспортных проблем городов, внедрения электронных платежей, снижения негативного влияния на окружающую среду [1-6].

Проекты интеллектуальных транспортных систем (ИТС) предлагают эффективное решение многих транспортных проблем по сравнению с традицион-

ными решениями. Исследователи в работах [1, 3, 7, 8] отмечают, что ИТС оказывает положительное влияние на функционирование транспортных сетей, однако для определения проблем, преимуществ и потенциальных затрат, которые могут повлиять на проект необходимо проводить технико-экономическое обоснование. Проекты по внедрению ИТС являются новым направлением развития в транспортной отрасли, поэтому трудно определить ожидаемые последствия, ввиду отсутствия утвержденной методологии оценки или ограниченности исходных данных. Применение традиционного метода оценки, такого как анализ прибыли и затрат (ВСА) является неуместным: ИТС представляют собой новые приложения, отсутствуют данные об уровне спроса, выборе вида транспорта, маршрута, времени отправления. Прибыль и затраты в транспортных проектах дисконтируются в течение 25-40 лет, но они имеют более высокие темпы обновления технологий и, следовательно, короткий период анализа. Кроме того, не все затраты должным образом оцениваются в рамках метода ВСА. В то время, как экономия времени является основным преимуществом пользователей в транспортных проектах, увеличение объема информации, генерируемой ИТС, не обязательно приводит к значительному сокращению времени в пути, но уменьшает неопределенность в отношении непредвиденных задержек. Это преимущество, которое не включается в традиционные рамки ВСА для оценки функционирования транспортных сетей.

Система электронного взимания платы за проезд (ЕТС) является наглядным примером, который используется во всем мире и обеспечивает существенные преимущества для участников дорожного движения и общества в целом. Преимущества ЕТС заключаются в уменьшении транспортных заторов на пунктах взимания платы (ПВП), что приводит к экономии времени участников дорожного движения, к снижению риска дорожно-транспортных происшествий в условиях свободного потока. Несмотря на данные преимущества, было предпринято крайне мало попыток оценить чистую прибыль ЕТС.

Основой для экономической оценки любого проекта является определение потенциальных последствий того, к чему приведет проект. При экономическом анализе крайне важно определить прибыль и затраты, чтобы судить о достоинствах проекта. Таким образом, экономический анализ проектов ИТС начинается с определения критических воздействий, которые необходимо измерить и оценить. Проекты должны иметь конкретные цели, которые должны быть определены. Они в большинстве случаев идентичны тем, которые обычно пытаются достичь в транспортном секторе. В таблице 1 перечислены целевые и функциональные показатели эффективности интеллектуальных транспортных систем.

Таблица 1

Целевые и функциональные показатели эффективности интеллектуальных транспортных систем

Целевой показатель	Функциональный показатель
Обеспечение безопасности дорожного движения	<ul style="list-style-type: none"> – количество дорожно-транспортных происшествий; – число погибших и раненых при дорожно-транспортных происшествиях; – суммарный ущерб транспортным средствам, объектам инфраструктуры, грузам; – социальный и транспортный риски.
Повышение комфорта пользователей	<ul style="list-style-type: none"> – уровень обслуживания; – пропускная способность дорог и уровень загрузки; – время в пути; – надежность предоставляемой информации о времени прохождения запланированного участка пути; – стоимость поездки (эксплуатационные затраты или стоимость проезда в общественном транспорте); – протяженность участков дорог, работающих в режиме перегрузки; – увеличение мобильности пользователей (транспортной подвижности); – нервно-психическое напряжение, утомление пользователей в процессе поездки.
Обеспечение экологической безопасности	<ul style="list-style-type: none"> – объем выбросов загрязняющих веществ; – объем выбросов частиц при износе шин, тормозных накладок и элементов сцепления; – уровень шумового загрязнения.
Рост финансовой привлекательности	<ul style="list-style-type: none"> – экономический эффект от применения ИТС; – затраты на разработку и внедрение ИТС; – эксплуатационные расходы.
Увеличение пассажирооборота/ грузооборота	<ul style="list-style-type: none"> – количество пассажиров; – объем перевозимого груза; – эксплуатационные расходы на перевозку; – средняя скорость движения транспортных средств.

Основными экономическими показателями прибыльности являются чистая приведенная стоимость (NPV) и соотношение прибыли и затрат (BCR). NPV определяется за вычетом затрат, связанных с реализацией проекта, и рассчитывается для срока реализации проекта дисконтировано с использованием соответствующей процентной ставки:

$$NPV = I_0 + \sum_{t=0}^r \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции;

B – прибыль;

C – затраты;

r – коэффициент дисконтирования;

t – период времени.

Чистая приведенная стоимость определяет абсолютную ценность проекта. Если значение больше нуля – проект приносит прибыль, превышающую стоимость [7, 8].

Оценка прибыли и затрат является показателем соотношения цены и качества, определяется как отношение NPV к затратам, финансируемым из государственного бюджета. Он показывает норму прибыли на денежную единицу, инвестированную через государственный бюджет:

$$BCR = \frac{NPV}{C_{public}} \quad (2)$$

Соотношение прибыли и затрат позволяет оценить важность проектов относительно показателя фондоотдачи. Если коэффициент равен 0,2, это значит, что на каждый рубль, вложенный в проект из государственного бюджета, приходится 20% прибыли. Если цель состоит только в том, чтобы определить, является ли проект по внедрению ИТС прибыльным, то следует использовать NPV. Если цель состоит в том, чтобы ранжировать проекты между собой или по сравнению с другими, то следует использовать BCR, так как он показывает, какие из них дают наибольшую фондоотдачу.

Рассмотрим пример технико-экономического эффекта от внедрения элемента интеллектуальной транспортной системы – электронного сбора платы за проезд (ETC). Первым шагом является выявление и количественная оценка воздействия (прибыли и затрат) решения на основе ИТС по сравнению с частично управляемой системой, которая существовала ранее. Согласно приведенной таблицы 1 преимущества сбора платы на основе ИТС по сравнению с процессом, осуществляемым частично персоналом, будут проявляться в следующих компонентах.

1. Компоненты затрат:

- затраты на покупку оборудования: внедрение новой системы потребует дополнительные затраты, превышающих текущую стоимость пилотируемой системы;
- затраты на установку оборудования;
- эксплуатационные расходы: внедрение ETC повлечет за собой снижение эксплуатационных расходов (для обслуживания пунктов сбора платы потребуется меньшее количество сотрудников);
- издержки государственных фондов: поскольку вышеупомянутые элементы затрат должны финансироваться за счет государственных фондов путем налогообложения, то это влечет за собой дополнительные расходы по сбору налогов и данные затраты должны приниматься во внимание.

2. Социальные и экологические компоненты:

- изменение времени в пути для участников дорожного движения: отмена сборов за проезд сократит время в пути для всех пользователей ввиду отсутствия остановок для оплаты и очередей на пунктах взимания платы;

- снижение выбросов вредных веществ за счет более плавного движения транспорта и меньшего расхода топлива;
- снижение риска несчастных случаев: остановки, смена полосы движения с целью подъезда к соответствующим пропускным пунктам в случае неавтоматизированного способа взимания платы повышают риск дорожно-транспортных происшествий [9, 10].

Для оценки преимуществ системы необходимо учесть разницу временных затрат, которую пользователи получают, если отменить взимание платы за проезд по открытой ЕТС. Временные затраты при проезде через пункты взимания платы состоят из двух компонентов: фиксированная задержка (fd), которая возникает даже при отсутствии очередей впереди стоящих транспортных средств из-за снижения скорости, чтобы оплатить проезд; переменная задержка (vd) – характеризуется временем простоя транспортных средств в очереди перед пунктом взимания платы ввиду наличия впереди стоящих автомобилей, увеличивает время в пути, особенно в часы пик; зависит от количества транспортных средств, ожидающих обслуживания [7, 10-12]. Стоимость поездки будет зависеть от суммарного значения времени в пути. Общие затраты времени (TC) для водителей, прибывающих на пункты взимания платы по открытой системе, могут быть алгебраически описаны как:

$$TC_t = (2fd + vd_t)w, \quad (3)$$

где fd – фиксированная задержка;

vd – переменная задержка;

w – стоимостной эквивалент времени для участников дорожного движения.

Коэффициент 2 используется в случаях, когда плата за проезд взимается в обе стороны до места назначения и обратно. Переменная задержка будет зависеть от количества транспортных средств в очереди (q) в момент времени t и скорости, с которой оператор пункта взимания платы обслуживает транспортные средства. Эта скорость равна количеству полос движения (L_t) в момент времени и пропускной способности (α), то есть $t(vd_t) = q/\alpha L_t$. Вычисление общего времени задержки движения при известном количестве прибывающих транспортных средств выражается как:

$$Q = \sum_t^T \left(2fd + \frac{q_t}{\alpha L_t} \right) \quad (4)$$

При подстановке в выражение (3) общие временные затраты определяются как:

$$TC_t = wQ = \sum_t^T \left(2fd + \frac{q_t}{\alpha L_t} \right) \quad (5)$$

Взимание платы за проезд на основе подсистемы интеллектуальной транспортной системы подразумевает снижение выбросов за счет более плавного движения транспорта через пункты взимания платы и, следовательно, меньшего расхода топлива. Основываясь на модели, предложенной авторами [7], расход топлива можно рассчитать следующим образом:

$$D_i = \varepsilon x_i L_i \left(1,25 \left(\frac{v_i}{60} + \frac{60}{v_i} \right) - 1,5 \right), \quad (6)$$

где D_i – расход топлива на i -ом участке движения;

ε – минимальный расход топлива в литрах на километр для транспортного средства;

x_i – объем потока на i -ом участке;

L_i – протяженность i -ого участка;

v_i – скорость движения на i -ом участке.

Параметры 1,25 и 1,5 являются коэффициентами турбулентности, которые регулируют расход топлива с учетом ускорения и замедления. Параметр 60 – скорость в км/ч, при которой расход топлива минимален. Основываясь на (6), рассчитаем выбросы вредных веществ:

$$Q_{ijk} = p_k D_i, \quad (7)$$

где Q_{ijk} – выброс j -ого загрязняющего вещества на i -ом участке;

p_k – коэффициент выбросов вредных веществ;

k – индекс категории транспортных средств.

Таким образом, общие затраты на выбросы вредных веществ могут быть выражены как:

$$EC_t = Q_{ijk} \mu_j, \quad (8)$$

где μ_j – коэффициент затрат на j -ое вредное вещество [7, 13].

Структура исходных данных и примерные значения для анализа соотношения прибыли и затрат по формулам (1) – (8) приведены в таблице 2 [14].

Таблица 2

Исходные данные для проведения анализа соотношения прибыли и затрат [14]

Исходные данные	Значение показателя
Среднегодовая дневная интенсивность движения	232 000 авт/сут
Коэффициент увеличения интенсивности движения	1,5
Стоимость оборудования	664, 21 млн. руб.
Затраты на установку оборудования	50,32 млн. руб.
Годовые эксплуатационные расходы	1 328,42 млн. руб.
Длительность проведения транзакции (ЕТС)	4 сек
Длительность проведения транзакции (неавтоматизированный сбор оплаты проезда)	40 сек
Соотношение количества автоматизированных постов сбора оплаты проезда к неавтоматизированным	50%
Коэффициент наполнения транспортных средств (для легковых автомобилей)	2,14
Стоимость проезда (для легковых автомобилей)	3230 руб.
Стоимость топлива	53,25 руб.
Предельная стоимость заложенных в проект государственных средств	20%

Затраты и прибыль, связанные с внедрением электронного сбора платы за проезд, поддаются измерению в денежном выражении, что позволяет применить метод BCR. В случае если общая чистая приведенная стоимость проекта положительна, метод соотношения прибыли и затрат часто подвергается критике, поскольку не представляется возможным определить участников, которые будут в выигрыше от реализации проекта [15]. Таким образом, анализ прибыли и затрат чаще дезагрегируется путем разбивки воздействий по группам, заинтересованным сторонам. Проведение анализа чувствительности является актуальным, когда расчетная чистая приведенная стоимость близка к нулю или, когда требуется, чтобы соотношение прибыли и затрат превышало определенный порог.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. **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. – Текст: непосредственный // В сборнике: Технологии построения когнитивных транспортных систем. Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2019. – С. 153-157.

2. **Полтавская, Ю.О.** Развитие интеллектуальных транспортных систем с целью повышения функционирования транспортной сети / Ю. О. Полтавская. – Текст: непосредственный // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2019. – Т. 1. – С. 202-203.

3. **Zhankaziev, S.** Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Feasibility Study for Intelligent Transportation Systems / S. Zhankaziev, M. Gavrilyuk, D. Morozov, A. Zabudsky // Transportation Research Procedia. – Vol. 36. – 2018. – pp. 841-847.

4. **Зедгенизов, А.В.** Управление скоростью движения на скоростных дорогах городских и урбанизированных территорий / А. В. Зедгенизов, А. Ю. Михайлов. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2010. – № 6 (46). – С. 141-146.

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

6. **Лебедева, О.А.** Транспортное планирование и интеграция ГИС-технологий / О. А. Лебедева, А. А. Джавахадзе. – Текст: непосредственный //

Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2021. – № 15. – С. 145-149.

7. **Odeck, J.** Economic evaluation of intelligent transportation systems strategies: The case of the Oslo toll cordon / J. Odeck, M. Welde // IET Intelligent Transport Systems. – Vol. 4, Iss. 3. – 2010. – pp. 221– 228.

8. **Клепцова, Л.Н.** Методы экономической оценки эффективности мероприятий по повышению безопасности дорожного движения / Л. Н. Клепцова, А. А. Штоцкая. – Текст: непосредственный // В сборнике: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2018. Материалы XVII Международной научно-практической конференции. Кемерово, 2018. С. 808.1-808.8.

9. **Ляпустин, П.К.** Оценка социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий / П. К. Ляпустин, А. А. Кобак. – Текст: непосредственный // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2020. – Т. 1. № 7. – С. 171-172.

10. **Евстигнеев, И.А.** Основы создания интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах федерального значения России. / И. А. Евстигнеев. – М.: Издательство «Перо». – 2016. – 260 с. – Текст: непосредственный.

11. **Косолапов, А.В.** Динамическое распределение транспортных потоков на основе технологий интеллектуальных транспортных систем / А. В. Косолапов. – Текст: непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. № 2 (46). С. 136-138.

12. **Mackie, P.J.** The value of travel time savings in evaluation / P. J. Mackie, S. Jara-Diaz, A. S. Fowkes // Transportation Research, Part E. – Vol. 37, (2– 3). – 2001. – pp. 91 – 106.

13. **Жданов, В.Л.** Совершенствование методов расчета экологических характеристик городских транспортных макроисточников : монография / В. Л. Жданов. – Москва: Машиностроение, 2010. – 203 с. – ISBN 978-5-94275-520-1. – Текст: непосредственный.

14. Тарифы на проезд по платным дорогам // Автодор: [сайт]. – 2023. – URL: <https://avtodor-tr.ru/road/tariffs/?ysclid=lh1kfxu8zd464673655> (дата обращения: 29.04.2023).

15. **Kim, G.** Active DSRC application for ITS and economic valuation in Korea / G. Kim, K. Kang // Research in Transportation Economics 8. Elsevier. – 2004. – pp. 363– 378.